

# Mögliche Einsparungspotentiale beim Ausbau von 5G durch Infrastructure Sharing

Autoren:  
Saskja Schäfer  
Ahmed Elbanna  
Werner Neu  
Thomas Plückebaum

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](mailto:info@wik.org)  
[www.wik.org](http://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

Stand: Dezember 2020

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

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellen</b>	<b>V</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Summary</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung Hintergrund</b>	<b>1</b>
1.1 Methodisches Vorgehen	2
1.2 Zielsetzungen und Fragestellungen	2
1.3 Aufbau des Dokuments	2
<b>2 5G Ausgangslage im deutschen Mobilfunkmarkt</b>	<b>5</b>
<b>3 Formen von Network Sharing im Mobilfunk</b>	<b>10</b>
3.1 Passives Sharing	11
3.2 Aktives Sharing	13
3.3 Nationales Roaming	13
3.4 Andere Formen von Network Sharing im Mobilfunk	14
<b>4 Regulatorische und politische Rahmenbedingungen für 5G und Infrastructure Sharing in Deutschland</b>	<b>17</b>
4.1 Status quo in Deutschland und Regelungen im Rahmen der TKG Novelle 2020	18
4.2 Versorgungsaufgaben im Rahmen der Frequenzauktion 2019 (Kapazitätsfrequenzen)	22
4.3 Vereinbarungen und Diskussionspunkte im Rahmen der Mobilfunkgipfel 2018 und 2020, der Mobilfunkstrategie 2019 und des Corona-Konjunkturpakets 2020	24
<b>5 Treiber und Hemmnisse sowie Vor- und Nachteile von Network Sharing</b>	<b>29</b>
5.1 Überblick über Treiber und Hemmnisse sowie Vor- und Nachteile von Network Sharing	29
5.2 Network Sharing in der Praxis: Schweden und UK	33
5.2.1 Schweden	34
5.2.2 UK	38
5.2.3 Deutschland	41
5.3 Treiber und Hemmnisse aus Sicht von Netzbetreibern	44

5.4	Fazit: Infrastructure Sharing vor dem Hintergrund regulatorischer Entscheidungen	47
5.5	Ausblick: Spielräume für Network Sharing durch SDN/NFV und Open-RAN	48
<b>6</b>	<b>Berechnung von Einsparungspotentialen mit dem WIK Mobilfunk Kostenmodell</b>	<b>53</b>
6.1	Anpassung des Netzplanungstools des WIK Mobilfunkkostenmodells	53
6.1.1	Überblick über das WIK Mobilfunkkostenmodell	53
6.1.2	Anpassung des Netzplanungstools durch den Einbau von 5G	54
6.1.3	Anpassung des Netzplanungstools bezüglich der 4G Technologie	55
6.2	Inputs und Annahmen für die Berechnungen	56
6.2.1	Inputs und Annahmen für die Berechnungen (Netzplanung)	56
6.2.2	Annahmen und Inputs für die Kosten-Berechnungen	57
6.3	Berechnungsszenarien	58
6.4	Ergebnisse: Berechnung von Einsparungspotentialen durch Network Sharing	61
6.4.1	Modellergebnisse Fall 1 RAN-Sharing 2023	61
6.4.2	Modellergebnisse Fall 2 RAN-Sharing 2023	66
6.4.3	Modellergebnisse Fall 3 RAN-Sharing 20XX	74
6.4.4	Vergleich der Ergebnisse von Fall 1, 2 und 3	77
6.4.5	Modellergebnisse Fall 4 National Roaming	78
6.4.6	Vergleich der Ergebnisse für RAN-Sharing und National Roaming	82
6.5	Grundsätzliche Schlussfolgerungen aus den Modellergebnissen	85
6.6	Limitationen und Ausblick	86
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>105</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Teilnehmer und Penetrationsraten in Mobilfunknetzen 2010 – Q2 2019	6
Abbildung 2:	Abdeckung mit 4G-Mobilfunkdiensten in Europa (2018)	7
Abbildung 3:	Datenvolumen im Mobilfunk in Mio. GB (2014-2022)	8
Abbildung 4:	Anzahl der Funk-Basisstationen in Deutschland 2017 – 2019	8
Abbildung 5:	Netzsegmente eines Mobilfunknetzes	10
Abbildung 6:	Passive und aktive Elemente eines typischen Makro-Standortes eines Betreibers	12
Abbildung 7:	Architekturformen der Network Sharing	15
Abbildung 8:	Eckpunkte der Beschlüsse des zweiten Mobilfunkgipfels	27
Abbildung 9:	Kumulierte Anzahl aktiver Network Sharing Vereinbarungen 2010-2017	34
Abbildung 10:	Network Sharing Joint Ventures in Schweden	35
Abbildung 11:	Systematik von Kooperationsvereinbarungen am Beispiel Schweden	37
Abbildung 12:	Besitzer/ Betreiber der 42.492 aktiven Standorte in UK (Stand ca. 2018/ 2019)	40
Abbildung 13:	Abgrenzung SDN und NFV anhand der einzelnen Schichten des OSI-Schichtmodells	49
Abbildung 14:	Entwicklung der Wertschöpfungskette vom traditionellen RAN hin zu einem offenen RAN	51
Abbildung 15:	Akteure eines TK-Netzes bzw. einer Basisstation Layer 1-3 für a) einen einzelnen Anbieter wie bisher üblich und b) eine Basisstation im offenen RAN mit mehreren Anbietern	52
Abbildung 16:	Betrachtungshorizont	59
Abbildung 17:	Ergebnisse Fall 1 passives RAN-Sharing	62
Abbildung 18:	Ergebnisse Fall 1 gesamtes RAN-Sharing	63
Abbildung 19:	Zusammensetzung der RAN-Kosten für Sharing bei zwei Betreibern im Fall 1	64
Abbildung 20:	Aufteilung der Gesamtkosteneinsparung im Fall 1	64
Abbildung 21:	Technologievergleich 4G/5G Fall 1	65
Abbildung 22:	Ergebnisse Fall 2 passives RAN-Sharing	67
Abbildung 23:	Ergebnisse Fall 2 gesamtes RAN-Sharing	68
Abbildung 24:	Zusammensetzung der RAN-Kosten für Sharing bei zwei Betreibern im Fall 2	69

Abbildung 25:	Aufteilung der Gesamtkosteneinsparung im Fall 2	70
Abbildung 26:	Technologievergleich 4G/5G Fall 2	71
Abbildung 27:	Anzahl der Basisstationen bei 5G RAN zwei einzelnen Betreiber versus Sharing	75
Abbildung 28:	Anzahl der Basisstationen bei 5G RAN drei einzelnen Betreiber versus Sharing	76
Abbildung 29:	Einsparungen beim Roaming bei verschiedenen Verkehrsverteilungen (4G/5G) und bei zwei bzw. drei kooperierenden Betreibern	80
Abbildung 30:	Kosteneinsparungen beim RAN-Sharing im Vergleich zum National Roaming	83
Abbildung 31:	Schamtische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Sharingpotential und Nachfragemenge für verschiedene Technologien	86
Abbildung 32:	Übersicht zu verschiedenen Sharing Varianten und den damit einhergehenden Synergien bzw. der regulatorischen Komplexität	93

## Tabellen

Tabelle 1:	Relevante Artikel aus dem EKEK mit Blick auf die Verpflichtung zur gemeinsamen Nutzung von Infrastrukturen	20
Tabelle 2:	Datenverkehr und Anzahl der SIM-Karten	57
Tabelle 3:	Berechnungsszenarien	59
Tabelle 4:	Frequenzausstattung in Zugangsnetz	60
Tabelle 5:	Übersicht Eckdaten Fall 1	61
Tabelle 6:	Gesamtschau der Ergebnisse Fall 1	63
Tabelle 7:	Übersicht Eckdaten Fall 2	66
Tabelle 8:	Gesamtschau der Ergebnisse Fall 2	69
Tabelle 9:	Prozentuale Kosteneinsparungen bei den aktiven Elementen des RAN im Fall 1 und Fall 2	72
Tabelle 10:	Vergleich der Gesamtkosteneinsparungen Fall 1 und Fall 2 beim RAN-Sharing	73
Tabelle 11:	Anzahl der Basisstationen im Fall 1 und Fall 2	74
Tabelle 12:	Übersicht Eckdaten Fall 3	75
Tabelle 13:	Anzahl der 5G Basisstationen in den Fällen 1 – 3	78
Tabelle 14:	Übersicht Eckdaten Fall 4a und 4b	79
Tabelle 15:	Vergleich der Ergebnisse von Kooperationen zwischen zwei bzw. drei Betreibern im Fall 4	81
Tabelle 16:	Vergleich der Ergebnisse von Fall 1 und 2 sowie Fall 4a und 4b	83
Tabelle 17:	Anzahl und Einsparung von Basisstationen mit 4G MIMO in urbanen und suburbanen Gebieten, kein MIMO in ruralen Gebieten	89
Tabelle 18:	Anzahl und Einsparung von Basisstationen mit 4G MIMO in urbanen, suburbanen und ruralen Gebieten	90
Tabelle 19:	Überblick zu den Inputs und Ergebnissen der eigenen Berechnungen im Kapitel 6	106



## Zusammenfassung

Durch die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturelementen, bezeichnet als Infrastructure Sharing, können Mobilfunknetzbetreiber Kosteneinsparungen realisieren. Diese sind in ihrer Höhe von verschiedenen Faktoren abhängig, bspw. davon, welche und wie viele Netzelemente gemeinsam genutzt werden, ob die Kooperationsvereinbarung für bereits bestehende Standorte getroffen wird oder für einen koordinierten Aufbau neuer Standorte, wie hoch die Nachfrage ist oder wie viel freie Kapazitäten in den bestehenden Netzabschnitten zur Verfügung stehen.

Vor dem Hintergrund des beginnenden 5G Roll-outs stellt sich im Rahmen politischer, öffentlicher Diskussionen die Frage, wie der hohe Investitionsbedarf, der vor allem aufgrund neuer Mobilfunkstandorte nötig ist, für den 5G Ausbau bewältigt werden kann. Eine Möglichkeit könnte darin bestehen, die Kosten für den einzelnen Betreiber durch Infrastructure Sharing zu reduzieren – zumindest für Gebiete, in denen der Roll-out besonders teuer bzw. die Nachfrage gering ist.

Infrastructure Sharing ist im Mobilfunk in allen europäischen Ländern seit vielen Jahren gelebte Praxis. Das gilt allerdings nur für das Teilen passiver Netzelemente wie Masten. Aktives Infrastructure Sharing, welches zusätzlich zum passiven Infrastructure Sharing das Teilen von elektronischen Elementen wie Antennen beinhaltet, ist weniger verbreitet. Allerdings bestehen zwischen den Ländern diesbezüglich starke Unterschiede. In Deutschland bestehen fast ausschließlich passive Sharing Vereinbarungen, während zum Beispiel in Schweden seit Jahren auch in größerem Umfang aktives Infrastructure Sharing stattfindet.

Den Kostenvorteilen und damit verbundenen Effekten wie bspw. einem schnelleren Roll-out, die durch Infrastructure Sharing realisiert werden können, stehen auch Nachteile gegenüber. Die Gefahr der Wettbewerbsreduzierung, zum Beispiel aufgrund einer geringeren Differenzierung der Betreiber über die Netzabdeckung bei großflächigem Sharing, ist einer der Gründe, die für einen eher zurückhaltenden Umgang mit aktivem Infrastructure Sharing sprechen. Darüber hinaus wird vielfach das Risiko langfristig weniger redundanter Infrastrukturen genannt, wenn es um das „richtige“ Maß an Infrastructure Sharing geht.

Regulatorische Vorgaben zum Infrastructure Sharing müssen daher eine Abwägungsentscheidung zwischen den Vor- und Nachteilen treffen. Darüber hinaus muss der rechtliche Rahmen für umfangreiche und/ oder intensive Infrastructure Sharing Vereinbarungen passende Rahmenbedingungen setzen, die weitere Marktteilnehmer außerhalb der Kooperation schützen und somit den Wettbewerb erhalten. Dies wiederum kommt den Verbrauchern zu Gute. Neben den regulatorischen Vorgaben und Rahmenbedingungen zum Infrastructure Sharing besitzen u.a. die Motivation der Marktakteure und die Marktstruktur Relevanz dafür, wie viele Kooperationen und welche Art von Kooperationen zum Infrastructure Sharing sich in einem Land etablieren.

Der vorliegende Beitrag hat zum Ziel, das Thema Infrastructure Sharing unter Einbezug von ausgewählten Länderstudien vor dem Hintergrund der Einführung der 5G Technologie von seinen unterschiedlichen Seiten zu beleuchten, um eine Diskussionsgrundlage für regulatorische und wettbewerbspolitische Entscheidungen zu bieten. Den Hauptteil der Arbeit stellen eigene Berechnungen zu möglichen Einsparungspotentialen durch Infrastructure Sharing für verschiedene Szenarien im Rahmen der Einführung von 5G dar. So kann ein Abwägungsgrund in der Frage nach dem regulatorischen Umgang mit Infrastructure Sharing, nämlich der der Kostenvorteile für die beteiligten Unternehmen, quantifiziert werden und damit die Entscheidungsfindung unterstützen.

Wie unsere Berechnungen zeigen, können je nach Technologie (4G/5G) beim Sharing zwischen zwei Mobilfunknetzbetreibern in einem Greenfield-Ansatz beim RAN-Sharing Kosten in einer Größenordnung von ca. 16 - 22 Prozent eingespart werden. Beim Roaming liegt das Einsparungspotential um etwa 3 Prozentpunkte höher und beträgt 19 – 25 Prozent. Im RAN werden somit die größten Kosteneinsparungen erzielt. Wenn drei Betreiber sich ein Netz teilen, sind die Einsparungen entsprechend höher. Durch eine Erweiterung der Kooperation auf das gesamte Netz (National Roaming) ergeben sich variierend je nach Zahl der Sharing-Partner im Vergleich zum RAN-Sharing nur noch geringe zusätzliche Einsparungen. Technologieübergreifend betrachtet ist 5G effizienter als 4G und damit kostengünstiger – auch sind die Sharing Ersparnisse bei 5G höher als bei 4G.

## Summary

By sharing network infrastructure elements, so called Infrastructure Sharing, mobile network operators are able to realise cost savings. The extent to which cost savings can be achieved depends on different factors such as the type and amount of network elements shared, the point in time the cooperation is agreed on (ex ante versus ex post), the level of demand or to which degree free capacities in existing networks are available.

With the upcoming 5G mobile technology and the new high spectrum frequencies of more short range (cell radius) a discussion in the public political debate has started regarding the high investment needs associated with the new mobile base stations required and the question “How could those be raised?”. One option would be reducing costs for individual providers through Infrastructure Sharing – at least in areas in which the roll-out is exceptionally expensive or demand is notably low.

Infrastructure Sharing has been common practice in all European member states for many years now. However, this is only true for the sharing of passive network elements such as masts. Active Infrastructure Sharing, which also includes the shared use of electronic elements such as antennas, is less common. However, there are large differences in that respect among the various countries. In Germany we observe almost exclusively passive Infrastructure Sharing agreements, whereas for example in Sweden active Infrastructure Sharing on large scale has been common practice for years now.

Cost saving advantages and associated effects that can be achieved through Infrastructure Sharing, such as a faster roll-out, are accompanied by drawbacks. The risk of a reduction in competition based on a lack of services differentiation between mobile network operators, due to large-scale sharing, is high. This is one of the concerns that leads to Infrastructure Sharing being handled cautiously. Moreover, the risk of less redundant infrastructures in the long-term is brought into the discussion about the “right” level of Infrastructure Sharing frequently.

Regulatory specifications for Infrastructure Sharing must balance benefits and drawbacks. Furthermore, the legal framework is required to provide an environment which protects market players outside the cooperation and thus preserves competition when it comes to large scale or intensive Infrastructure Sharing agreements. This, in turn, benefits consumers. Apart from regulatory requirements, the motivation of market players and market-structure are relevant to determine, which and how many Infrastructure Sharing cooperations are established in a country.

Aim of the present work is to support the decision making process in the field of competition policy and regulation with respect to Infrastructure Sharing in the context of the beginning 5G roll-out, by taking into account case studies from different countries as well as shining light on the various aspects of the topic. The main part of this study con-

sists of calculations for different scenarios concerning cost saving potentials associated with Infrastructure Sharing in the context of 5G introduction. In this way we provide a quantification for one factor, namely the cost saving advantage for network operators involved, and thus support the decision-making process.

In a greenfield scenario, calculations show cost savings between 16 - 22 percent for RAN-Sharing, depending on the technology (4G/5G) and number of partners involved. In regards to full network sharing (national roaming) the potential for savings is about 3 percent higher and lies between 19 – 33 percent. Consequently savings are mainly derived in the RAN. From a trans-technological perspective 5G is more efficient compared to 4G and is therefore more cost-effective and better suited to sharing savings.

## Abkürzungsverzeichnis

5GC	5C Core-Network
BBU	Baseband Unit
BNetzA	Bundesnetzagentur
CoMP	Coordinated Multi-Point
COTS	Commercial Off-The-Shelf
C-RAN	Centralized/Cloud Radio Access Network
CTIL	Joint Venture zwischen Vodafone und O2 in UK, steht für Cornerstone Telecommunications Infrastructure Limited
DTAG	Deutsche Telekom AG
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EKEK	Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High Speed Packet Access
LRIC	Long Run Incremental Cost
LTE	Long Term Evolution
MEC	Multi-Access-Edge-Computing
MIG	Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	massive Machine-Type Communications
MNB	Mobilfunknetzbetreiber
MNO	Mobile Network Operator
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NFV	Network Functions Virtualization

NR	New Radio
NRB	Nationale Regulierungsbehörde
NSA	Non-StandAlone
O-RAN	Open-Radio Access Network
PTS	Schwedische Regulierungsbehörde
RAN	Radio Access Network
RRHs	Remote Radio Heads
SA	StandAlone
SDN	Software Defined Networks
UE	User Equipment
UK	United Kingdom, Vereintes Königreich
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
urLLC	ultra-reliable Low-Latency Communications

## 1 Einleitung Hintergrund

5G entfaltet sein volles Potential (z.B. Datenübertragungen im Gbit/s-Bereich) bei höheren Frequenzbandbreiten und wird in Europa ab 3,3 GHz realisiert, in Deutschland ab 3,6 GHz<sup>1</sup>. Neben zahlreichen Faktoren<sup>2</sup> ist vor allem der Frequenzbereich entscheidend dafür, wie groß die Reichweite eines 5G-Standortes ist. Im Bereich von 3,6 GHz beträgt die Zellgröße im Radius etwa 0,3 (urban) bis 3 Kilometer (flaches Land) bei direkter Sicht und es sind Geschwindigkeiten im Download von 200 bis 1.000 Mbps und im Upload von 100 bis 200 Mbps möglich. Um mit 5G eine solche Performance flächendeckend zu erreichen, würde eine Vielzahl an zusätzlichen Sendeanlagen erforderlich, sofern der Roll-out ausschließlich in diesem Frequenzband realisiert würde.<sup>3</sup> Eine solche Umsetzung scheint vor allem in dicht besiedelten Gebieten mit hoher Kapazitätsnachfrage realistisch. Die politische/ öffentliche Diskussion<sup>4</sup> sieht massiv steigende Roll-out Kosten bei 5G vor allem auch unter der Prämisse, dass 5G in der Fläche in hohen Frequenzbereichen mit einer Vielzahl neuer Standorte realisiert werden würde.<sup>5</sup>

Um diesem massiven Investitionsaufwand zu begegnen und flächendeckend Endkunden mit (5G-)Mobilfunk versorgen zu können, kommt das Teilen von Infrastruktur, fortan auch als Infrastructure Sharing bezeichnet, in Betracht, um die Kosten pro Betreiber zu senken.<sup>6</sup> Grundsätzlich kann zwischen einem passiven und einem aktiven Infrastructure Sharing unterschieden werden. Passive Elemente eines Mobilfunknetzes sind z.B. Antennenstandorte oder Masten. Zu den aktiven Elementen zählen bspw. Antennen und Controller. Nationales Roaming ist eine Form des aktiven Sharings.<sup>7</sup>

Weltweit kann eine zunehmende praktische Relevanz von Kooperationsvereinbarung beobachtet werden<sup>8</sup>, wenngleich keine abschließenden Zahlen zu Qualität und Quantität bereits bestehender Kooperationsvereinbarungen vorliegen.

Politische Relevanz hat Infrastructure Sharing, wenn eine hohe Abdeckung verbunden mit einem schnellen Roll-out vor dem Hintergrund sehr hoher Investitionskosten ge-

---

<sup>1</sup> (GSMA, 2019a, S. 1) (Bundesnetzagentur, 2018a, S. 2).

<sup>2</sup> Weiterhin spielen die Bauart der Antenne, die Sendeleistung, die Topografie und weitere Faktoren eine Rolle. (Gutt, oJ).

<sup>3</sup> Siehe (Karcher & Donner, Was leistet 5G auf welchen Frequenzen? , 2019) basierend auf Angaben von Bitkom und (BMVI, 2019 , S. 11).

<sup>4</sup> Siehe z.B. (Zeit.de, 2018a) (Karcher, 5G-Standorte: Wer soll die vielen Antennen installieren?, 2019a) (Scheuer & Ivanov, Die Chancen und Risiken des neuen Mobilfunkstandards 5G, 2020a) (BMVI, 2019 , S. 4).

<sup>5</sup> Unseren Erwartungen nach, werden in ländlichen Gebieten vermutlich größtenteils niedrigere Frequenzbereichen zum Einsatz kommen. Des Weiteren ist in der Praxis zu beobachten, dass 5G nicht stand-alone, sondern zunächst größtenteils auf dem bestehenden 4G Netz bzw. dessen Standorten und Basisstationen aufsetzt. Diese Faktoren haben maßgeblichen Einfluss auf die benötigte Anzahl der zusätzlichen Standorte und Investitionskosten in den kommenden Jahren.

<sup>6</sup> (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 105).

<sup>7</sup> Siehe Kapitel 3.

<sup>8</sup> Vgl. z.B. <https://www.slideshare.net/StefanZehle/coleago-network-sharing-overview-v011-100215-cb> Folie 4 oder (BEREC, 2018) oder <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/network-sharing-and-5g-a-turning-point-for-lone-riders#>

wünscht ist. Relevanz hat das Sharing auch im Kontext des neuen EU Electronic Communications Code (EKEK), Artikel 73. Um eine Abdeckung wie aktuell mit 4G/LTE mit 5G flächendeckend zu erreichen, gehen Schätzungen von einem 6-fachen Investitionsvolumen im Vergleich zu 4G/LTE aus.<sup>9</sup>

## 1.1 Methodisches Vorgehen

Die Kapitel 2, 3 und 4 basieren auf Desk Research und Experteneinschätzungen. Im Kapitel 5 werden eigene Berechnungen zu Kosteneinsparungen in 5G mit Hilfe zweier Module aus dem WIK Mobilfunkkostenmodell angestellt, welche speziell für den Untersuchungszweck dieser Arbeit angepasst wurden.

## 1.2 Zielsetzungen und Fragestellungen

Hauptziel der Studie ist es, zu prüfen, in welchem Umfang durch Sharing (vermeintlich<sup>10</sup> siehe Fußnote 5) hohe Investitionskosten beim Roll-out von 5G verringert werden können. Um das Thema umfassend zu beleuchten, werden vor allem folgende Untersuchungsfragen erörtert:

1. Wie gehen andere Länder mit Sharing um und welche Faktoren begünstigen ggf. Sharing?
2. Warum gibt es kaum aktives Sharing in Deutschland?
3. Was sind Bedenken, die (aus regulatorischer Sicht) gegen Network Sharing sprechen?
4. Gibt es Innovationen, die hier Abhilfe schaffen könnten?
5. In welcher Größenordnung können durch Sharing Einsparungen stattfinden?
6. Ändert sich bei den Einsparungspotentialen etwas durch den Roll-out von 5G (im Vergleich zu 4G)?

## 1.3 Aufbau des Dokuments

Im Kapitel 2 wird die Ausgangslage im deutschen Mobilfunkmarkt kurz beschrieben. Dies dient dazu, eine Basis zu vermitteln, welche Erkenntnisse der folgenden Kapitel insbesondere für den deutschen Markt relevant sein könnten. Fragen, die im Kapitel beantwortet werden, sind v.a.:

- Wie sieht der deutsche Mobilfunkmarkt aus?

---

<sup>9</sup> (Lyons & Rayal, 2018) Unter der Annahme, dass bei einer Abdeckung die maximale Performance von 5G durch Nähe zum Endnutzer erreicht werden soll.

<sup>10</sup> Vermeintlich, da diese in Abhängigkeit der verwendeten Frequenzen und der damit einhergehenden Anzahl von Standorten variieren.

- Was ist charakteristisch für den deutschen Mobilfunkmarkt?

Kapitel 3 beschreibt die technischen Grundsätze von Infrastructure Sharing im Mobilfunk. Es werden die gängigen Formen des Sharings dargestellt, insbesondere solche, die im Verlauf der Arbeit bei den Berechnungen der Einsparungspotentiale Anwendung finden. Kapitel 3 beantwortet vor allen folgende Fragen:

- Welche Infrastruktur-Elemente können beim RAN-Sharing geteilt werden?
- Welche Erweiterungen des RAN-Sharings auf weitere Netzebenen sind möglich?

Kapitel 4 beschreibt die regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen in Deutschland. Hierzu wird der aktuelle rechtliche Rahmen aufgezeichnet und die aktuelle politische Debatte zu diesem skizziert. Folgende Fragen werden in Kapitel 4 beantwortet:

- Welche rechtlichen Rahmenbedingungen zum Sharing finden wir in Deutschland vor?
- An welchen Stellen setzen aktuelle politische Diskussionen an?
- Inwiefern könnten sich die rechtlichen Rahmenbedingungen verändern?

Grundsätzliche Treiber und Hemmnisse von Network Sharing werden in Kapitel 5 überblicksartig dargestellt. Da weitere Arbeiten des WIK dazu bereits vorliegen, wird auf eine größere inhaltliche Tiefe verzichtet. Weiterhin umfasst das Kapitel 5 eine Fortsetzung der Länderbenchmarks zum Vereinten Königreich und Schweden, welche in ebenfalls in früheren Arbeiten des WIK detailliert dargelegt wurden. Schließlich werden Treiber und Hemmnisse für Sharing aus dem Blickwinkel eines Netzbetreibers gesondert dargestellt. Abschließend werden Network Function Virtualization (NFV) und Software Defined Networks (SDN)<sup>11</sup> vor dem Hintergrund regulatorischer Spielräume, die sich durch diese innovativen Konzepte ergeben könnten, grob skizziert. Folgende Fragen werden durch Kapitel 5 u.a. beantwortet:

- Welche Treiber und Hemmnisse gibt es bei Network Sharing?
- Wie sehen engere Kooperationen in anderen Ländern aus?
- Welche Überlegungen sind aus Sicht eines Netzbetreibers einzubeziehen, wenn es um die Entscheidung für oder gegen Network Sharing geht?
- Gibt es Innovationen, die die (regulatorische) Gemengelage verändern könnten?

Den Hauptteil dieser Arbeit stellt das Kapitel 6 dar, das eigene Berechnungen zu den Einsparungspotentialen beim Einsatz von 4G und 5G zeigt. Der erste Abschnitt beschreibt kurz, in welcher Weise das WIK Mobilfunkkostenmodul angepasst wurde, um

---

<sup>11</sup> Es handelt sich hierbei um neue Verfahren zur Steuerung und Kontrolle von TK-Netzen. Zur Erklärung siehe Abschnitt 3.4, S. 16.

Berechnungen mit 5G zu ermöglichen. Im zweiten Abschnitt werden Inputs und Annahmen für die Berechnungen erläutert. Abschnitt 6.3 bietet einen Überblick über die Szenarien, also die angenommene Anzahl der Betreiber, genutzte Technologien, Verkehrsmengen etc., für die Berechnungen angestellt wurden. Im Abschnitt 6.4 werden die Ergebnisse für jedes Szenario als auch Ergebnisvergleiche zwischen den verschiedenen Szenarien gezeigt, erläutert und interpretiert. Grundsätzliche Schlussfolgerungen und Wirkungsweisen aus diesen Ergebnissen sind in Abschnitt 6.5 zusammengefasst. Abschnitt 6.5 bietet einen abschließenden Ausblick, wie die Szenarien und Inputs für weitere Arbeiten verändert werden könnten, um zusätzliche Erkenntnisse zu generieren oder bisher gewonnene Vermutungen weiter abzusichern.

- In welcher Größenordnung können Kosteneinsparungen durch RAN-Sharing realisiert werden?
- In welcher Größenordnung können Kosteneinsparungen durch Roaming realisiert werden?
- Inwiefern unterscheiden sich Einsparungspotentiale von 4G zu 5G?

Ein Gesamtfazit aus Desk Research und eigene Berechnungen fasst im Kapitel 7 (regulatorisch) relevante Punkte und Erkenntnisse zum Thema „Mögliche Einsparungspotentiale beim Ausbau von 5G durch Infrastructure Sharing“ zusammen.

## 2 5G Ausgangslage im deutschen Mobilfunkmarkt

Alle drei etablierten Mobilfunknetzbetreiber haben in Deutschland mittlerweile mit dem Ausbau ihres 5G Netzes begonnen.<sup>12</sup> Die DTAG und Vodafone bereits 2019, Telefónica folgte im Oktober 2020.<sup>13</sup>

### Status quo 5G Netz

Das 5G-Netz von Vodafone umfasste Ende September 2020 etwa 400 Standorte mit 1.200 Antennen, mit denen etwa 2,6 Mio. Menschen in Deutschland erreicht werden können. Bis Ende des Jahres 2020 sollen etwa 15 Mio. Menschen mit mehr als 8.000 5G-Antennen erreicht wurden.<sup>14</sup> Im Verlauf des Jahres 2021 sollen schließlich 30 Mio. Menschen erreicht werden können.

Die DTAG hat bereits mehr als 10.000 Standorten mit gut 30.000 Antennen ausgerüstet.<sup>15</sup> Die 5G-Versorgung erreicht nach eigenen Angaben im Herbst 2020 etwa 50 Prozent der der Bevölkerung. Bis Ende des Jahres 2020 sollen zwei Drittel der Bevölkerung versorgt sein.<sup>16</sup>

Telefónica will mit der Marke O2 in zwei Jahren (also 2022) gut die Hälfte der Bevölkerung mit 5G versorgen. Im Oktober 2020 ging O2 dazu mit 150 5G-Stationen und etwa 450 Antennen an den Start.<sup>17</sup>

Drillisch als vierter Akteur, der Mobilfunknutzungsrechte im Bereich 2,0 GHz und 3,6 GHz im Jahr 2019 ersteigert hat, ist bisher zwar als MVNO<sup>18</sup>, aber noch nicht am Markt als Netzbetreiber aktiv. Der Einstieg soll zunächst über eine nationale Roaming Vereinbarung stattfinden. Für diese wurde bis September 2020, also mehr als ein Jahr nach der Auktion, allerdings noch keine Einigung gefunden.<sup>19</sup>

Die MNB verfolgen beim geografischen Ausbau von 5G verschiedene Strategien. Vodafone unterscheidet sich insofern von der DTAG und der Telefónica, als dass das Unternehmen den 5G Ausbau nicht nur in Ballungsgebieten sondern auch zu Anfang bereits mit 700 MHz in der Fläche beginnt.<sup>20</sup> Sowohl diese jüngsten strategischen Netz-Entwicklungen als auch Erkenntnisse aus frühere Arbeiten<sup>21</sup> zeigen, dass Netzqualität im deutschen Mobilfunkmarkt ein wichtiges Differenzierungsmerkmal ist.

---

<sup>12</sup> Hinweis: Dabei handelt es sich nicht um ein Standalone 5G Netz, sondern 5G wird zusätzlich zu 4G ausgerollt und setzt teilweise auf den vorhandenen 4G Standorten auf.

<sup>13</sup> (Handelsblatt, 2020).

<sup>14</sup> (Handelsblatt, 2020a).

<sup>15</sup> (Handelsblatt, 2020).

<sup>16</sup> (Focus, 2020).

<sup>17</sup> (Handelsblatt, 2020), (Gajek, Spätstarter beim 5G-Ausbau: Die große Aufholjagd von o2, 2020).

<sup>18</sup> In diesem Kontext ist ein MVNO ein Mobilfunkdienstanbieter, der keine eigenen Mobilfunknetze betreibt, sondern entsprechende Kapazitäten im Markt einkauft.

<sup>19</sup> (Krzossa, Schnellerer Ausbau: Stadt Köln, Stadtwerke und Vodafone beschleunigen 5G-Ausbau, 2020).

<sup>20</sup> (Krzossa, Ein Jahr nach der Auktion: 5G wächst, 2020).

<sup>21</sup> Bspw. (Nett & Sörries, 2019, S. 8).

## Mobilfunkpenetration

Im zweiten Quartal 2020 meldeten die drei etablierten Netzbetreiber knapp 144 Mio. Teilnehmer<sup>22</sup> in ihren Mobilfunknetzen (DTAG 47,4 Mio., Vodafone 53,1 Mio. und Telefónica 43,5 Mio.). Verteilt auf etwa 83,2 Millionen Einwohner<sup>23</sup> ergibt sich eine Penetrationsrate von etwa 173 Prozent. Der EU-Durchschnitt lag Ende 2018 bei 137 Prozent (siehe Abbildung 2).<sup>24</sup>

Die Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der SIM-Karten und die Penetrationsrate für die Jahre 2010 – 2019. In den Jahren 2011- 2015 blieben beide Verläufe mit leichten Schwankungen etwa konstant. Ab 2016 ist eine leicht steigende Tendenz zu erkennen.

Abbildung 1: Teilnehmer und Penetrationsraten in Mobilfunknetzen 2010 – Q2 2019



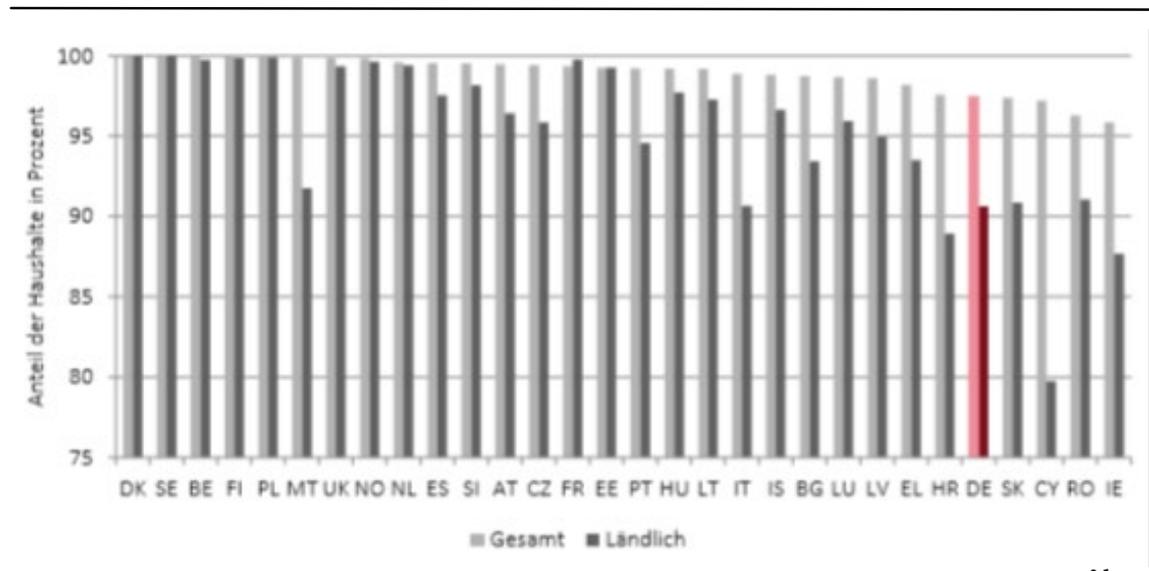
Quelle: Zahlen von (Bundesnetzagentur, 2018), Darstellung (Monopolkommission, 2019, S. 70)

<sup>22</sup> (Bundesnetzagentur, 2020a).

<sup>23</sup> (Statistisches Bundesamt, 2020).

<sup>24</sup> (Eidgenössische Kommunikationskommission ComCom, 2019).

Abbildung 2: Abdeckung mit 4G-Mobilfunkdiensten in Europa (2018)



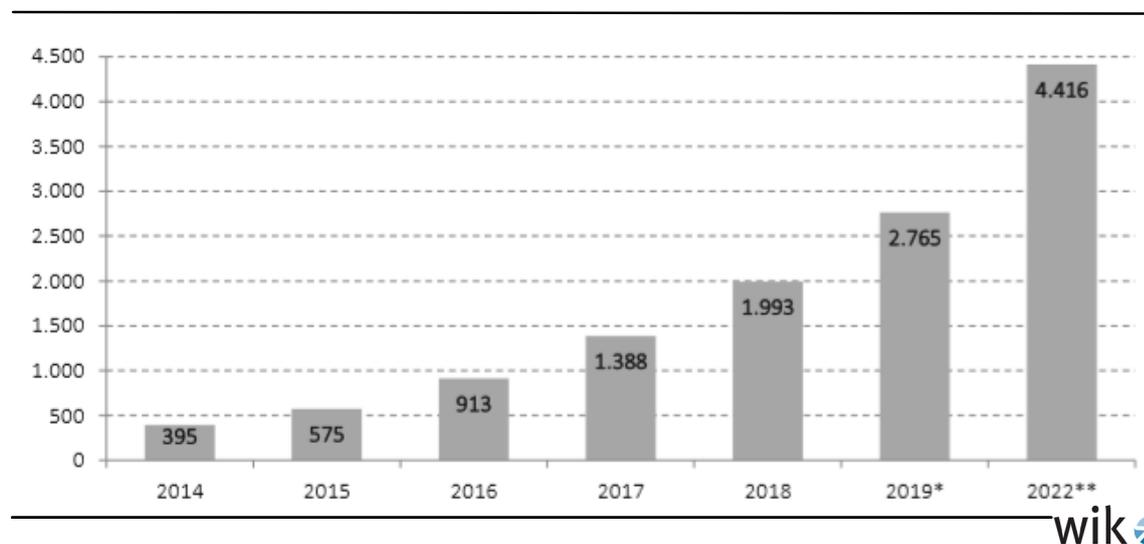
Quelle: (Monopolkommission, 2019, S. 74) nach (EU-Kommission, 2018)

### Steigendes Volumen im Mobilfunk

Der mobile Datenverkehr wächst weiterhin stark an, von 2017 auf 2018 gab es eine Steigerung um 44 Prozent von 1.388 Mio. GB auf 1.993 Mio. GB. 2019 stieg das Datenvolumen auf 2.757 Mio. GB um gut 38 Prozent an. Es ist ein starkes Wachstum zu beobachten, wenngleich die jährlichen Zuwachsraten geringer ausfallen.<sup>25</sup> Schätzungen sagen für 2022 mehr als 4 Mio. GB jährliches Datenvolumen voraus (siehe Abbildung 3, für 2019 ist hier eine Schätzung der BNetzA angegeben, die Schätzung für 2022 kommt von Cisco).

<sup>25</sup> (Bundesnetzagentur, 2020, S. 59).

Abbildung 3: Datenvolumen im Mobilfunk in Mio. GB (2014-2022)



Quelle: (Bundesnetzagentur, 2018, S. 57), (Monopolkommission, 2019, S. 72)

Die Marktanteile gemessen an den aktiven SIM-Karten (gesamt gut 147 Mio.) zeigen im 3. Quartal 2020 eine relativ gleichmäßige Aufteilung des Marktes auf Vodafone (ca. 37,5 Prozent, gut 55,2 Mio.), DTAG (ca. 32,5 Prozent, gut 47,84 Mio.) und Telefónica (ca. 29,9 Prozent, gut 44 Mio.).<sup>26</sup>

Ende des Jahres 2019 gab es in Deutschland 62.567 LTE-Basisstationen, was einer Steigerung von etwa 14 Prozent im Vergleich zum Vorjahr entspricht. 57.457 Basisstationen sind UMTS/3G und 70.432 Basisstationen GSM/2G zuzurechnen. Ende 2019 gab es außerdem 139 5G-Basisstationen.<sup>27</sup> Die tatsächliche Anzahl physischer Antennenstandorte beträgt etwas weniger als die Gesamtangabe zu den Funk-Basisstationen (Ende 2019: 81.282), da viele Basisstationen mehrere Technologien parallel integrieren.

Abbildung 4: Anzahl der Funk-Basisstationen in Deutschland 2017 – 2019

	2017		2018		2019	
		in %		in %		in %
<b>Gesamt</b>	<b>175.976</b>	<b>100</b>	<b>181.640</b>	<b>100<sup>1)</sup></b>	<b>190.595</b>	<b>100</b>
5G	-		-		139	0
LTE	48.146	27	54.911	30	62.567	33
UMTS/3G	57.905	33	57.180	31	57.457	30
GSM/2G	69.925	40	69.549	38	70.432	37

Quelle: (Bundesnetzagentur, 2020, S. 61)

<sup>26</sup> (Bundesnetzagentur, 2020).

<sup>27</sup> (Bundesnetzagentur, 2020, S. 61).

Die Deutsche Telekom (fortan DTAG) hat Stand September 2020 98,4 Prozent<sup>28</sup> der Einwohner mit LTE erreicht, Vodafone kam auf eine Abdeckung von 98,6 Prozent<sup>29</sup> und Telefónica erreichte Stand Dezember 2020 98 Prozent der Haushalte.<sup>30</sup> Im europäischen Vergleich rangiert Deutschland damit eher im hinteren Bereich.

### Zwischenfazit Mobilfunkmarkt in Deutschland

In Deutschland gibt es bisher drei MNB mit ähnlichen Marktanteilen. Dabei ist das Netz von Vodafone und der DTAG qualitativ hochwertiger<sup>31</sup> als das von Telefonica.<sup>32</sup> Was den Ausbau von 5G angeht, unterscheidet sich die Ausbaustrategie insofern, als dass die DTAG und Telefonica in den Ballungsräumen starten, während Vodafone auch vereinzelt und in ländlichen Gebieten ausbaut. Was den Fortschritt des 5G Ausbaus angeht, führt die DTAG vor Vodafone mit großen Abstand zur Telefónica.

---

<sup>28</sup> (Weidner, Telekom vermeldet 98,4 Prozent LTE-Abdeckung, 2020c).

<sup>29</sup> (Vodafone, 2020).

<sup>30</sup> (Weidner, Telefónica: 98 Prozent der Haushalte mit LTE versorgt, 2020b).

<sup>31</sup> Der aktuelle connect-Netztest (Dezember 2020) bezieht bspw. als Bewertungskriterien u.a. Geschwindigkeit des mobilen Internets, die Erfolgsrate beim Abrufen von Webseiten, die Breitbandabdeckung, die Zuverlässigkeit beim Aufbau von Verbindungen in verschiedenen Gebieten und die Verfügbarkeit und die Downstream-Geschwindigkeit von 5G in Großstädten mit ein. (Weidner, connect-Netztest: Telekom holt zehnten Sieg in Folge, 2020d).

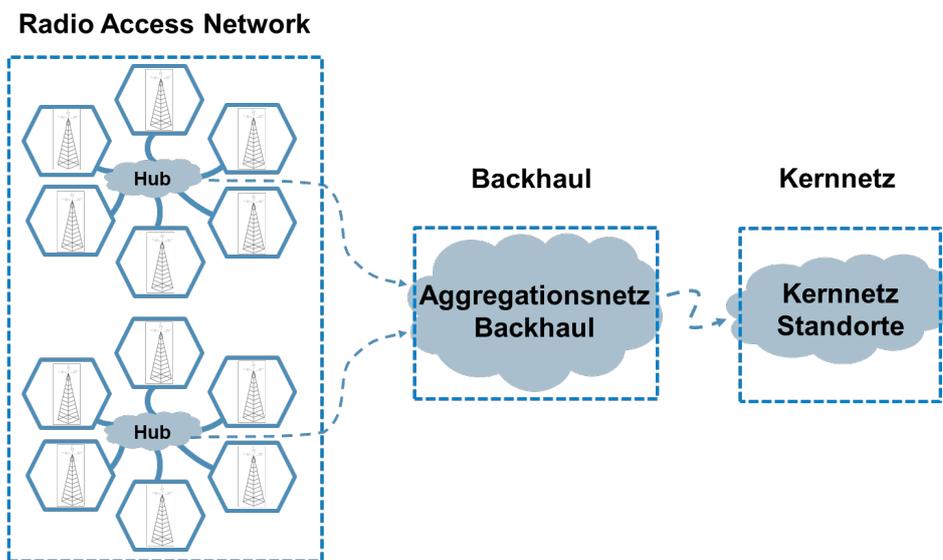
<sup>32</sup> (Weidner, Markus; Bekker, Christian, 2020a).

### 3 Formen von Network Sharing im Mobilfunk

In diesem Kapitel werden wir die unterschiedlichen Möglichkeiten des Infrastructure Sharing im Mobilfunk darstellen. Die klassischen Formen des Network Sharing im Mobilfunk beziehen sich auf die gemeinsame Nutzung von passiven und/oder aktiven Netzelementen, auch als Radio Access Network (RAN) bezeichnet.

Die gemeinsame Nutzung von Zugangsnetzen umfasst die gemeinsame Nutzung aller Zugangsnetzausrüstungen, einschließlich der Standorte und ihrer Ausrüstungen sowie alle Verbindungen und Anschlüsse, die für die Weiterleitung des Verkehrs an das Verbindungsnetz erforderlich sind, wie in Abbildung 5 dargestellt. Das Sharing des Radio Access Network (RAN Sharing) kann von der gemeinsamen Nutzung des Core Netzes unterschieden werden. In seiner weitest gehenden Form kann das gesamte RAN als ein Netz betrieben werden, das an der Schnittstelle zum Core Netz wieder in zwei Netze getrennt wird. Dabei könnte auch das Spektrum gemeinsam genutzt werden, muss es aber nicht.

Abbildung 5: Netzsegmente eines Mobilfunknetzes



Quelle: Eigene Darstellung WIK

Da beim Roaming alle Elemente eines Netzes genutzt werden, kommt auch diese Form der Kooperation im Ergebnis einem Network Sharing gleich, das jedoch neben dem Zugangsnetz das Core Netz mit einschließt. Es wird in dieser Studie ergänzend neben RAN (Radio Access Network) Sharing betrachtet. Das Roaming ist in dem hier vorgenommenen Modellierungsansatz das Substitut für das Sharing von RAN und Kernnetz und ist erheblich einfacher zu Modellieren als die explizit detaillierte gemeinsame Nutzung/ Teilung der einzelnen Netzsegmente und Serverplattformen – einfach, indem

man die Verkehrsmengen entsprechend des zusätzlich durch nationales/ regionales Roaming entstehenden Verkehrs erhöht.

### 3.1 Passives Sharing

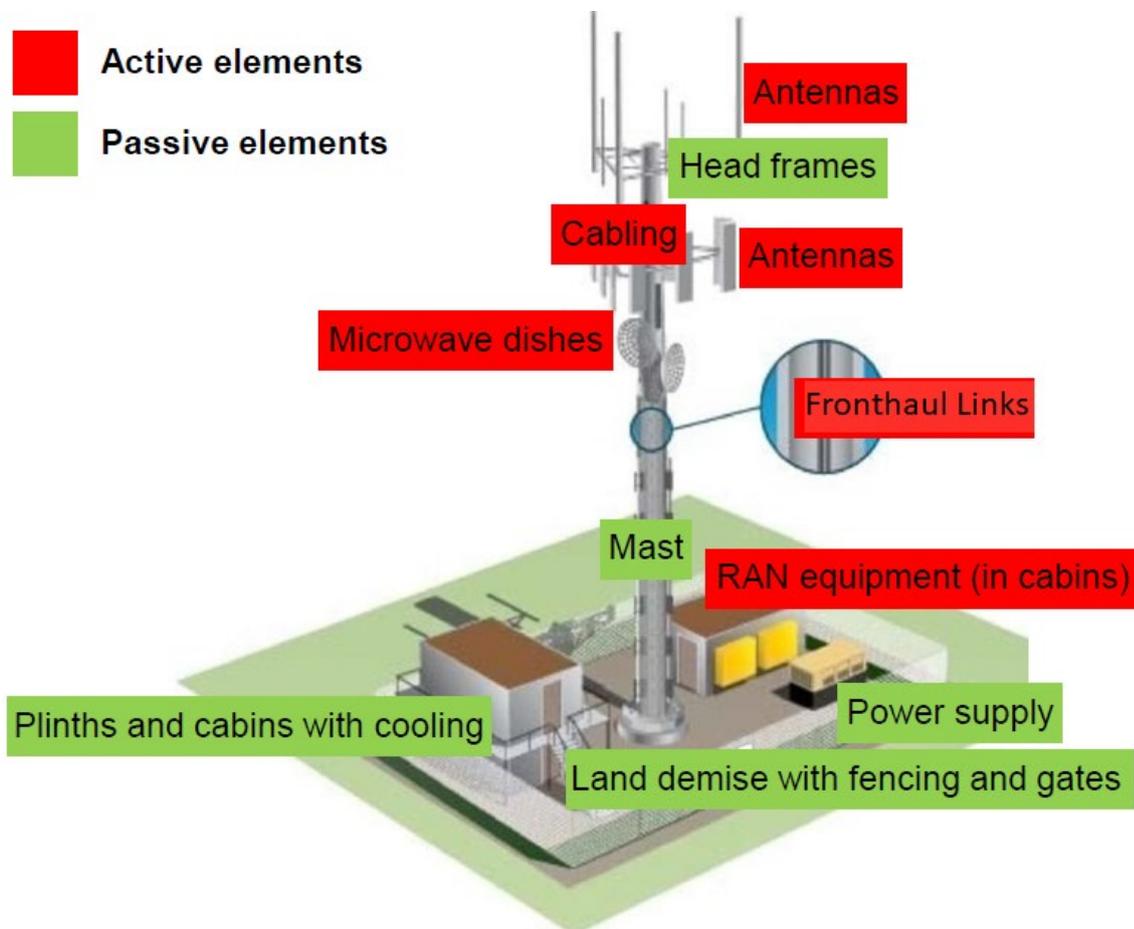
Unter passivem Sharing versteht man die gemeinsame Nutzung passiver Netzelemente. Dazu zählt die gemeinsame Nutzung von Standorten, Masten, Stromversorgung und Kühlung sowie die Anschlüsse zwischen den Standorten und dem jeweiligen Konzentrationspunkten bis hin zu den Kernnetz Standorten. Dazu zählen auch standortbezogene Dienstleistungen und Kosten, wie etwa Security, Brand- oder Objektüberwachung. Häufig wird hier auch die gemeinsame Nutzung von Antennen einbezogen<sup>33</sup>. Dies ist aus unserer Sicht nicht adäquat, da Antennen aktive Netzelemente darstellen. Wir behandeln daher diese Form des Sharing im Abschnitt 3.2 (Aktives Sharing).

In der Praxis können die passiven Elemente eines typischen Makro-Standortes eines Betreibers wie in Abbildung 6 dargestellt realisiert werden.

---

<sup>33</sup> (WIK, 2016, Network Sharing im Mobilfunk und Festnetz-Mobilfunk-Konvergenz in der Schweiz) <https://www.wik.org/studien/weitere-seiten/2016-network-sharing>.

Abbildung 6: Passive und aktive Elemente eines typischen Makro-Standortes eines Betreibers



Quelle: (Arqiva, 2015, S. 4)

wik 

Die gemeinsame Nutzung passiver Netzelemente stellt die verbreitetste Form des Sharings überall auf der Welt dar<sup>34</sup>. Hierzu ist keine aktive operative Koordination der Betreiber erforderlich und der Einfluss auf die Produkteigenschaften der kooperierenden Netzbetreiber ist gering. Sie ist vergleichsweise einfach zu gestalten und löst bzw. reduziert häufig auch ein Grundproblem des Mobilfunkbetriebes, die schlechte Akzeptanz der Antennenstandorte in der Bevölkerung<sup>35</sup>. Denn RAN-Sharing verringert die Zahl der Antennenstandorte.

<sup>34</sup> (WIK, 2016, Network Sharing im Mobilfunk und Festnetz-Mobilfunk-Konvergenz in der Schweiz) <https://www.wik.org/studien/weitere-seiten/2016-network-sharing>.

<sup>35</sup> (BMVI, 2019, Mobilfunkstrategie der Bundesregierung) [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile).

### 3.2 Aktives Sharing

Die gemeinsame Nutzung aktiver Netzelemente wird als "Aktives Sharing" bezeichnet. Gemeinsames Merkmal ist die gemeinsame Nutzung elektronischer Netzelemente.

Werden auch aktive Netzelemente wie Antennen oder Radio Network Controller gemeinsam genutzt, ist der Koordinierungsaufwand komplexer, weil Mobilfunknetzbetreiber einige Herausforderungen wie Hardware-Kompatibilität und spezifische Datensicherheitsmaßnahmen bewältigen müssen, und obendrein führt die gemeinsame Entscheidungsfindung der beteiligten Betreiber zu einer Verzögerung der "Strategischen Planung" und damit zu einer Verzögerung des Einführungsprozesses. Entsprechend können die wettbewerblichen Implikationen je nach Ausprägung und Gestaltung dieser Form des Sharings komplexer und auch so sein, dass die wettbewerbliche Unabhängigkeit der Betreiber und deren Produktgestaltungsspielraum eingeschränkt ist, da jeder Mobilfunknetzbetreiber in der Implementierung besonderer Leistungsmerkmale und Produkteigenschaften durch die Möglichkeiten der geharten Systeme eingeschränkt ist. In der Praxis können aktive Elemente eines typischen Makro-Standortes eines Betreibers wie in Abbildung 6 dargestellt realisiert werden.

### 3.3 Nationales Roaming

Nationales Roaming entweder in landesweiter oder in regionaler Ausprägung stellt auch eine Form der Netzkooperation dar. Beim Roaming wird der Verkehr eines Kunden des Betreibers A über das Netz des Betreibers B transportiert und geroutet bzw. die zwei Betreiber teilen sich ein ganzes Netz. Nationales Roaming kann symmetrisch zwischen den Mobilfunknetzbetreibern oder asymmetrisch von einem Betreiber zum anderen erfolgen. Im Zuge der Erleichterung des Markteintritts von Newcomern setzen einzelne Regulierungsbehörden nationales Roaming als ein temporäres Zugangsinstrument ein<sup>36</sup>. Im Kontext der 5G Einführung (oder der Einführung einer späteren Generation, z.B. 6G) kann gegenseitiges Roaming dazu führen, ein Land insgesamt schneller flächendeckend mit einer neuen Technologie und den damit verbundenen Diensten zu versorgen, als es zwei unabhängig voneinander agierende Unternehmen vermöchten, die nach rationalem ökonomischen Handeln typischerweise zunächst in den attraktiveren Gebieten auch in einen infrastrukturellen Wettbewerb zueinander eintreten würden. Nur Versorgungsaufgaben oder übergeordnete wettbewerbliche Überlegungen könnten dann ergänzend zu einem gleichmäßigeren flächendeckenden Ausbau führen.

Beim nationalen Roaming konkurrieren die beteiligten Betreiber weiterhin auf der Ebene der Endkundendienste. Die Möglichkeiten des Roaming nachfragenden Betreibers, seine Dienste zu differenzieren, sind jedoch durch die technischen Möglichkeiten des gastgebenden Netzes begrenzt. Im Falle von Roaming stehen die beteiligten Wettbe-

---

<sup>36</sup> (WIK,2019, Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Diskussionsbeitrag Nr. 443).  
[https://www.wik.org/uploads/media/WIK\\_Diskussionsbeitrag\\_Nr\\_443.pdf](https://www.wik.org/uploads/media/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_443.pdf).

werber in der gleichen Region im Wettbewerb auf der Dienste-Ebene zueinander. Die Roaming-Vereinbarung erlaubt es dem nachfragenden Betreiber auch, dort seine Dienste gegenüber dem Endkunden zu erbringen, wo er mit eigener Infrastruktur nicht oder noch nicht präsent ist.

### **3.4 Andere Formen von Network Sharing im Mobilfunk**

In dieser Studie haben wir unsere Berechnungen unter Berücksichtigung von RAN-Sharing sowie National Roaming durchgeführt. Darüber hinaus können auch andere Formen der gemeinsamen Nutzung von Netzen realisiert werden. In der Theorie können Mobilfunknetzbetreiber in verschiedenen Segmenten des Mobilfunknetzes kooperieren z.B. Backhaul (Transportnetz), Kernnetz, und zusätzlich können sie auch ihre verfügbaren Spektrum gemeinsam nutzen. Abbildung 7 stellt die wichtigsten theoretischen Architekturformen der gemeinsamen Nutzung von Netzwerken dar. Unter den verschiedenen Netzwerksegmenten bietet die gemeinsame Nutzung aktiver Elemente des Netzwerksegments die größten Gesamteinsparungen im Vergleich zur passiven gemeinsamen Nutzung (falls zutreffend). Es ist jedoch wichtig, den inkrementellen Nutzen gegenüber den anderen Sharing-Formen zu verstehen.

Abbildung 7: Architekturformen der Network Sharing

Architectural Model	Site	Antennas & feeders	RAN elements	Transmission (backhaul)	Spectrum	Core network elements	Transmission (backbone)
Passive	Orange						
Active RAN	Orange	Orange	MORAN Orange	MOCN Orange			
Transmission				Orange			Orange
Core Network (GWCN)						Diagonal stripes	
National Roaming	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange		
Full MVNO	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange		
Thin MVNO	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange

Quelle: (Buist, 2016, S. 9)

Wenn die beiden potentiellen Partner dabei sind, in neue RAN-Ausrüstung zu investieren, um eine neue Technologie einzuführen, dann wird eine aktive gemeinsame Nutzung viel attraktiver, weil Investitionen zunächst verringert werden können. Jedoch weniger als 10 % der Vereinbarungen über die gemeinsame Nutzung von Netzwerken beinhalten die gemeinsame Nutzung oder das Pooling von Frequenzen (MOCN), und dies aus einer Vielzahl von Gründen, z.B.:

- Beide Partner verfügen über ausreichende Frequenzen für ihre Bedürfnisse (Kapazität und Breitbandgeschwindigkeit), wobei Merkmale wie Trägeraggregation berücksichtigt werden.
- Ein Partner hat einen Spektrum-Vorteil und ist aus Wettbewerbsgründen nicht bereit, diesen zu teilen.

Vor der Einführung der 5G-Technologie waren Vereinbarungen über die gemeinsame Nutzung von Kernnetzen „Gateway Core Network“ (GWCN) zwischen den Mobilfunknetzbetreibern wegen der Komplexität der Implementierung, der Vereinbarungen und

aus Wettbewerbsgründen nicht so häufig vertreten<sup>37</sup>. Die rasche Entwicklung von Network Function Virtualization (NFV)-, Software Defined Networks (SDN)- und Cloud-Environment kann diese Situation jedoch ändern, und daher sollten Vereinbarungen über die gemeinsame Nutzung dieses Potenzials in naher Zukunft einbezogen werden. Das Konzept von SDN zugrundeliegend ist der Ansatz, dass eine Trennung von Transportschicht (Netzelemente/Netzknoten) und Steuerungsschicht erfolgt, die bislang in einzelnen Hardwarekomponenten mit deren integrierter und damit proprietärer Steuerungssoftware realisiert war. Dies bedeutete für die Administration eines Netzes, dass Einstellungen zur Konfigurierung der Netzfunktionen in jedem einzelnen Netzknoten erfolgen mussten. Zukünftig wird diese Funktion der Netzsteuerung auf einer höheren Netzebene zentralisiert. Dies hat den Vorteil, dass die Steuerungsebene nicht nur Kenntnis der Konfiguration eines einzelnen Netzknotens hat, sondern einen Überblick über das gesamte Netz bzw. relevante Teilnetze und deren Auslastung hat. Auf diese Weise wird die bisher dezentral verankerte Steuerung der Netzknoten zentral steuerbar und die Verkehrsflüsse können ganzheitlich optimiert werden. Die Grundidee hinter dem Konzept der Virtualisierung von Funktionen ist ebenso wie bei SDN die Trennung von Hard- und Software. Der Fokus von NFV wird eher auf Einrichtungen der Kontrollschicht gelegt. Weitere Effizienzsteigerungen werden dadurch erreicht, dass die Funktionen der bislang in der proprietären Hardware implementierten und untrennbar verbundenen Software nun auf Standardhardware (Computer/Server) realisiert werden. Die verbleibende, spezielle Netz-Hardware wird dadurch auf die rudimentär notwendigen Funktionen der Vermittlung und priorisierten Übertragung, ohne integrierte Managementfunktionen, reduziert. Eine detaillierte Beschreibung zur SDN/NFV und ihre Auswirkungen auf die Kosten von Mobilfunk und Festnetz im regulatorischen Kontext findet sich in der WIK Studie aus 2020<sup>38</sup>. Das nationale Roaming als Kooperationsform beschreibt das Maximum der möglichen Formen der Zusammenarbeit und steht daher für die Obergrenze des durch Zusammenarbeit möglichen Einsparungspotenzials.

---

<sup>37</sup> Beispielweise MOCN zwischen Telenor und Telia in Denmark.

<https://telecoms.com/502867/telenor-and-telia-claim-multi-operator-core-network-first-in-denmark/>

<sup>38</sup> (Eltges, Kulenkampff, Plückebaum, & Sabeva, 2020).

## 4 Regulatorische und politische Rahmenbedingungen für 5G und Infrastructure Sharing in Deutschland

Den Kosten- und Abdeckungsvorteilen von Sharing stehen potentielle negative Effekte, wie bspw. weniger Wettbewerb gegenüber. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie man aus regulatorischer Sicht mit Sharing umgeht, inwiefern man dieses begünstigt oder für bestimmte Fälle verpflichtend macht. Im Rahmen verschiedener WIK-Studien, bspw. für die Schweiz (2016), wurde bereits festgestellt, dass passives Sharing heute in diversen Ländern Standard ist und dabei aus regulatorischer Sicht keine nennenswerten Bedenken bestehen. Anders sieht dies beim Teilen aktiver Elemente aus.

Der Hauptvorteil<sup>39</sup> von Infrastructure Sharing liegt in der Möglichkeit, Kostenvorteile gegenüber dem Ausbau des Gebietes durch mehrere einzelne Betreiber zu erzielen. Dies hat vorwiegend in folgenden Situationen **Relevanz**:

- wenn ein schneller Technologie Rollout begünstigt werden soll, der mit hohen anfänglichen Investitionskosten einhergeht oder
- wenn ein Marktakteur neu in den Markt eintritt und schnell wettbewerbsfähig werden will oder
- sich bereits ein erster eigenwirtschaftlicher Ausbau eines Betreibers nicht trägt<sup>40</sup> oder die Infrastrukturen für weitere Anbieter nicht replizierbar sind (aus wohlfahrtsökonomischer Sicht Anstoß der NRB zum Sharing, um Monopollösungen zu verhindern und dennoch wettbewerbliche Versorgung zu schaffen).

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Infrastructure Sharing zu begünstigen oder aufzuerlegen (**Instrumente**):

- zur Erfüllung von anspruchsvollen Versorgungspflichten bei Frequenzvergaben, die ohne eine Kooperation zeitlich oder finanziell kaum realisierbar sind (Anreizmechanismus seitens der NRB)<sup>41</sup>
- im Rahmen von Frequenzvergaben als bindende Verpflichtung zum Erhalt der Nutzungsrechte
- durch entsprechende Regelungen im Rahmen der finanziellen Förderung
- als regulatorische Verpflichtung für SMP-Netzbetreiber
- als Auflage im Rahmen von Genehmigungsverfahren bei Fusionen

---

<sup>39</sup> Hinweis: Da die Standortsuche bzw. die Genehmigung des Baus von Standorten oftmals kompliziert ist, liegen auch vor diesem Hintergrund Anreize zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur/ Standorten.

<sup>40</sup> Es könnte ein weiterer Anbieter bauen, obwohl es unwirtschaftlich ist, um strategisch andere, mit weniger Mitteln, aus dem Markt zu drängen.

<sup>41</sup> Siehe bspw. auch (Nett & Sörries, 2019, S. 42).

Folgende relevante **Regelwerke** und Strategiepaper werden in diesem Kapitel betrachtet:

- Europäische Vorgaben im Rahmen des Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation EKEK
- Thesenpapier der BNetzA und TKG Novelle
- Versorgungsaufgaben im Rahmen der Frequenzauktion 2019
- Vereinbarungen im Rahmen der Mobilfunkgipfel 2018 und 2020, die Mobilfunkstrategie 2019 und das Corona-Konjunkturpaket 2020
- Umweltauflagen

Mit Blick auf die bisherige Praxis von Network Sharing in verschiedenen Ländern, kommt die Motivation zum Infrastructure Sharing von den Marktakteuren selbst und wird durch die Rahmendbedingungen, die je nach Land mehr oder weniger stark unterstützend wirken, begleitet.<sup>42</sup>

#### 4.1 Status quo in Deutschland und Regelungen im Rahmen der TKG Novelle 2020

In Deutschland gibt es zum heutigen Zeitpunkt keine konkreten gesetzlichen Vorgaben oder Verpflichtungen zur gemeinsamen Nutzung aktiver<sup>43</sup> Infrastrukturen.<sup>44</sup> Kooperationen im Telekommunikationssektor werden, wie in anderen Sektoren auch, bezüglich der kartellrechtliche Zulässigkeit der Zusammenarbeit vom Bundeskartellamt entsprechend der Vorgaben des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen geprüft.

2001 hat die Bundesnetzagentur im Rahmen der Vergabe der UMTS-Lizenzen in einem Thesenpapier Stellung dazu bezogen, welche Arten der gemeinsamen Nutzung aus wettbewerblicher Sicht unbedenklich sind. Dieses Papier wurde im Jahr 2010 überarbeitet.<sup>45</sup> Tenor ist, dass die gemeinsame Nutzung passiver Element unkritisch ist. Bei

---

<sup>42</sup> (BEREC, 2018, S. 2,4).

<sup>43</sup> Die freiwillige gemeinsame Nutzung passiver Infrastrukturen gilt grundsätzlich als eher unkritisch. Eingefordert werden kann diese (bei Vorliegen entsprechender Voraussetzungen) bspw. im Rahmen des DigiNetz-Gesetzes (vgl. § 77d TKG). Zu den passiven Infrastrukturen eines Netzes gehören laut §3 Abs. 17 b TKG: „Komponenten eines Netzes, die andere Netzkomponenten aufnehmen sollen, selbst jedoch nicht zu aktiven Netzkomponenten werden; hierzu zählen zum Beispiel Fernleitungen, Leer- und Leitungsrohre, Kabelkanäle, Kontrollkammern, Einstiegsschächte, Verteilerkästen, Gebäude und Gebäudeeingänge, Antennenanlagen und Trägerstrukturen wie Türme, Ampeln und Straßenlaternen, Masten und Pfähle; Kabel, einschließlich unbeschalteter Glasfaserkabel, sind keine passiven Netzinfrastrukturen;“ Für den Mobilfunk ist dies für die Anbindung von Antennenstandorten sowie die Mitnutzung von Masten relevant.

<sup>44</sup> Ausnahme: Im Rahmen der Marktregulierung, genauer der Zugangsregulierung (§ 21 Abs.2 Nr.6 TKG), gibt es eine Angabe zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur, diese betrifft dann allerdings nur marktmächtige Unternehmen. Die Anwendung setzt außerdem ein Marktregulierungsverfahren voraus. § 60 Abs. 2 S. 1 TKG zu den Bestandteile der Frequenzuteilung spricht die grundsätzliche Möglichkeit an, Frequenzen bei der Zuteilung mit Nebenbestimmungen zu versehen.

<sup>45</sup> (Bundesnetzagentur, 2010).

der gemeinsamen Nutzungen von Funknetzinfrastrukturen und Frequenzressourcen (also aktiven Netzelementen) heißt es in den Hinweisen der BNetzA:

*„Die gemeinsame Nutzung von Funknetzinfrastrukturen ist ohne weitere Zustimmung durch die Bundesnetzagentur möglich, **sofern die wettbewerbliche Unabhängigkeit nicht eingeschränkt wird und auch der Infrastrukturwettbewerb weiterhin gewährleistet ist.** Weitergehende gemeinsame Nutzungen von Funknetzinfrastrukturen und Frequenzressourcen bedürfen der Einzelfallprüfungen durch die Bundesnetzagentur und erforderlichenfalls die zuständige Kartellbehörde.*

[...]

*Derartige Kooperation, insbesondere solche, die eine **gemeinsame Nutzung von Frequenzen im Bereich knapper Ressourcen** beinhalten, tangieren den Grundsatz der wettbewerblichen Unabhängigkeit der Netzbetreiber. Aus diesem Grund können solche Kooperation **nicht abstrakt generell zugelassen werden, sondern bedürfen mit Blick auf die jeweiligen Auswirkungen auf die wettbewerbliche Unabhängigkeit der Netzbetreiber einer Prüfung im Einzelfall.**“*

Unter bestimmten Voraussetzungen ist entsprechend den Hinweisen der BNetzA also auch aktives Infrastructure Sharing zulässig.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwiefern die BNetzA selbst Auflagen zum Teilen aktiver Infrastruktur machen darf. In einer aktuellen rechtlichen Erörterung zur möglichen Einführung verpflichtenden Vorschriften zur gemeinsamen Nutzung von Mobilfunkinfrastrukturen heißt es allerdings mit Blick auf die Verwaltungspraxis der BNetzA, dass diese „die Auferlegung von Verpflichtungen zur Gewährung von Roaming und Infrastructure Sharing im Mobilfunk aus ihrer Sicht mangels Rechtsgrundlage ab“ - lehnt.<sup>46</sup>

Insbesondere vor dem Hintergrund des Markteintritts eines neuen Betreibers drängt sich die Frage nach verpflichtenden Vorgaben zum Infrastructure Sharing im Rahmen der TKG Novelle auf, denn ein wettbewerbspolitisch gewollter Markteintritt könnte ohne Vorgaben gefährdet sein (vgl. die andauernden Verhandlungen von Drillisch mit den drei Netzbetreibern, siehe Abschnitt 5.2.3)<sup>47</sup>.

### **Umsetzung der Inhalte des Europäische Kodex für die elektronische Kommunikation (EKEK) im Rahmen TKG Novelle 2020**

Gesetzliche Rahmenbedingungen zum Infrastructure Sharing werden in der anstehenden TKG Novelle adressiert, die bis um 21.12.2020 die Inhalte des Europäische Kodex für die elektronische Kommunikation (EKEK)<sup>48</sup> in nationales Recht umsetzen muss.

---

<sup>46</sup> (Nacimiento, 2020, S. 15).

<sup>47</sup> (Sawall, 2020).

<sup>48</sup> (EU Parlament, EU Rat , 2018).

Hauptpunkt des Kodex mit Blick auf Infrastructure Sharing ist, dass die nationalen NRBs Mobilfunknetzbetreiber zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur und zu lokalem Roaming verpflichten können. In einem nicht bindenden, nicht abschließenden Eckpunktepapier<sup>49</sup> von BMWi und BMVI im Zuge der Umsetzung des Kodex werden bezüglich der gemeinsamen Nutzung von Infrastrukturen vor allem zwei Artikel aus dem Kodex angesprochen:

- Art. 47 Abs. 2 EKEK räumt die Möglichkeit ein, bei der Frequenzuteilung Bedingungen an die Frequenzen zu binden, namentlich: den gemeinsamen Aufbau, die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur oder den Abschluss von Roamingvereinbarungen
- Art. 61 Abs. 4 EKEK spricht dabei der NRB die Befugnis zu, die vorab an die Frequenzen geknüpften Bedingungen bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen (bspw. wenn unüberwindbare wirtschaftliche oder physische Hindernisse für den marktgesteuerten Ausbau der Infrastruktur bestehen) aufzuerlegen, bspw. eine Roamingvereinbarung.

Der detaillierte Wortlaut der Artikel kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Relevante Artikel aus dem EKEK mit Blick auf die Verpflichtung zur gemeinsamen Nutzung von Infrastrukturen

Artikel im EKEK	Grobzusammenfassung	Detailtext
Art. 47 Abs. 2	Bedingungen, die bei der Vergabe an Frequenznutzungsrechte geknüpft werden dürfen	<p>Verknüpfen die zuständigen Behörden individuelle Funkfrequenznutzungsrechte mit Bedingungen, so können sie, insbesondere um eine effektive und effiziente Frequenznutzung sicherzustellen oder die Versorgung zu verbessern, folgende Möglichkeiten vorsehen:</p> <p>a) gemeinsam Nutzung von passiven oder aktiven Infrastrukturen für die Funkfrequenznutzung oder von Funkfrequenzen</p> <p>b) kommerzielle Roamingzugangvereinbarungen,</p> <p>c) gemeinsamer Ausbau von Infrastrukturen für die Bereitstellung von auf Funkfrequenzen gestützten elektronischen Kommunikationsnetzen oder -diensten.</p>

<sup>49</sup> (BmWi; BmVI, 2019).

Artikel im EKEK	Grobzusammenfassung	Detailtext
Art. 61 Abs. 4	Befugnis für NRB, Infrastructure Sharing, lokales Roaming und Nutzung von aktiver Infrastruktur aufzuerlegen (bei Vorliegen verschiedener Voraussetzungen)	[...] sorgen die Mitgliedstaaten dafür, dass die zuständigen Behörden <b>befugt sind</b> , Unternehmen, die elektronische Kommunikationsnetze bereitstellen oder zu deren Bereitstellung berechtigt sind, im Einklang mit dem Unionsrecht Verpflichtungen in Bezug auf <b>die gemeinsame Nutzung von passiven Infrastrukturen oder Verpflichtungen über den Abschluss lokaler Roamingzugangvereinbarungen aufzuerlegen, sofern</b> dies in beiden Fällen für die Bereitstellung von auf Funkfrequenzen gestützter Dienste auf lokaler Ebene unmittelbar erforderlich ist und sofern keinem Unternehmen tragfähige und vergleichbare alternative Zugangswege zu den Endnutzern zu fairen und angemessenen Bedingungen zur Verfügung gestellt werden. Die zuständigen Behörden können derartige Verpflichtungen nur dann auferlegen, wenn diese Möglichkeit bei der Erteilung der Frequenznutzungsrechte ausdrücklich vorgesehen wurde und wenn dies dadurch gerechtfertigt ist, dass in dem Gebiet, für das diese Verpflichtungen gelten, unüberwindbare wirtschaftliche oder physische Hindernisse für den marktgesteuerten Ausbau der Infrastruktur zur Bereitstellung funkfrequenzgestützter Netze oder Dienste bestehen, weshalb Endnutzer äußerst lückenhaften oder gar keinen Zugang zu Netzen oder Diensten haben. Lässt sich mithilfe des Zugangs zu und der gemeinsamen Nutzung passiver Infrastruktur allein keine Abhilfe schaffen, <b>können die nationalen Regulierungsbehörden vorschreiben, dass aktive Infrastruktur gemeinsam genutzt wird.</b>

Quelle Tabelle: (Nacimiento, 2020), (EU Parlament, EU Rat , 2018), (BMW i; BMVI, 2019, S. 18)

Der EKEK unterstützt grundsätzlich die gemeinsame Nutzung von Ressourcen sowohl von passiven als auch von aktiven Elementen inklusive des Spektrums (siehe bspw. Art. 47 Abs. 2 EKEK). Hierbei werden wörtlich „aktive Infrastrukturen für die Funkfrequenznutzung oder von Funkfrequenzen“ und „kommerzielle Roamingzugangsvereinbarungen“ genannt.

Kooperationsverpflichtungen, also bspw. die Auferlegung der Pflicht zum Roaming, können allerdings nur unter strengen Voraussetzungen auferlegt werden. Dazu zählen u.a. dass die „Bereitstellung von auf Funkfrequenzen gestützter Dienste auf lokaler Ebene unmittelbar erforderlich ist“ und „keinem Unternehmen tragfähige und vergleichbare alternative Zugangswege zu den Endnutzern zu fairen und angemessenen Bedingungen zur Verfügung gestellt werden.“ Ferner setzt eine Auferlegung der Verpflichtungen voraus, dass dies vorab in den Frequenznutzungsrechten vorgesehen wurde. Allgemeiner formuliert: Die Verpflichtungen können nur auferlegt werden, wenn wettbewerbliche Aspekte oder die Verbraucherinteressen (sonst kein Zugang) dies erfordern und der Zugang und die Nutzung passiver Infrastruktur dafür nicht ausreichend ist.

### Fazit zum aktuellen Rechtsrahmen

Die Relevanz von Regelungen zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur, vor allem aktiver Infrastruktur, sowohl für Vereinbarungen auf freiwilliger Basis zum Schutz des Wettbewerbs oder für die verpflichtende Auferlegung zur Erreichung politischer Versorgungsziele oder zur Erleichterung des Markteintritts für Neueinsteiger hat sich über Jahre hinweg gezeigt, vor allem im Rahmen von Frequenzvergaben (siehe Kapitel 4.2). Ende 2020 werden im Rahmen der TKG Novelle die Inhalte des Kodex in deutsches Recht umgesetzt. Somit werden neue Regelungen und Konkretisierungen bisher eher vager Ansätze zur (verpflichtenden) Nutzung gemeinsamer Infrastrukturen Einzug halten. Die genauen Auswirkungen sind aufgrund der Auslegungsspielräume Stand heute nicht voll absehbar.

## 4.2 Versorgungsaufgaben im Rahmen der Frequenzauktion 2019 (Kapazitätsfrequenzen)

Alle Betreiber, die bei der Frequenzauktion 2019 erfolgreich waren, unterliegen symmetrischen Versorgungsverpflichtungen<sup>50</sup>. Diese sehen vor, dass

- bis Ende 2022 mindestens 98 % der Haushalte je Bundesland mit mindestens 100 Mbit/s versorgt sein müssen.

---

<sup>50</sup> »Bundesnetzagentur stärkt Deutschland als Leitmarkt für 5G (Begleitpapier zur 123. Sitzung des Beirats am 26. November 2018)«, (Bundesnetzagentur, 2018) sowie „Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen über die Festlegungen und Regeln im Einzelnen (Vergaberegeln) und über die Festlegungen und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens (Auktionsregeln) zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz. - Aktenzeichen: BK1-17/001“.  
Für Neueinsteiger gelten abweichende Auflagen, vgl. S. 2.

- jeder Netzbetreiber 1000 Basisstationen für 5G-Anwendungen im Bereich 3,6 GHz grundsätzlich bis Ende 2022 aufzurüsten hat.<sup>51</sup>
- 500 Stationen pro Netzbetreiber mit einer Übertragungsrates von mindestens 100 Mbit/s bis Ende 2022 für den ländlichen bzw. unwirtschaftlichen („weiße Flecken“) aufgebaut werden müssen.<sup>52</sup>

Mit Blick auf Kooperationen zwischen den MNB wird ausdrücklich betont, dass diese in Gebieten, die für alleinigen Ausbau unwirtschaftlich sind, erwartet und gefördert werden. Durch die Implementierung eines Verhandlungsgebots<sup>53</sup> sind Netzbetreiber u.a. dazu verpflichtet, auf Anfragen anderer Betreiber:

- zum Infrastructure Sharing<sup>54</sup>
- im Zusammenhang mit National Roaming<sup>55</sup>
- und ebenfalls Diensteanbietern<sup>56</sup>
- sowie „zur Überlassung von ungenutzten Frequenzen im lokalen Bereich, sofern dies technisch möglich und eine störungsfreie Frequenznutzung sichergestellt ist“<sup>57</sup> einzugehen.

Um diesem Verhandlungsgebot Nachdruck zu verleihen, wird die Rolle der BNetzA als Schiedsrichter geschärft.<sup>58</sup> Sollten die Verhandlungen nicht diskriminierungsfrei gegenüber einem Diensteanbieter im Vergleich zum eigenen Vertrieb stattfinden, steht es der BNetzA zu, im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten, Zwangs- und Bußgelder zu verhängen.<sup>59</sup>

---

**51** Wird geeignete 5G-Technik erst später verfügbar, verschiebt sich die Frist auf 2024.

**52** Die Standortauswahl wird von Bundesländer ausgegeben (entsprechend der gemeldeten Bedarfe der Gemeinden).

**53** Dieses beinhaltet allerdings kein Einigungsgebot. Vgl. auch (Bundesnetzagentur, 2018a, S. 100) Grundlage hierfür ist § 60 Abs. 2 S. 1 TKG i. V. m. § 61 Abs. 6 TKG sowie § 52 Abs. 1 TKG i. V. m. den in § 2 Abs. 2 und 3. „Allerdings beinhaltet das Verhandlungsgebot das Ziel, in privatautonomen Verhandlungen einen Vertragsschluss zu erreichen. Ohne einen intendierten Vertragsschluss wäre ein Verhandlungsgebot gegenstandslos und nicht geeignet, die Regulierungsziele des TKG zu fördern.“ (Bundesnetzagentur, 2018b, S. 96).

**54** (Bundesnetzagentur, 2018, S. 11) (Bundesnetzagentur, 2018b, S. 103).

**55** (Bundesnetzagentur, 2018b, S. 102).

**56** Hierbei geht es darum, mit Diensteanbietern über Funkkapazitäten zu verhandeln. Grundlage ist Rechtsgrundlage der Diensteanbieterregelung ist § 60 Abs. 2 S. 1 TKG i. V. m. § 61 Abs. 6 TKG. in § 2 TKG genannten Regulierungsziele mit Nebenbestimmungen versehen werden. Die Auferlegung eines Verhandlungsgebots beruht dabei auf § 52 Abs. 1 TKG i. V. m. den in § 2 Abs. 2 und 3 TKG. (Bundesnetzagentur, 2018b, S. 90).

**57** (Bundesnetzagentur, 2018, S. 3, 97) „Im Fall eines vorgetragenen Verstoßes gegen das Verhandlungsgebot kann die Bundesnetzagentur das betroffene Unternehmen zunächst zur Abhilfe auffordern. Hiernach kann sie erforderlichenfalls Verstöße gegen das Verhandlungsgebot unter Festsetzung eines Zwangsgelds untersagen (§ 126 Abs. 1, Abs. 2, Abs. 5 TKG).“

**58** (Bundesnetzagentur, 2018b, S. 3) Rechtsgrundlage hierfür siehe § 126, § 149 Abs. 2 S. 2 und 3 TKG. Die BNetzA kann Auskunft über den Verhandlungsverlauf verlangen (§ 127 TKG).

**59** Vgl.

[https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126\\_Entscheidungen\\_III\\_IV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=1), S. 97: „Überdies besteht die Möglichkeit der Ahndung von Verstößen als Ordnungswidrigkeiten nach § 149 TKG. Zu verhängende Geld-

Die BNetzA hat mit den Versorgungsaufgaben im Rahmen der Frequenzauktion einen Anreizmechanismus für Kooperationen geschaffen, jedoch keine konkreten Vorgaben zur Umsetzung gemacht.

### **4.3 Vereinbarungen und Diskussionspunkte im Rahmen der Mobilfunkgipfel 2018 und 2020, der Mobilfunkstrategie 2019 und des Corona-Konjunkturpakets 2020**

Die Position und Vorgehensweise der Bundesregierung im Bereich Mobilfunk, besonders mit Blick auf das Schließen weißer Flecken und den Roll-out von 5G, ist im Rahmen der Mobilfunkgipfel 2018 und 2020 und anhand der Mobilfunkstrategie, die zwischen diesen beiden Gipfeln erarbeitet und beschlossen wurde, abzulesen.

#### **Erster Mobilfunkgipfel 2018**

Am 12.07.2018 fand ein erster Mobilfunkgipfel statt. Dort wurden Zusagen der MNB vereinbart, vor allem:

- bis 31.12.2020: 99 % der Haushalte und im Laufe des Jahres 2021: 99 % der Haushalte in jedem Bundesland mit 4G<sup>60</sup> zu versorgen. Dabei streben die MNB mit Blick auf die „Kosteneffizienz einen kooperativen Ausbau an, bei dem jeder Betreiber einen Teil der Versorgungslücken schließt, am jeweiligen Standort in diesen letzten weißen Flecken aber auch die Kunden der anderen Betreiber mitversorgt werden“.<sup>61</sup>
- Im Gegenzug erhalten sie investitionsfördernde Rahmenbedingungen zum Ausbau des Mobilfunknetzes. Konkret bedeutet dieser Punkt, dass die MNB Vergünstigungen bei den Zahlungsbedingungen für die Erlöse der 5G-Frequenzauktion erhalten.“<sup>62</sup>

Diese Zusagen wurden im Rahmen der aus dem Treffen entstandenen Mobilfunkstrategie fest zugesagt.

#### **Mobilfunkstrategie der Bundesregierung 2019**

Im November 2019 hat die Bundesregierung ihre Mobilfunkstrategie veröffentlicht. Der Hauptfokus liegt dabei einerseits auf dem Schließen von Funklöchern und andererseits auf der Weichenstellung für einen beschleunigten Ausbau des 5G und LTE Netzes in Deutschland.

---

bußen sollen dabei gemäß § 149 Abs. 2 S. 2 und 3 TKG den durch einen Verstoß gegen das Verhandlungsgebot erlangten wirtschaftlichen Vorteil übersteigen.“

<sup>60</sup> mindestens 4G-Versorgung mit 50 Mbit/s pro Abstrahlleistung am Mast, (DStGB, 2018, S. 2).

<sup>61</sup> mindestens 4G-Versorgung mit 50 Mbit/s pro Abstrahlleistung am Mast, (DStGB, 2018, S. 2).

<sup>62</sup> (BMVI, 2019, S. 37).

Viele der geplanten Maßnahmen sollen von einer neu zugründenden (voraussichtlicher operativer Start Q3 2019) Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) umgesetzt werden.<sup>63</sup> Die Gesellschaft wird selbst keine Masten bauen, soll allerdings den Netzausbau planen, begleiten und dokumentieren sowie eine Vermittlerrolle zwischen Mobilfunknetz- und Standortbetreibern, Ländern und Kommunen einnehmen.<sup>64</sup> So soll „eine sinnvolle Netztopologie und damit eine bestmögliche Abdeckung auch in der Fläche, abseits von Siedlungen“<sup>65</sup> erreicht werden. Über die genaue Art der Förderung bzw. den Zahlungsempfänger werden öffentliche Diskussionen geführt. Dabei wird z.B. auch diskutiert, ob die Gelder sinnvollerweise an die Kommunen fließen und diese die Masten errichten oder ob die Gelder direkt an die privatwirtschaftlichen Unternehmen fließen und diese die Masten errichten (letzteres wurde im Juni 2020 entschieden).<sup>66</sup> Ein auf Grundlage dieser Diskussionen entstandener Entwurf für die Mobilfunkförderrichtlinie wurde im August 2020 von interessierten Parteien kommentiert. Die Förderrichtlinie befindet sich aktuell in der Notifizierung.<sup>67</sup>

Im Rahmen der Mobilfunkstrategie werden Kooperationen zwischen den Mobilfunknetzbetreiber beim Ausbau ihrer Standorte als Chance gesehen, die individuelle Abdeckung einzelner Mobilfunknetze zu erhöhen und so auch eine Versorgung in weißen Flecken zu ermöglichen. Durch die Kooperationen könnten demnach Masten beim Ausbau eingespart werden. Weiterhin heißt es, dass „zusätzliche Synergien und eine noch effizientere Aufteilung finanzieller Lasten erreicht werden, wenn Betreiber darüber hinaus auch im Bereich der aktiven Infrastrukturelemente zu Kooperationen kommen (aktives Infrastructure Sharing).“<sup>68</sup> Allerdings wird in dem Text auch auf die Gefahren solcher Kooperationen hingewiesen, insbesondere, dass die umgebenden Regelwerke sicherstellen müssen, dass MNB weiterhin Anreize haben, um ihre Netze besser und weiter auszubauen als Wettbewerber. Um dies zu gewährleisten, greifen kartell- und telekommunikationsrechtlichen Rahmenbedingungen (siehe auch Kapitel 4.1) .

Außerdem wird in der Mobilfunkstrategie auf die TKG-Novelle referenziert, im Rahmen derer erweiterte Möglichkeiten für die Bundesnetzagentur geschaffen werden sollen, „örtlich begrenzt Kooperationen wie eine gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen oder lokales Roaming“<sup>69</sup> dort anzuordnen, wo freiwillige Kooperationen nicht zustande kommen.<sup>70</sup>

---

<sup>63</sup> file:///10.0.0.35/NetzaBlage/Pro\_2020/2036%20FP%205G%20Infrastructure%20Sharing/Material/BMVI\_Mobilfunkstrategie%20.pdf.

<sup>64</sup> (Becker, 2020).

<sup>65</sup> (BMVI, 2019, S. 43).

<sup>66</sup> (dts Nachrichtenagentur, 2020) und (Delhaes, 2020).

<sup>67</sup> (BMVI, 2020b) (BMVI, 2020c).

<sup>68</sup> (BMVI, 2019, S. 34 f.).

<sup>69</sup> (BMVI, 2019, S. 34).

<sup>70</sup> Dies entspricht Art. 61 Abs. 4 EKEK, siehe Tabelle 1.

Mit Blick auf 5G konkretisiert die Strategie den Rollout der Technologie wie folgt:

- Beschleunigung des Glasfaserausbaus zur Verbesserung des Mobilfunknetzes
- Förderung innovativer Ökosysteme für 5G und entsprechender Cluster
- Ausblick auf die nächste Frequenzvergabe (voraussichtlich 2022/23)<sup>71</sup> vor allem mit Blick auf Versorgungsaufgaben und spezifische Anforderungen an ein dichtes 5G-Netz im ländlichen Raum

Die geplanten Maßnahmen der Mobilfunkstrategie wurden in einem zweiten Gipfel mit den MNB, Ländern und kommunalen Spitzenverbänden abgestimmt (siehe unten).

### Zweiter Mobilfunkgipfel 2020

Bei einem zweiten Mobilfunkgipfel (16.06.2020) wurde mit Blick auf das Schließen weißer Flecken, 5G und Kooperationsvereinbarungen folgende Punkte vereinbart<sup>72</sup>:

- Bereitstellung von Informationen bis zum 30.09.2020 durch die Netzbetreiber für die Bundesnetzagentur und der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft zu GSM-Standorten, die für eine LTE-Erschließung in Frage kommen, um auferlegte Verpflichtungen und Zusagen der Netzbetreiber zu erfüllen oder weiße Flecken zu schließen.
- Mobilfunknetz- und Mobilfunkstandortbetreiber haben seit dem 1. Mobilfunkgipfel Kooperationsvorhaben für den Bau von 6.000 Masten angekündigt. Andauernd sondieren die Marktakteure weitere Kooperationsmöglichkeiten für Kooperationen mit Blick auf eine gemeinsamen Nutzung passiver als auch aktiver Infrastrukturen, um die Versorgung von Mobilfunkkunden in weißen und grauen Flecken zu verbessern.
- Der Bund stellt per Förderprogramm 1,1 Milliarden Euro zur Verfügung, um zusätzlich zu den Zusagen und Verpflichtungen der Betreiber eine weitere Erschließung von bis zu 5.000 Mobilfunkstandorten möglich zu machen an Stellen, bei denen ein privatwirtschaftlicher Ausbau nicht zeitnah zu erwarten ist. In den Eckpunkte für die Mobilfunkförderung des BMVI heißt es dazu:

„Gefördert wird die einmalige Planung und Errichtung von Mobilfunkstandorten einschließlich deren Erschließung mit Zuleitung, der Zuleitung und Errichtung der Stromversorgung und Leerrohr mit unbeschalteter Glasfaser (bis hin zu einem für alle MNB geeigneten Übergabepunkt). Die Standorte müssen **mindestens für die Nutzung durch alle direkt an der Nutzung interessierten MNB dimensioniert sein und allen MNB diskriminierungsfrei zur Verfügung stehen. Aktive Technik und die Kosten für deren Planung und Betrieb sind nicht förderfähig.** Die Unternehmen geben bei Antragstellung an, welche För-

<sup>71</sup> (BMVI, 2019, S. 48 f.), Hinweis: In der Diskussion ist u.a. eine Verlängerung bestehender Frequenznutzungsrechte aus den Bereichen 700, 800 und 900 MHz, die 2025 bzw. 2033 auslaufen.

<sup>72</sup> (BMVI, 2020).

dersumme sie zur Bereitstellung der Mobilfunkstandorte im Fördergebiet benötigen. Das wirtschaftlichste Angebot wird ausgewählt. Von der geförderten Erschließung sollen möglichst viele Mobilfunkkunden profitieren.“<sup>73</sup>

Abbildung 8: Eckpunkte der Beschlüsse des zweiten Mobilfunkgipfels



Quelle: BMVI

### Aktuelle Diskussionen „Corona-Konjunkturpaket“ 2020

Die bisherigen Diskussionen um die Aufgaben der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) fokussierten auf das Schließen weißer Flecken mit Blick auf 4G. In aktuelleren Debatten wird nun auch die Frage aufgeworfen, ob die MIG auch im Rahmen des 5G Rollout eine Rolle spielen könnte. Laut Corona-Konjunkturpaket könnte die MIG mit weiteren 5 Milliarden zusätzlich bis 2025 den 5G-Ausbau fördern.<sup>74</sup> Dort heißt es unter Punkt Nr. 47: „Wir wollen den 5G-Ausbau massiv beschleunigen und bis 2025 ein flächendeckendes 5G-Netz in ganz Deutschland aufbauen. Dafür soll die neue Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft des Bundes mit fünf Milliarden Euro ausgerüstet werden. Sobald die Mobilfunkbetreiber in Kürze definiert haben, in welchen Bereichen sie ihre Ausbaupflichtungen erfüllen, wird in den verbleibenden weißen Flecken der Ausbau durch diese Mittel ermöglicht.“<sup>75</sup>

<sup>73</sup> (BMVI, 2020, S. 3).

<sup>74</sup> Der Aufsichtsrat der Toll Collect GmbH hat der Gründung am 16.12.2020 zugestimmt. (derStandard.de, 2020).

<sup>75</sup> (CDU, 2020, S. 12).

## Zwischenfazit

Im Ergebnis wird der kooperative Ausbau bei 4G und 5G sowohl im Rahmen der Mobilfunkgipfel als auch der Mobilfunkstrategie immer wieder aufgegriffen und als ein Vehikel genannt, um Versorgungsverpflichtungen und –zusagen erreichen zu können als auch um ein schnelleren Rollout, vor allem in ländlichen Gebieten, zu ermöglichen. In der politischen Diskussion scheint Sharing (bzw. Burden Sharing<sup>76</sup>) dennoch nicht dazu zu führen, dass alle weißen Flecken geschlossen werden können. So sind sowohl für 4G als auch 5G Förderprogramme geplant bzw. in der Diskussion.

---

76

[https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126\\_Entscheidungen\\_III\\_IV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=1), S. 99.

## 5 Treiber und Hemmnisse sowie Vor- und Nachteile von Network Sharing

### 5.1 Überblick über Treiber und Hemmnisse sowie Vor- und Nachteile von Network Sharing

In zwei Studien hat WIK die Vor- und Nachteile bzw. Hemmnisse und Treiber im Bereich Network Sharing bereits dargestellt. An dieser Stelle folgt daher ein tabellarischer Überblick über die erarbeiteten Argumente mit der jeweiligen Quellangabe, um die Argumentation bei Bedarf im Detail nachvollziehen zu können.<sup>77</sup>

Vorteile / Treiber von Infrastructure Sharing	Grundgedanke und weiterführende Effekte	Literaturangabe
Kosteneinsparungen	Durch Kooperationen können <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Kosten bei bestehenden Netzen eingespart werden, wenn durch die gemeinsame Nutzung nicht überlappender Gebiete eine bessere Auslastung in den Netzen erreicht werden kann.</li> <li>b) Kosten bei Aufbau eines Netzes eingespart werden, da weniger Standorte und Basisstationen notwendig sind, als wenn die Betreiber ihre Netze zur Versorgung des gleichen Gebietes separatausbauen.</li> </ul>	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 106,109)
Kosteneinsparungen	Durch einen geringeren Kostendruck für den einzelnen Betreiber kann das Problem sinkender Umsätze bei steigendem Datenvolumen entschärft werden	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 107 ff.) (Mölleryd, 2019, S. 13) (BEREC, 2018, S. 15) (Nett & Sörries, 2019, S. 3 ff)
Kosteneinsparungen	Durch Kosteneinsparungen ist ein schnelleres Erreichen von Versorgungsaufgaben/Flächendeckung möglich, für die in kurzer Zeit hohe Investitionen nötig sind	(Nett & Sörries, 2019, S. 7)
Verbesserte Netzabdeckung	Verbesserte Netzabdeckung für die Endkunden kooperierender Betreiber (sofern die Netze nicht vollständig deckungsgleich sind)	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 122)
Schnellerer Roll-out	Schnellerer Roll-out einer neuen Technologie, weil hohe initiale Investitionskosten geteilt werden können	(Mölleryd, 2019, S. 7) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 123)
Nachfrageunsicherheiten abfedern	Das von Unsicherheiten bzgl. der Nachfrage und der Zahlungsbereitschaft ausgehende Investitionsrisiko kann durch Infrastructure Sharing reduziert werden.	(Nett & Sörries, 2019, S. 8) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 116)

<sup>77</sup> (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016), (Nett & Sörries, 2019) ergänzt durch weitere Quellen, siehe jeweilige Angabe.

Vorteile / Treiber von Infrastructure Sharing	Grundgedanke und weiterführende Effekte	Literaturangabe
Höhere Resilienz	Wenn unabhängige Netzbetreiber im Falle von Netzausfällen netzseitig kooperieren, erhöht dies einzelwirtschaftlich und gesamtwirtschaftlich die Resilienz der Netze.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 125)
Verbesserte Effizienz	Bessere Nutzung von Kapital und Ressourcen (wenn Unterauslastung im Netz herrscht)	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 109 f.)
Unterhaltung alter Technologien	Die Unterhaltung einer Technologie bei sinkender Nachfrage wird teurer. Eine Kooperation kann eine Möglichkeit sein, beim Ausklang bzw. Ausphasen einer alter Technologien, Kunden, deren Endgeräte nur alte Technologien unterstützen, nicht zu verlieren.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 33)
Versorgungsaufgaben	Versorgungsaufgaben im Rahmen von Frequenzvergaben können Anreize zur Kooperation setzen, wenn diese so gestaltet sind, dass sie für die Netzbetreiber allein schwer umsetzbar wären.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 71)
Umweltvorteile	Sharing kann die Zahl der Standorte vermindern und somit die Zahl der (optischen) Störellemente im Vergleich zur Situation, dass jeder Betreiber sie stand-alone darstellen muss.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 111 f., 123)
Genehmigungsvorteile	Es muss nicht jeder Betreiber einzeln den oftmals aufwändigen Prozess der Standort-suche- und -genehmigung durchlaufen	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 105)
Intensivierung von Wettbewerb durch bessere Bedingungen für Markteinsteiger und kleine Anbieter	Vor allen bei asymmetrischen Marktstrukturen kann Infrastructure Sharing für später in den Markt eintretende Akteure (Second Mover) dazu führen, dass sie ihr Netz schneller, besser und kostengünstiger aufbauen können und somit schneller Relevanz im Wettbewerb erreichen.  Anfängliche Probleme aufgrund fehlender Flächendeckung und Netzdichte, die zu Qualitätseinbußen für Nutzer führen und somit nur relativ niedrigere Endkundenpreise am Markt ermöglichen, können so zeitweise ausgeglichen werden.	(Nett & Sörries, 2019, S. 17) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 105, 110, 116, 118) (BEREC, 2018a, S. 6)
Reduktion von Wettbewerbsverzerrungen	Wenn kleinere Unternehmen in großen Kostenblöcken kooperieren, können dadurch Wettbewerbsverzerrungen reduziert werden und Unternehmen können sich trotz unterschiedlicher Größen im Markt auf Augenhöhe begegnen	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 4)

Vorteile / Treiber von Infrastructure Sharing	Grundgedanke und weiterführende Effekte	Literaturangabe
Untersagung von Fusionen	Kooperationen sind eine Möglichkeit, ähnliche Vorteile wie bei einer Fusion zu generieren, wenn diese nicht genehmigungsfähig wäre. Sharing kann eine Alternative zur stärkeren Marktkonzentration sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass die generierten (Kosten-)Vorteile einer Zusammenarbeit an Endkunden weitergeleitet werden, ist bei einer Kooperation ggü. der Fusion deutlich erhöht.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 113) (Godlovitch, Lucidi, & Sörries, Competition and investment in the Danish mobile market, 2019, S. 19)
Niedrigere Endkundenpreise	Niedrigere Endkundenpreise durch niedrigere Kosten, vorausgesetzt die Kostenvorteile werden (aufgrund von Wettbewerb) an die Endkunden weitergegeben werden.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 124) (BEREC, 2018a, S. 6) (GSMA, 2019, S. 21)
Schnellere Adaption neuer Technologien	Sofern Sharing zu mehr Wettbewerb führt, kann es vor allem bei der Nutzung einer neuen Technologie die Penetrationsrate erhöhen. Dieser Effekt kann insbesondere beobachtet werden, wenn ein Markteinsteiger ausschließlich die neuen Technologie anbietet.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 124)
<b>Nachteile/ Hemmnisse für Infrastructure Sharing</b>	<b>Grundgedanke und weiterführende Effekte</b>	<b>Literaturangabe</b>
Verminderte wettbewerbliche Unabhängigkeit	Weniger Differenzierungsmerkmale, Verringerung des Wettbewerbsniveaus durch zunehmende Ähnlichkeiten in der Netzabdeckung und Dienstqualität der einzelnen Betreiber	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 112,114) (Nett & Sörries, 2019, S. 20)
Kollusion	Kooperationsvereinbarungen können dazu führen, wettbewerbliches Verhalten beim Netzausbau abzusprechen (Informationsaustausch)	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 111) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 114)
Kollusion	Unabhängigkeit bei der Netzstrategie kann eingeschränkt sein und birgt die Gefahr kollusiven Verhaltens	(Mölleryd, 2019, S. 7) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 113 f.)
Zunehmende Abhängigkeit der Kooperationspartner	Restriktionen bei der Auswahl der Equipment-Hersteller	(Nett & Sörries, 2019, S. 47)
Schädigung Dritter	Nachteile für nicht an der Kooperation beteiligte Marktakteure (bspw. Wettbewerber, Diensteanbieter oder Endkunden) aufgrund von schlechteren Kostenpositionen oder unerlaubten Absprache	(Nett & Sörries, 2019, S. 22)
Abstimmungskosten	Koordinationsaufwand der kooperierenden Parteien und daraus resultierende Kosten	(Nett & Sörries, 2019, S. 22) (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 117)

Vorteile / Treiber von Infrastructure Sharing	Grundgedanke und weiterführende Effekte	Literaturangabe
Verminderte wettbewerbliche Unabhängigkeit	Die von Gastbetreibern installierte Ausrüstung kann die zukünftige Netzentwicklung des Host-Betreibers erschweren.	(Nett & Sörries, 2019, S. 23)
Verminderter Infrastrukturwettbewerb	Wird eine Kooperation nicht ausschließlich als Absicherung bei Netzausfällen vereinbart, sondern ersetzt diese eigene Infrastrukturinvestitionen und verhindert somit Redundanzen, kann dies zu weniger Infrastrukturwettbewerb führen.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 115)
Reduzierte Kapazitäten für MVNOs	Durch die bessere Auslastung des Netzes durch Kooperationen stehen ggf. weniger Kapazitäten zur Vermietung an MVNOs zur Verfügung und vermindern somit den Wettbewerb auf dieser Ebene.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 113)
niedrigere Resilienz	Weniger doppelte Kapazitäten führen unter Umständen bspw. zu geringerer Robustheit im Notfall oder bei Naturkatastrophen	(Nett & Sörries, 2019, S. 23)
Umweltnachteile	Durch die gemeinsame Nutzung von Standorten kann es zu erhöhten Emissionen elektromagnetischer Felder kommen (nur im Rahmen der zulässigen Grenzwerte).	(Nett & Sörries, 2019, S. 24) (Mölleryd, 2019, S. 14)
Wettbewerbsbeeinträchtigungen durch Abhängigkeiten	Mögliche Beeinträchtigung des Wettbewerbs sind mehr bei Kooperationen mit einem hohen Maß an Irreversibilität zu befürchten als bei solchen, die ein geringeres Maß an Irreversibilität aufweisen. Je höher die Stranded Cost sind, die bei einer durch Regulierungs- und Wettbewerbsbehörde verfügten Auflösung anfallen, desto schwieriger ist es, eine solche Auflösung zu verfügen.	(Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 117)

Ein weiteres Argument für Network Sharing, was über die bisherigen WIK Studien hinausgeht, liegt in der Möglichkeit, durch aktives Sharing auch bei nicht optimaler Frequenzausstattung die typischen 5G Qualitätsmerkmale zu erreichen. Dies ist dann der Fall, wenn durch die gemeinsame Nutzung von Frequenzen, bei niedrigen Frequenzen durch eine Frequenzbündelung über mehrere Betreiber hinweg Bandbreitenerfordernisse für 5G Qualitätsmerkmale realisiert werden können, die bei einer getrennten (schmalbandigen) Nutzung nicht erreicht werden können. Somit ließe sich eine 5G Qualität auch in den Frequenzbändern von 0,7 – 1,8 GHz, also in den typischen Coverage-Bändern, herbeiführen. Dies ist eine Möglichkeit, Zeiträume bis zu Frequenzvergaben zu überbrücken. Wie die Länderbeispiele für Schweden und das Vereintes Königreich zeigen (vgl. Abschnitt 5.2), sind nicht alle Frequenzen, die für 5G optimaler Weise eingesetzt würden, heute schon verfügbar.

## 5.2 Network Sharing in der Praxis: Schweden und UK

Laut einer Untersuchung von BEREC aus dem Jahr 2018 gab es in der Vergangenheit in allen EU Mitgliedsstaaten passives Network Sharing.<sup>78</sup> Beim der gemeinsamen Nutzung aktiver Elemente bestehen durch die größeren Abhängigkeiten kooperierender Betreiber größere (regulatorische und wettbewerbliche) Bedenken. Von den 30 befragten Ländern aus der BEREC Untersuchung gaben sieben Ländern an, eine oder mehrere Kooperationen zu haben, bei denen Spektrum geteilt wird (intensivste Form des aktiven RAN-Sharings).<sup>79</sup>

Schweden und UK weisen bereits seit Jahren weitreichende Kooperationen zwischen den MNB auf. Im Folgenden werden die Entwicklungen im Bereich Infrastructure Sharing in diesen beiden Ländern beleuchtet und ein Ausblick auf die Weiterentwicklung des Sharings bei 5G geboten.

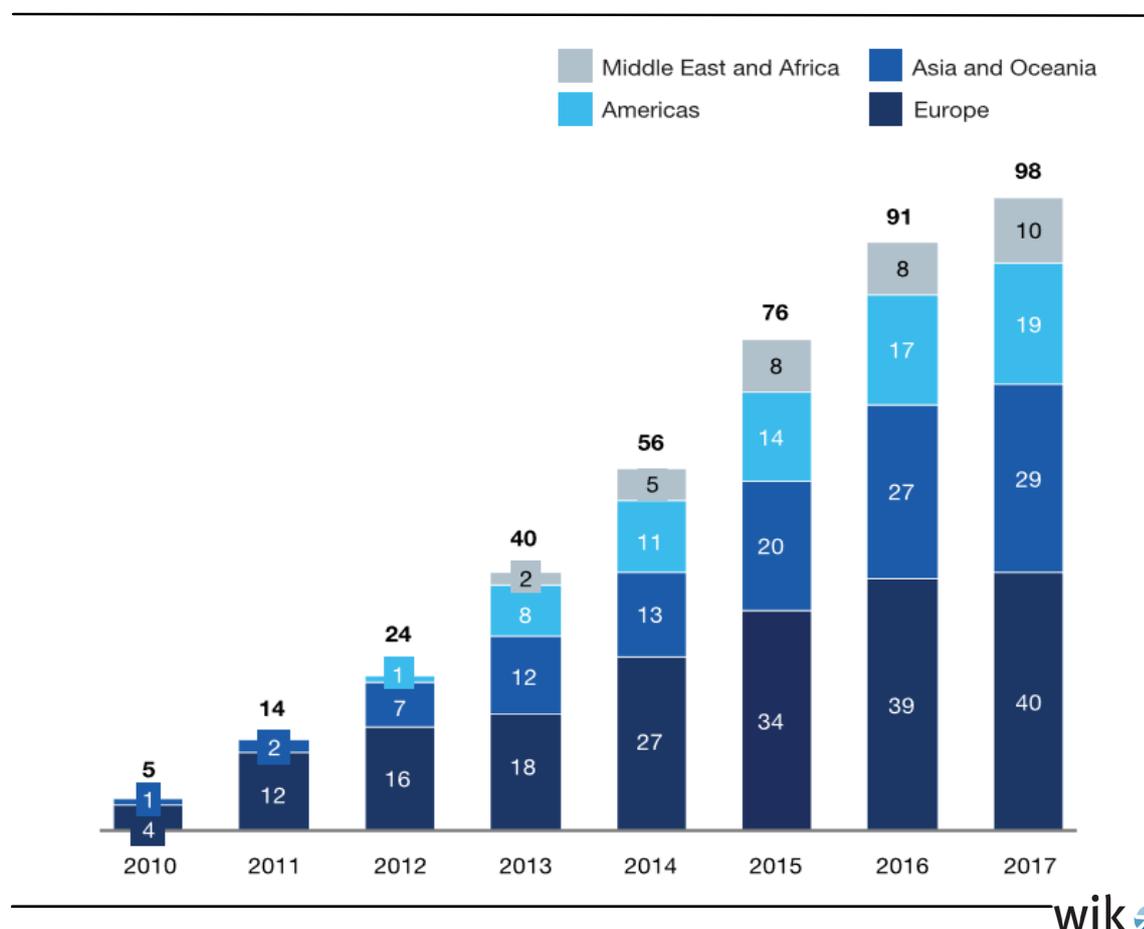
Abschließende Zahlen zu Sharing Vereinbarungen liegen nicht vor. Abbildung 9 zeigt allerdings die Tendenz eine stetig steigenden Relevanz aktiver Sharing-Vereinbarungen in allen geografischen Zonen, wobei Europa den größten Umfang an Sharing Vereinbarungen aufweist.

---

<sup>78</sup> (BEREC, 2018, S. 8 ff.) (Nett & Sörries, 2019, S. 19).

<sup>79</sup> (BEREC, 2018, S. 10 f.) Hinweis: BEREC weist in dem Bericht darauf hin, dass die Antworten andeuten, dass nicht alle NRB vollständig über Details von Vereinbarungen zum Infrastructure Sharing informiert sind. Der Bericht sollte daher nicht als vollständige, allumfassende Zusammenfassung aller Sharing Vereinbarungen verstanden werden, sondern mehr als grober Indikator. „As a result, this report should not be treated as an exhaustive summary of all existing (passive or active) sharing agreements.“

Abbildung 9: Kumulierte Anzahl aktiver Network Sharing Vereinbarungen 2010-2017



Quelle: (McKinsey, 2018) basierend auf GSMA Intelligence, Ovum und McKinsey

### 5.2.1 Schweden

Im Rahmen von älteren Mobilfunkgenerationen (2G, 3G und 4G) haben sich in Schweden bereits enge Kooperationen in Form von Joint Ventures zum Network Sharing gebildet.<sup>80</sup> Dabei hat sich die Intensität gesteigert. Laut Analyst der schwedischen Regulierungsbehörde PTS könnte die stetige Steigerung der Vereinbarungen von passivem zum aktiven Sharing nun bei 5G noch weitergehen und Spektrum, Indoor (Innenbereich) und Computing einschließen.<sup>81</sup>

Aktuell gibt es in Schweden drei Joint Ventures, bei den das Zugangsnetz (RAN) geteilt wird (siehe Abbildung 10):

- Name: Net4Mobility, Technologie: LTE (4G), beteiligte Unternehmen Telenor und Tele 2, gegründet 2011

<sup>80</sup> (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 87) (Nett & Sörries, 2019, S. 27 ff.).

<sup>81</sup> (Mölleryd, 2019, S. 3).

- Name: Svenska UMTS Nät AB (SUNAB), Technologie: UMTS (3G), beteiligte Unternehmen: Telia und Tele2, gegründet 2002
- Name: 3GIS, Technologie: UMTS (3G), beteiligte Unternehmen: Telenor und Tre<sup>82</sup>, gegründet 2000

Abbildung 10: Network Sharing Joint Ventures in Schweden



Quelle: (Mölleryd, 2019, S. 5)

Die drei Network Sharing Unternehmen betreiben ein aktives Sharing mit geteiltem Spektrum, verfügen aber alle über ein eigenes Kernnetz.<sup>83</sup> Es ist anzunehmen, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen, insbesondere die Versorgungsaufgaben, Einfluss auf die engen Kooperationen hatte. Ein Erreichen der Ziele wäre bei der geringen Bevölkerungsdichte ohne Kooperationen wahrscheinlich kaum möglich gewesen. Schweden hat eine nahezu 100 prozentige Abdeckung mit 3G und 4G.<sup>84</sup> Die schwedischen Joint Ventures scheinen kosteneffizient im Vergleich zum alleinigen Ausbau der Infrastruktur (niedrigere CAPEX).<sup>85</sup> Ende 2018 weiteten Tele2 und Telenor ihre Kooperation für ein gemeinsames Netz mit Blick auf 5G aus.<sup>86</sup> In einer Pressemitteilung von Tele2

<sup>82</sup> (P3 communications GmbH, 2018, S. 11).

<sup>83</sup> (Mölleryd, 2019, S. 5)

<sup>84</sup> (OECD, 2018, S. 46) (OECD, 2017, S. 11 f.) Abdeckung bezieht sich hierbei auf den Anteil erreichter Haushalte.

<sup>85</sup> (Mölleryd, 2019, S. 6).

<sup>86</sup> (TELE2, 2018).

heißt es, die Kooperation soll um bis zu 50 Prozent erweitert werden und somit eine Vielzahl von neuen Basisstationen einschließen.<sup>87</sup>

Auf Basis wiederholter Untersuchungen der OECD scheint der Wettbewerb in Schweden trotz der Intensität des Infrastructure Sharings intensiv zu sein.<sup>88</sup> Die vier größten Netzbetreiber in Schweden haben gemeinsam einen Marktanteil von 96 Prozent (Q1 2019: HI3G (Tre) 13,8 %, Telenor (19,3 %), Tele2 28,2 %, und Telia Company 34,9 %).<sup>89</sup>

Trotz der Kooperationen gibt es in Schweden neben Wettbewerb auch Unterschiede in der Netzqualität. Die höchste Qualität hat das Netz von Telia, während das Netz von Tre deutliche Schwächen aufweist.<sup>90</sup> Weitere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass Länder, in denen eine enge Kooperation im Bereich des mobilen Network Sharing stattfindet, keine negativen Effekte im Bereich der Preis- oder Qualitätsentwicklung in der auf die Vereinbarung folgende Periode aufweisen. Eher scheint das Gegenteil der Fall, wenn man sich die Verfügbarkeit von 4G oder die Downloadgeschwindigkeit im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ansieht.<sup>91</sup>

### Die Rolle der Regulierungsbehörde

Die schwedische Regulierungsbehörde PTS fördert Infrastructure Sharing und will dieses durch ihre Strategie begünstigen.<sup>92</sup> In einer 2014 veröffentlichten Spektrum Strategie<sup>93</sup> kündigt die schwedische Regulierungsbehörde verschiedenen Prinzipien an, darunter jenes, dass die Behörde langfristig anstrebt, alle Spektren zwischen verschiedenen Nutzungsszenarien zu teilen. Bei der Lizenzvergabe sollte bedacht werden, dass es sofort oder in Zukunft zu einer gemeinsamen Nutzung der Frequenzen kommen kann. In dieser Strategie begründet die NRB die Entscheidung, aktives Spektrum Sharing zu erlauben, auch mit dem Argument, dass es dem Ziel einer 99 prozentigen Mobilfunkabdeckung dient.<sup>94</sup> In dieser Strategie kategorisiert die NRB PTS die bestehenden Kooperationen entsprechend von vier Dimensionen: Intensität/ Tiefe, geografische Ausdehnung, technische Ausdehnung sowie Anzahl der Kooperationspartner (siehe Abbildung ). Dabei zeigt sich, dass die Intensität der Vereinbarung bei allen Kooperationen gleich tief ist (aktives RAN Sharing) und auch die Anzahl der involvierten Akteure jeweils auf zwei beschränkt ist. Hinsichtlich der geografischen Abdeckung und die technischen Ausdehnung unterschieden sich die Kooperationen voneinander.

---

<sup>87</sup> <https://www.tele2.com/media/press-releases/2018/tele2-and-telenor-secure-new-frequencies-and-consolidate-joint-plan-for-5g-network-in-sweden>.

<sup>88</sup> (OECD, 2014, S. 47) und (Lancaster, 2020) und (OECD, 2018, S. 42).

<sup>89</sup> (Post- och telestyrelsen, 2019, S. 36) (Post-och telestyrelsen, 2019a, S. 10).

<sup>90</sup> (P3 communications GmbH, 2018, S. 12).

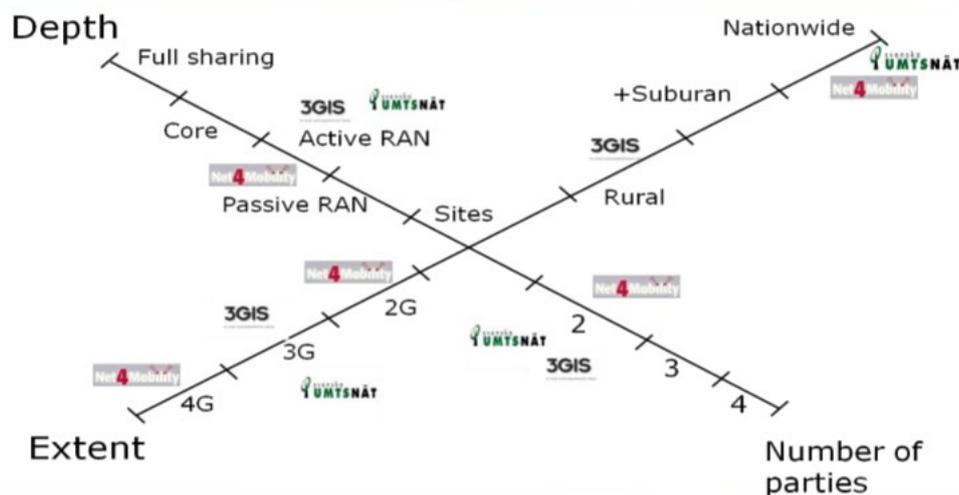
<sup>91</sup> Siehe z.B. auch (Godlovitch, Lucidi, & Sörries, Competition and investment in the Danish mobile market, 2019).

<sup>92</sup> (OECD, 2018, S. 46).

<sup>93</sup> (PTS, 2014, S. 20).

<sup>94</sup> (Andersson, 2014, S. 23).

Abbildung 11: Systematik von Kooperationsvereinbarungen am Beispiel Schweden



Quelle: (Andersson, 2014, S. 17) in Anlehnung an Friscano et al. (2008)

wik

Ab dem 10. November 2020 findet die 5G Frequenzauktion statt. Es wird Spektrum im Bereich des 3.5 GHz (320 MHz) und des 2.3 GHz (80 MHz) Bandes vergeben.<sup>95</sup> In den Vergabebedingungen heißt es für beide Frequenzbereiche:

*„The holder of this licence has priority in the allocated frequency spectrum over other licence holders that may be added later.*

*The frequency spectrum shall be shared with others on condition that the licence holder of this licence is not put at risk of harmful interference.”<sup>96</sup>*

### Status quo 5G Launch

Ende Mai 2020 wurde in Schweden die ersten öffentlichen 5G-Netz des Landes von Tele2 und Telia in Betrieb genommen.<sup>97</sup> Seit Juni 2020 bietet Tre Sweden 5G Dienste in sechs Großstädten in Schweden an.<sup>98</sup> Telenor kündigte an, sein 5G Netz im Oktober 2020 in Betrieb zu nehmen und ist damit der letzte der vier großen Netzbetreiber in Schweden. Telenor plant 2023 99 Prozent der Bevölkerung mit seinem 5G Netz zu erreichen.<sup>99</sup>

Tele2 und Telenor (JV Net4Mobility) weiten ihre Kooperation für 5G aus.<sup>100</sup> Vermutlich werden weitere Kooperationen dies auch tun.

<sup>95</sup> (European 5G Observatory, 2020) (PTS, 2020).

<sup>96</sup> (PTS, 2020), (PTS, 2020).

<sup>97</sup> (Trumpf, 2020) (Comms Update, 2020).

<sup>98</sup> (Comms Update, 2020).

<sup>99</sup> (Sbeglia, 2020).

<sup>100</sup> (Tele2, 2016).

Schweden liegt nach dem „Digital Economy and Society Index“ mit Blick auf die 5G Readiness<sup>101</sup> auf dem 10. Platz im europäischen Vergleich.

## 5.2.2 UK

In einer Studie zum Network Sharing in der Schweiz hat WIK bereits die Entwicklung des Network Sharings in UK seit Beginn der Mobilfunknetze in den 80er Jahren beschrieben<sup>102</sup>. Netzkooperationen in Form von Joint Ventures sind in UK langfristig angelegt und bisher auch bei fortschreitender Technologie weiterentwickelt wurden. In einem weiteren Beitrag von WIK 2019<sup>103</sup> wurde die Entwicklung des Network Sharing in UK bis Mitte 2019 untersucht. Die aktuellsten Entwicklungen werden im Folgenden dargestellt.

### Bestehende Network Sharing Vereinbarungen

In UK gibt es aktuell zwei Network Sharing Vereinbarungen. Die Vereinbarungen schließen sowohl das Teilen passiver als auch aktiver Netzelemente ein.<sup>104</sup>

Die MBNL Vereinbarung zwischen H3G (Three) und BT/EE (gegründet 2007) sieht bereits vor, dass die Parteien geteilte passive Infrastrukturen für ihre individuellen 4G Netze nutzen können. Vermutlich wird diese Vereinbarung laut einer Veröffentlichung von Ofcom<sup>105</sup> für 5G fortgesetzt. In der Vergangenheit haben sich die Parteien bereits aktive Elemente ihres 3G-Netzes geteilt.

Die zweite Vereinbarung nennt sich Cornerstone (CTIL, Cornerstone Telecommunications Infrastructure Limited) und besteht zwischen O2 und Vodafone. Das 2009 gegründete Joint Venture wurde zur gemeinsamen Nutzung von Masteninfrastruktur (nur passiv) geschlossen. Diese Vereinbarung sah vor, dass die Ausrüstung gegenseitig fast überall geteilt werden musste und galt für 2G und 3G. Vodafone und O2 haben bekanntgegeben, dass die Cornerstone Vereinbarung in Zukunft auch für den 5G Rollout erweitert werden wird.<sup>106</sup> Die neuen Vereinbarungen sehen ein aktives Sharing von 5G Equipment wie Antennen sowie die Nutzung gemeinsamer Standorte in UK vor. Für 25 % (etwa 2.700 Standorte<sup>107</sup>) der gemeinsam genutzten Standorte in großen Städten und London sollen die Netzwerke im Gegensatz zur bisherigen Vereinbarung autonom sein, um mehr Differenzierungsmöglichkeiten zu bieten. Jeder Betreiber installiert an den betreffenden Stellen eigene Funkanlagen, Glasfaser-Backhulanbindungen und übernimmt die Energieversorgung. Geteilt wird an diesen Standorten nur der physische Mast selbst.

---

<sup>101</sup> Definiert als Anteil des vergebenen Spektrums am gesamten harmonisierten 5G Spektrum. (EU Rat, 2019, S. 142).

<sup>102</sup> Vgl. (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016).

<sup>103</sup> (Nett & Sörries, 2019, S. 38 ff.).

<sup>104</sup> (Ofcom, 2020, S. 17).

<sup>105</sup> (Ofcom, 2020, S. 17).

<sup>106</sup> (O2, 2019).

<sup>107</sup> (Engineering & Technology, 2019).

2012 hatten Vodafone und O2 bereits im Projekt Beacon, einem Netzwerk Upgrade Programm, im Rahmen des 4G Roll-outs zusammengearbeitet (aktives RAN-Sharing). Dabei haben die beiden Anbieter UK geografisch aufgeteilt und jeweils in ihren Zonen die bestehenden Infrastrukturen für 4G ausgebaut. Dabei wurden die Masten beider Betreiber kombiniert, wo doppelt vorhanden reduziert und wo nötig neue errichtet. Insgesamt betraf das etwas 18.000 Standorte.<sup>108</sup>

### **Aktuelle Entwicklungen**

Im März 2020 hat Ofcom bekannt gegeben, nationale Lizenzen für 80 MHz im 700 MHz Frequenzband und 120 MHz in den Bändern 3.6 – 3.8 per Auktion in 2020 zu vergeben. Der formelle Prozess wird Ende 2020 starten, der Bietprozess soll im Januar 2021 beginnen.<sup>109</sup> Entgegen der vorausgegangenen Diskussionen werden keine Abdeckungsverpflichtungen an die Vergabe gebunden. Grund dafür ist, dass die Netzbetreiber in einem „Shared Rural Network programme“ bereits weitreichende Zusagen für eine zusammenhängende Netzabdeckung in der Fläche getätigt haben (siehe S.39). Um den bestehenden Wettbewerb im Mobilfunkmarkt auch in Zukunft zu stärken, darf ein Mobilfunknetzbetreiber nicht mehr 37 Prozent (entspricht 416 MHz) des für mobile Datendienste bereitstehenden Spektrums halten.<sup>110</sup>

Im Vorfeld der Auktion hat Ofcom diskutiert,<sup>111</sup> inwiefern spezielle Blöcke des Spektrums ausschließlich für bestimmte Nutzergruppen vorgehalten werden sollten. Im Endeffekt hat sich die Behörde dagegen entschieden, spezielle Spektrenblöcke für eine spezifische Nutzergruppe zu reservieren. Die zur Diskussion gestandenen 120 MHz im Bereich 3.6-3.8 GHz sollen ebenfalls den Netzbetreibern zur Verfügung gestellt werden. Um innovative, industrielle Anwendungsszenarien mit 5G dennoch zu ermöglichen, hat Ofcom ein Spektrum Sharing Framework<sup>112</sup>. Dieses sieht u.a. vor, dass auf nationaler Ebene an Netzbetreiber vergebenes Spektrum, welches nicht überall genutzt wird, durch Ofcom mittels Untervermietung für neue Nutzer zur Verfügung gestellt werden kann.

### **Shared Rural Network**

Am 9. März 2020 hat die Regierung bekanntgegeben, eine Einigung zum „Shared Rural Network“ mit den vier Netzbetreiber (BT/EE, O2, H3G (Three) und Vodafone) in UK erzielt zu haben.<sup>113</sup> Dabei handelt es sich um eine Partnerschaft zwischen der Regierung und den Netzbetreibern mit dem Ziel, mehr Abdeckung für ländliche Gebiete zu erreichen.<sup>114</sup> Dabei beteiligt sich die Regierung finanziell, mit etwa 500 Millionen Pfund, an der Verbesserung der Netzabdeckung im ländlichen Bereich. In etwa dem gleichen

---

<sup>108</sup> (DRC, 2018).

<sup>109</sup> (Ofcom, 2020).

<sup>110</sup> (Ofcom, 2020, S. 1).

<sup>111</sup> (Ofcom, 2018, S. 3 ff.).

<sup>112</sup> (Vodafone Group, 2019, S. 9).

<sup>113</sup> (Ofcom, 2020a).

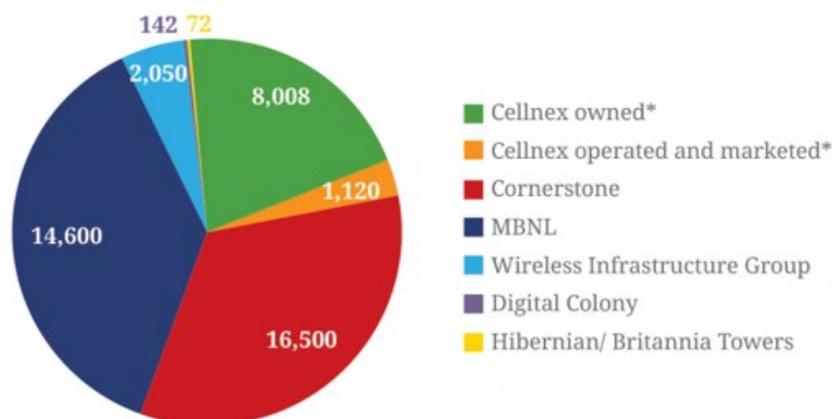
<sup>114</sup> (Jackman & King, 2020) Laut Schätzungen von Mobile UK sind mehr als die Hälfte der Mobilfunkstandorte verlustträchtig. (UK Parliament, 2018) und (Jackman & King, 2020, S. 15).

finanziellen Umfang beteiligen sich die Mobilfunknetzbetreiber (in Summe).<sup>115</sup> Jeder Netzbetreiber hat zugesagt, eine Abdeckung von 88% der Fläche bis 30. Juni 2024 für qualitativ hochwertige Sprach- und Datendienste zu gewährleisten. Bis Juni 2026 soll sich dieser Wert auf 90 % erhöhen. So soll in UK bis Ende 2025 eine 4G Flächenabdeckung von 95 % erreicht werden. Entsprechend der Vereinbarung werden die vier Betreiber in ein Netzwerk neuer und bereits existierender Masten investieren, welches von einer gemeinsam gehaltenen Unternehmung (genannt „Digital Mobile Spectrum Limited“) überwacht wird. Die Zusagen der Betreiber sind rechtlich bindend. Wenn die Zusagen nicht erfüllt werden, kann das mit einer Strafe von bis zu 10 % der Bruttoerlöse durch Ofcom geahndet werden.<sup>116</sup>

Nach einem Bericht von Ofcom wird die MBNL Vereinbarung zwischen H3G und BT/EE über das passive Infrastructure Sharing für das 4G Netzwerk voraussichtlich auch für 5G fortgesetzt.<sup>117</sup>

Es steht ein Verkauf der Masteninfrastruktur von Three zur Finanzierung von 5G und Glasfaser im Raum. Abbildung 12 zeigt die die Besitzer/ Betreiber der 42.492 aktiven Standorte in UK (Stand ca. 2018/2019). Zu diesem Zeitpunkt halten die beiden Joint Ventures gemeinsam mehr als 70 Prozent der Masten. Knapp ein Drittel der Masten sind auch auf Basis anderer Quellen dementsprechend im Besitz von Wholesale-Anbietern sein.<sup>118</sup>

Abbildung 12: Besitzer/ Betreiber der 42.492 aktiven Standorte in UK (Stand ca. 2018/ 2019)



Quelle: (TowerXChange, 2019)

<sup>115</sup> <https://www.gov.uk/government/news/1-billion-deal-set-to-solve-poor-mobile-coverage>.

<sup>116</sup> (Government UK, 2020).

<sup>117</sup> (O2, 2019).

<sup>118</sup> (Mobile UK, 2019, S. 6).

### Treiber für Sharing in UK

Ofcom ermutigt die Betreiber zum Sharing, v.a. um Umweltbelastungen<sup>119</sup> gering zu halten und Kostenersparnisse zu realisieren.<sup>120</sup> Dies geschieht bspw. mit Hilfe veröffentlichter Grundsätze oder ambitionierten Coverage Vereinbarungen.<sup>121</sup>

Steigende Kosten für viele Standorte in ländlichen Gebieten und geringere Umsätze aufgrund des geringen Verkehrs über viele Standorte führen im Ergebnis zu schätzungsweise mehr als 50 Prozent verlustträchtigen mobilen Standorten.<sup>122</sup> Durch Sharing konnte die Anzahl der aktiven Standorte deutlich reduziert werden. Das Maximum an aktiven Standorten lag in UK bei mehr als 50.000. Mittlerweile sind es etwa 36.000 – 41.000 Standorte, die in Betrieb sind.<sup>123</sup>

### 5.2.3 Deutschland

Passives Infrastructure Sharing ist in Deutschland etabliert. In einem Interview beim Handelsblatt vom 11.12.2018 weist der CEO von Telefónica Deutschland darauf hin, dass sie 70 % ihrer Standorte gemeinsam mit anderen nutzen.<sup>124</sup>

Das Interesse der Netzbetreiber an Kooperationsvereinbarungen, die über das passive Infrastructure Sharing hinausgehen, scheint in Deutschland gering. Die Mobilfunkmarktführer heben sich in Deutschland durch Investitionen und Marketing mit Blick auf ihre Netzverfügbarkeit und -qualität ab.<sup>125</sup> Wie in Kapitel 5.1 erläutert besteht bei aktivem Sharing explizit die Gefahr, bezüglich dieser Merkmale, also Netzverfügbarkeit- und Qualität, an Alleinstellungsmerkmal zu verlieren.

### Aktuelle Aktivitäten in Deutschland

Im November 2019 gaben die **Deutsche Telekom, Telefónica Deutschland und Vodafone** an, beim Aufbau und der Nutzung von bis zu 6000 neue Mobilfunkstandorte kooperieren zu wollen. In einer Absichtserklärung heißt es, man wolle so insbesondere auf dem Land und entlang der Verkehrswege auf Straßen, Schienen und Flüssen für eine bessere mobile Breitbandversorgung sorgen. Mit dieser sogenannten „**Allianz gegen weiße Flecken**“ sollen laut Netzbetreibern unterversorgte Gebiete dank der Kooperation in einer wirtschaftliche tragbaren Weise ausgebaut werden. Geplant ist, dass jeder MNB eine gleiche Anzahl neuer Standorte errichtet, die von den Kooperationspartnern je nach Bedarf zu gleichen Bedingungen genutzt werden können. Jeder Betreiber rüstet die Standorte, die er nutzen möchte, mit eigenen Antennen und Netztech-

---

<sup>119</sup> (Ofcom, 2010).

<sup>120</sup> (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 76).

<sup>121</sup> (CMS, 2016).

<sup>122</sup> (Mobile UK, 2018) Dies setzt voraus, dass die Verkehrsströme auf die Einnahmen wirken.

<sup>123</sup> (Center for Policy Studies, 2020, S. 25), (Ofcom, 2019).

<sup>124</sup> (Nett & Sörries, 2019, S. 42).

<sup>125</sup> (Nett & Sörries, 2019, S. 44 f.).

nologie aus.<sup>126</sup> Bei der Kooperation handelt es sich also um ein passives Sharing in einem Greenfieldansatz. Da die Kooperation vor dem Ausbau der entsprechenden Gebiete vereinbart wird, kann die optimale Ansatz an Standorten von vorneherein geplant werden.

Bereits im Februar 2020 hatten die beiden Netzbetreiber **Vodafone und Deutsche Telekom** angekündigt zur Versorgung **grauer Flecken** in weniger gut ausgebauten Gebieten im LTE Netz auf Basis von gegenseitigem Roaming<sup>127</sup> kooperieren zu wollen.<sup>128</sup> Die Kooperation wird aktuell vom Bundeskartellamt und der BNetzA geprüft. Konkret geht es um die Beseitigung von 4000 grauen Flecken. Vodafone gibt an, dabei das Zugangsnetzwerk sowie das Spektrum teilen zu wollen (aktives Sharing, vgl. Kapitel 3). Jeder der beiden Partner werde zu diesem Zwecke 2000 Antennenstandorte zur Verfügung stellen. Somit handelt es sich um einen Brownfield-Ansatz bei dem keine neue Infrastruktur entsteht, wie dies zur Schließung weißer Flecken der Fall wäre. Das Bundeskartellamt und die Bundesnetzagentur prüfen die Kooperation vor allem im Hinblick auf Nachteile für die beiden anderen Marktakteure Telefónica und 1&1 Drillisch.<sup>129</sup>

Im Rahmen der 5G Frequenzauktion hat 1&1 **Drillisch** Frequenzen ersteigert und will in den deutschen Markt als vierter MNB einsteigen. Dieser Einstieg soll zunächst über eine nationale **Roaming Vereinbarung** stattfinden. Für diese wurde bis September 2020, also mehr als ein Jahr nach der Auktion allerdings noch keine Einigung gefunden. Entsprechend der Auflagen der BNetzA für die Frequenzauktion 2019 besteht ein Verhandlungsgebot für National Roaming, welches allerdings nicht konkretisiert ist. Falls die Verhandlungen scheitern, kann die BNetzA zu einem Schiedsverfahren angerufen werden. Im Oktober 2020 hat Drillisch die BNetzA in ihrer Rolle als Schiedsrichter angerufen.<sup>130</sup> Im Unterschied zu den Auflagen der Fusion zwischen o2 und Eplus besteht hier allerdings kein Kontrahierungszwang. Welche rechtliche Bedeutung die Regelung, auch im Hinblick auf die Durchsetzungsmöglichkeit seitens der BNetzA hat, ist unklar.<sup>131</sup>

### Die Rolle der Regulierungsbehörde

Vereinbarungen zur gemeinsamen Nutzung passiver Elemente müssen in Deutschland nicht genehmigt werden.<sup>132</sup> Wie das Kapitel 4.1 beschreibt, gibt es, bezüglich aktivem Infrastructure Sharing in Deutschland zum heutigen Zeitpunkt keine konkreten gesetzlichen Vorgaben oder Verpflichtungen. Kooperationen im Telekommunikationssektor werden, wie in anderen Sektoren auch, bezüglich der kartellrechtliche Zulässigkeit der Zusammenarbeit vom Bundeskartellamt entsprechend der Vorgaben des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen geprüft.

---

<sup>126</sup> (1&1, 2019).

<sup>127</sup> (Kahle, 2020).

<sup>128</sup> (Briegleb, 2020).

<sup>129</sup> (Scheuer, Telekom und Vodafone: Kartellamt prüft Kooperation beim Netzausbau, 2020).

<sup>130</sup> (dpa-AFX, 2020).

<sup>131</sup> (DPA & Kuch, 2020) (Kuch, 2019).

<sup>132</sup> (BEREC, 2018, S. 7).

Die Relevanz von Regelungen zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur, sowohl für Vereinbarungen auf freiwilliger Basis zum Schutz des Wettbewerbs oder für verpflichtende Auferlegungen zur Erreichung politischer Versorgungsziele oder zur Erleichterung des Markteintritts für Neueinsteiger hat sich über Jahre hinweg gezeigt, vor allem im Rahmen von Frequenzvergaben (siehe Kapitel 4.2). Im Rahmen des angesprochenen Reports von BEREC gehörte Deutschland zu den Ländern, die grundsätzlich die Notwendigkeit sehen, mehr Infrastructure Sharing zu betreiben.<sup>133</sup>

Eine detaillierte Beschreibung zur regulatorischen Praxis zum Sharing in Deutschland von 1991 (Vergabe der GSM Lizenzen) bis hin zu den Versorgungspflicht und Network Sharing bei den 700 MHz-Frequenzen 2015 findet sich in der WIK Studie zum Sharing aus 2016 (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 76-73). Einen bemerkenswerten Punkt dieser Ausführungen stellen die Ereignisse rund um die Versorgungspflichten für die 800 MHz-Frequenzen im Jahr 2009 dar. Die Versorgungsaufgabe galt als erfüllt, wenn sie von jeweils einem Betreiber erbracht wurde und so Versorgung gewährleistet war. Diese Entscheidung der BNetzA brachte zum Ausdruck, dass mehr Spielräume zur Netzkooperation zur Verfügung stehen, um die Versorgungsaufgabe zu erfüllen. Obwohl die Formulierung der Versorgungsaufgabe zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur einladen sollte, gab es keine spezifische Vereinbarungen zur gemeinsamen Nutzung bezüglich der 800 MHz-Frequenzen.<sup>134</sup>

### Zwischenfazit Infrastructure Sharing in Deutschland

Die regulatorische Rahmenbedingungen in Deutschland lassen sich bis dato generell als offen aber vage (vgl. Abschnitt 4.1 und 4.3) gegenüber aktivem Sharing oder National Roaming beschreiben.<sup>135</sup> Bislang wurden die Möglichkeiten, über passives Sharing hinauszugehen, vom Markt nicht ausgelotet. In Ansätzen gehen die Überlegungen zumindest für unterversorgte Gebiete nun über passives Sharing hinaus.

Sowohl die aktuell ausstehende Prüfung des Bundeskartellamtes und der BNetzA zur Kooperation bei grauen Flecken zwischen der DTAG und Vodafone (siehe S. 42) und die Rolle der BNetzA im Rahmen der Verhandlungen zu National Roaming zwischen Drillisch und Vodafone/ DTAG und Telefónica (siehe S. 42) werden den regulatorischen Umgang mit Network Sharing in Deutschland konkretisieren, ebenso wie die anstehende TKG-Novelle (vgl. Abschnitt 4.1).

Die deutschen MNB, zumindest die Marktführer<sup>136</sup> DTAG und Vodafone, verfolgen weiterhin eine Strategie des Infrastrukturwettbewerbs als Differenzierungsmöglichkeit im Wettbewerb (vgl. Kapitel 2), die mit umfangreichen aktiven Sharing Vereinbarungen nicht zusammen passt.

---

<sup>133</sup> (BEREC, 2018, S. 22).

<sup>134</sup> (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 71 f.).

<sup>135</sup> Siehe z.B. (Pieruschka, Mobilfunk: Bundesnetzagentur will National Roaming erlauben, 2018) und (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 71).

<sup>136</sup> Entsprechend des Anteils an SIM-Karten als auch nach Netzqualität. Vgl. (VATM, 2020) und (Pauler & Mandau, 2019) und (Rügheimer, 2019).

### Zwischenfazit Infrastructure Sharing in den untersuchten Ländern

Inwiefern Infrastructure Sharing sich in einzelnen Ländern durchsetzt ist von diversen Faktoren abhängig. Diejenigen Faktoren, die im Rahmen der Länderbetrachtung mit Blick auf 5G am ehesten relevant sein könnten, um den Unterschied von UK und Schweden zu Deutschland zu erklären, sind die folgenden:

- Besiedlungsdichte des Landes<sup>137</sup>
- Gesamtmarktnachfrage nach Mobilfunkdiensten des Landes
- Lock-in Effekte durch bereits bestehende Kooperationsvereinbarungen
- Anzahl und Größe der Mobilfunknetzbetreiber des Landes
- Versorgungsverpflichtungen
- Motivation zum Sharing durch Regulierungsbehörde
- Kooperationswille aus dem Markt heraus

In weiteren Arbeiten könnte die Relevanz dieser Faktoren untersucht werden.

### 5.3 Treiber und Hemmnisse aus Sicht von Netzbetreibern

Viele der in Abschnitt 5.1 aufgeführten Gründe für bzw. gegen die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur sind für die Abwägungsentscheidung eines MNB mit Blick auf Infrastructure Sharing von Bedeutung. Im Folgenden werden die aus Sicht der Netzbetreiber relevanten Argumente bei der Abwägung von Entscheidungen zum Infrastructure Sharing aufgegriffen und ergänzt:

#### (1) Kosteneinsparungen

Netzbetreiber sind die Akteure, die durch Infrastructure Sharing unmittelbar Kosten einsparen können (unseren Berechnungen zufolge mehr als 15 Prozent, vgl. Abschnitt 6.4), sei es in einem Greenfield-Ansatz beim aufgeteilten Ausbau oder in einem Brownfield-Szenario, wenn vorhandene Kapazitäten besser ausgelastet werden können.

#### (2) Infrastruktur als Differenzierungsmöglichkeit im Wettbewerb

Wie in Kapitel 2 und Abschnitt 5.2.3 dargestellt dominieren in Deutschland Differenzierungsmöglichkeiten im Wettbewerb die Kosteneinsparungspotentiale, die durch das aktive Infrastructure Sharing generiert werden könnten.<sup>138</sup> Daraus folgt, dass aktives

---

<sup>137</sup> Eine weitere Arbeit des WIK, die sich mit der Frage nach dem Einfluss von Versorgungsaufgaben auf die Mobilfunkabdeckung in der EU beschäftigt, zeigt, dass der Anteil ländlicher Regionen sowohl bei 3G als auch bei 4G kein Erklärungsfaktor für Unterschiede in der Mobilfunkabdeckung ist. Siehe (Sörries, Franken, Baischew, & Lucidi, erscheint voraussichtlich 2020).

<sup>138</sup> Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen zwei ältere WIK Studien: (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 72) (Nett & Sörries, 2019, S. 9).

Infrastructure Sharing nur dort interessant scheint, wo ein Ausbau ohne Kooperation nicht erfolgen würde.

### (3) Kontrolle über das eigene Netz

Mit dem Sharing verlieren Netzbetreiber je nach Intensität in Teilen Kontrolle über ihr eigenes Netz bzw. die weiteren Ausbaumöglichkeiten, wenn es bspw. um die Notwendigkeit von kompatibelem Equipment oder die Einhaltung zulässiger Grenzwerte für die Sendeleistung geht.<sup>139</sup>

### (4) Marktanforderungen

Die Unternehmen treffen ihre Entscheidung zum Roll-out einer Technologie und dessen Geschwindigkeit auch nach den Anforderungen des Marktes. Sieht man sich die unterschiedlichen Ausbaustrategien der Unternehmen an (vgl. Abschnitt 2), besteht Grund zur Annahme, dass verschiedene Erwartungen bezüglich der Marktrelevanz von 5G bestehen. Je nachdem welche Anwendungen in welchem Umfang vom Markt gefordert werden, können diese als Treiber für Infrastructure Sharing fungieren.<sup>140</sup> Eine detaillierte Analyse dieses Zusammenhangs müsste gesondert untersucht werden.<sup>141</sup>

### (5) Größe des Betreibers und Marktconstellation

Die Anreize für Infrastructure Sharing hängen außerdem vom Marktanteil der MNB ab. Kleine Betreiber und Neueinsteiger können zu Beginn ihrer Marktaktivität auf Sharing in Form von National Roaming angewiesen sein. Dementsprechend äußerte sich Ralph Dommermuth, Vorstandsvorsitzender der 1&1 Drillisch AG, zu den stagnierenden Verhandlungen zum National Roaming (vgl. Abschnitt 5.2.3): „Wir sind am Anfang auf Roaming-Kapazitäten angewiesen“.<sup>142</sup>

### (6) Versorgungsaufgaben und Flächendeckung

Weitere Gründe sind Versorgungsaufgaben, die de facto im vorgegebenen Zeitraum nicht anders bewältigt werden können (siehe bspw. S. 41). Allerdings beobachtet man auch bei diesem Punkt, dass die Netzbetreiber in Deutschland bislang einen eigenen Weg bevorzugen, selbst wenn die Versorgungsaufgaben zum Sharing „einladen“.<sup>143</sup>

---

<sup>139</sup> (Bæk, 2018) (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 10).

<sup>140</sup> Die Anforderungen bezüglich der Eigenschaften des Mobilfunks variieren je nach Dienst, bspw. für eMBB (enhanced Mobile Broadband), URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications), IoT oder für einen ausschließlich privat-genutzten Endkunden-Internetzugang.

<sup>141</sup> Siehe z.B. (Nett & Sörries, 2019, S. 11 f.) oder für ein Beispiel anderer Sharing Formen: (Krzossa, Schnellerer Ausbau: Stadt Köln, Stadtwerke und Vodafone beschleunigen 5G-Ausbau, 2020).

<sup>142</sup> (Zeit Online, 2018) (Nett & Sörries, 2019, S. 45).

<sup>143</sup> (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 72).

### (7) Fehlender Raum und lange Genehmigungsverfahren

Fehlender Raum in städtischen Gebieten, Widerstände der Bevölkerung und lange Genehmigungsverfahren können die Erschließung neuer Standorte für MNB erschweren. Infrastructure Sharing ist eine Möglichkeit entweder bereits existierende Standorte mit zu nutzen und so den aufwändigen Prozess zu umgehen oder sich den Prozess zwischen mehreren Betreibern aufzuteilen und anschließend die neuen Standorte gemeinsam zu nutzen.<sup>144</sup>

### (8) Abstimmungsaufwand und Migrationskosten

Insbesondere beim aktiven Sharing fällt ein relevanter Abstimmungsaufwand zwischen den kooperierenden Akteuren an, z.B. kann die Kompatibilitätsanforderung des Equipments es erforderlich machen, sich auf einen Hersteller zu verständigen. Wie die Ergebnisse in Abschnitt 6.4 zeigen, liegen die höheren absoluten Kosten im passiven RAN (dieses macht etwa zwei Drittel der gesamten RAN-Kosten aus). D.h. hier kann das meiste eingespart werden, während nur eine überschaubare Form der Absprache notwendig ist und ein verhältnismäßig geringes Maß an Abhängigkeit in Kauf genommen werden muss. Grundsätzlich lohnt sich auch hier eine Fallunterscheidung nach Greenfield- und Brownfield-Ansatz. Im Greenfieldansatz, wenn der gemeinsame Aufbau von Infrastruktur zum aktiven Sharing abgestimmt wird, fallen Abstimmungskosten an, allerdings entstehen keine Migrationskosten. Diese können beim Brownfield-Ansatz erheblich ins Gewicht fallen und Kosteneinsparungen durch Sharing reduzieren, wenn verschiedene Netze konsolidiert werden, während auf den einzelnen Netzen zeitgleich der bisherigen Betrieb fortgesetzt werden muss.<sup>145</sup> Auch können Kosten beim Rückbau nicht mehr benötigter Standorte anfallen.

### **Zwischenfazit: Treiber und Hemmnisse zum Infrastructure Sharing aus Sicht der Betreiber**

Grundsätzlich kann die Frage nach den Treiber und Hemmnissen zum Infrastructure Sharing nicht für alle Formen des Teilens gleich beantwortet werden. Während beim passiven Sharing große Kostenvorteile erzielt werden können, sind die zusätzliche Einsparungen beim aktiven Sharing vergleichsweise gering und werden von potentiell größeren Nachteilen, allen voran den geringeren Differenzierungsmöglichkeiten im Wettbewerb begleitet. Exogene Faktoren wie Versorgungsaufgaben können die Entscheidung zum Infrastructure Sharing maßgeblich beeinflussen. Dennoch hat sich in Deutschland in der Vergangenheit gezeigt, dass auch vermeintlich vorteilhafte Möglichkeiten nicht genutzt werden, da die Marktakteure, zumindest die Marktführer, der Unabhängigkeit und Differenzierung oberste Priorität beimessen.

Im Großen betrachtet ist Infrastructure Sharing nur eine Komponente von vielen, die ein Unternehmen in der Investitionsentscheidung berücksichtigt. Weiterhin spielen andere

---

<sup>144</sup> (Neumann, Plückerbaum, & Strube Martins, 2016, S. 25).

<sup>145</sup> OECD 2015, S. 67 (Organisation de Coopération et de Développement Économiques, 2015).

Elemente, wie die Intensität des Dienste-Wettbewerbs, Zugangsverpflichtungen (in Bezug auf Vorleistungsprodukte), alternative, wirtschaftlich bessere Investitionsmöglichkeiten in Zugangsnetze oder vorhandene Netzkapazitäten in den Mobilfunknetze eine Rolle.<sup>146</sup> So kann eine Entscheidung gegen (aktives) Infrastructure Sharing selbst dann fallen, wenn die Argumente (1) - (8) auf den ersten Blick dafür gesprochen hätten.

#### 5.4 Fazit: Infrastructure Sharing vor dem Hintergrund regulatorischer Entscheidungen

Eine Überschrift im Zusammenhang von Infrastructure Sharing in Dänemark trifft die Sachlage sehr gut: „Balancing infrastructure sharing“.<sup>147</sup> Bei der regulatorischen Behandlung von Sharing gilt es verschiedene Faktoren auszubalancieren. Die Frage nach dem „optimalen“ oder zulässigen Maß an Infrastructure Sharing kann nicht generell beantwortet werden und hängt nicht zuletzt von (politischen) Prioritäten ab, die Einfluss darauf haben können, in welchem Maße reduzierter Wettbewerb zugunsten von Abdeckung und schnellem Roll-out (temporär) in besonderen geografischen Zonen in Kauf genommen werden könnte. Wie die Vergangenheit hierzulande gezeigt hat, ist das von den MNB angestrebte Maß an Sharing nur sehr begrenzt durch exogene Faktoren, wie bspw. Versorgungsaufgaben, beeinflussbar. Länderübergreifende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Motivation zum Infrastructure Sharing primär vom Markt selbst ausgeht.<sup>148</sup> Die Entwicklungen in Schweden und UK (vgl. Abschnitt 5.2.1 und 5.2.2) geben Grund zu der Annahme, dass sich im Zeitverlauf Pfadabhängigkeiten entwickeln, die ggf. dazu führen, dass in Ländern, in denen bereits langjährige weitreichende<sup>149</sup> Kooperationsvereinbarungen bestehen, die Unternehmen sich auch bei neuen Technologien eher zur Kooperation entscheiden als Unternehmen, die vorher nicht bereits kooperiert hatten.

Grundsätzlich sind parallele Netzwerke die Basis, um Infrastrukturwettbewerb zu erhalten. Mehr Motivation zum Sharing sollte vor allem da zum Einsatz kommen, wo ohne Sharing keine oder eine unzureichende Versorgung mit Mobilfunkdiensten stattfinden würde. Hier kann Sharing die marktnähere Alternative zu staatlichem Ausbau sein. Eine weitere Alternative könnten Open Access Modelle<sup>150</sup> sein, bei dem ein Betreiber Kapazitäten diskriminierungsfrei an alle interessierten MNB verkauft.<sup>151</sup>

Festzuhalten bleibt, dass aktives RAN-Sharing im Vergleich zu den in dieser Arbeit sonst betrachteten Formen von Sharing, passives RAN-Sharing und National Roaming, diejenige Form der Kooperation ist, die am kritischsten zu sehen ist, da tiefere Verflechtungen zwischen den Akteuren entstehen. Wie die Betrachtung zeigt, ist vor allem das

---

<sup>146</sup> (Nett & Sörries, 2019, S. 10).

<sup>147</sup> (Bæk, 2018).

<sup>148</sup> (BEREC, 2018, S. 3).

<sup>149</sup> Im Sinne von über passives Sharing hinausgehendes Sharing.

<sup>150</sup> Vgl. auch Stichwort „Vertikale Separierung“ und die Verhandlungen von Iliad und Cellnex in Italien 2018 (OECD, 2019, S. 6, 53).

<sup>151</sup> (Mölleryd, 2019, S. 15).

aktive RAN-Sharing aus regulatorischer, aber vermutlich auch aus Betreibersicht skeptisch zu sehen. Beim passiven Sharing sind die Netzbetreiber weiterhin relativ unabhängig voneinander und es erfordert keine übermäßige Koordination.

## 5.5 Ausblick: Spielräume für Network Sharing durch SDN/NFV und Open-RAN

Software Defined Networking (SDN) und Network Function Virtualisation (NFV) sind neue Verfahren zur Steuerung und Kontrolle von Telekommunikationsnetzen. Der Hauptunterschied zum bisherigen Netz besteht darin, dass die verkehrslenkenden Netzknoten im Feld nicht mehr über zumeist herstellerproprietäre Software auf Recheneinheiten der Netzknoten selbst gesteuert und administriert werden, sondern über zentraler aufgestellte Standardserver mit Standard-Betriebssystem und mit einer eher standardisierten Software zur Steuerung der Netzknoten. Im Kern steht hinter dem Konzept SDN und NFV die Trennung von Hard- und Software.<sup>152</sup>

Historisch bedingt findet die Administration der Telekommunikationsnetze häufig auf unteren Ebenen, also auf Netzkomponenten wie BBU, eNodeB oder Routern oder Switches statt. Eine komfortable, Dynamik fördernde Administration oder gar programmierbare Steuerung/Regelung auf hoher Ebene war bislang nicht vorgesehen. Mittlerweile wurde erkannt, dass es signifikante Vorteile bietet, wenn es eine abstrahierende und logisch zentralisierende Steuerungsschicht gibt. Die Netzknoten im Netz leiten bzw. vermitteln den Verkehr immer noch in die unterschiedlichen Richtungen, allerdings nach Vorgaben der zentral angesiedelten Netzsteuerung und nicht mehr vorwiegend dezentral und autonom wie zuvor. Diese Netzknoten werden in der Terminologie des SDN/NFV White Boxes genannt. Diese erhalten einen Teil ihrer Funktion erst über die übergeordnete Netzsteuerung.

In der „alten“ bzw. aktuellen Welt hat jeder Hersteller sowohl bei der Hardware als auch bei der Software im Core und Access Network proprietäre Lösungen implementiert. Diese benötigen viel Platz und Energie. Ein Upgrade oder der Austausch von Komponenten ist aufwendig. In dem neuen Konzept wird standardisierte Hardware eingesetzt werden. Der Fokus liegt auf der Software. Es findet quasi eine Verlagerung von Hardware zu Software statt.<sup>153</sup> Verbunden damit steht hinter vielen Initiativen in diesem Bereich auch der Wunsch der MNB nach mehr Unabhängigkeit von einzelnen Herstel-

---

<sup>152</sup> Der ganze Abschnitt bezieht eine vorherige Arbeit des WIK zum Thema SDN/NFV mit ein (Eltges, Kulenkampff, Plückebaum, & Sabeva, 2020).

<sup>153</sup> (3G4G, 2019).

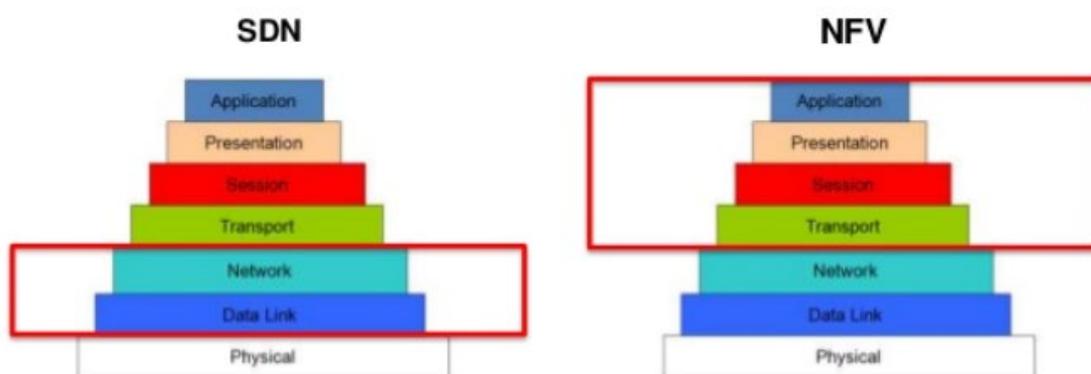
lern.<sup>154</sup> Beide Konzepte (SDN und NFV) fokussieren im Kern auf die Virtualisierung von Netzfunktionen.<sup>155</sup>

### SDN, NFV, C-RAN und Open RAN

Eine Abgrenzung von SDN und NFV kann nicht trennscharf erfolgen bzw. ist auch in der Literatur kaum zu finden. Grundsätzlich liegt der Fokus bei SDN eher auf Einrichtungen des Transportnetzes (siehe Abbildung 13 Schicht 2 und 3) und während bei NFV eher Einrichtungen der Kontrollschicht bzw. der Anwendungsebene (Schichten 4-7 der Abbildung) im Fokus stehen.

SDN und NFV sind komplementäre technologische Ansätze, welche einander nicht bedingen, aber erst im Zusammenspiel erlauben, das gesamte Potenzial an Effizienz und Flexibilität zu realisieren. Durch die Implementierung derartiger virtualisierter Netze wird es ermöglicht, die Administration von Netzen zu vereinfachen und die Flexibilität hinsichtlich der Bereitstellung von innovativen und skalierbaren Diensten zu erhöhen.

Abbildung 13: Abgrenzung SDN und NFV anhand der einzelnen Schichten des OSI-Schichtmodells<sup>156</sup>



Quelle: (Martin, 2017)

Am Beispiel des RAN sollen zukünftige Entwicklungen aufgezeigt werden. Während derzeit im RAN die Antennencontroller, die BBU (Baseband Units) am Fuß der Antennen aufgestellt sind (Distributed RAN, D-RAN) werden mit einer Verkleinerung der Zellen durch den ergänzenden Einsatz hoher Frequenzen mehr Funkzellen erforderlich, so dass eine ökonomisch getriebene Entwicklung zu einer ersten Konzentration dieser

<sup>154</sup> Siehe O-RAN Alliance unter <https://www.o-ran.org/>, OpenRAN Project Group unter <https://telecominfraproject.com/openran/> und die Open RAN Policy Coalition unter <https://www.openranpolicy.org/>. Hinweis: Zu den Mitgliedern dieser Initiativen gehören auch Hersteller, die bisher von Lock-in Effekten ggü. Herstellern der aktuellen Netzarchitektur profitieren.

<sup>155</sup> (Neumann, Plückebaum, & Strube Martins, 2016, S. 48).

<sup>156</sup> Für eine Erläuterung des OSI-Schichtmodells siehe (Eltiges, Kulenkampff, Plückebaum, & Sabeva, 2020, S. 5).

BBU in lokal zentrierter Form (Centralised RAN, C-RAN) führt. Der Standort der Antennentreiber (Reomte Radio Head (RRH)) bleibt an der Antenne, die BBU wird mit anderen BBU in einer lokalen (Edge-)Cloud zusammengeführt, auf Standard- Serverfarmen effizienter implementiert und energiesparender betrieben.

Die Weiterentwicklung von C-RAN stellt das Cloud-basierte RAN dar, bei dem einige Netzfunktionen in der regionalen oder gar zentralen "Cloud" virtualisiert werden. Dies geht allerdings nicht mit allen Funktionen, weil strenge Echtzeitbedingungen für die Kommunikation mit der Antenne eingehalten werden müssen. Sobald die BBU's zentralisiert sind, können kommerzielle Standard-Server einen Großteil der Routineverarbeitung übernehmen. Dies bedeutet, dass die BBU's neu gestaltet und verkleinert werden können, um sich auf die komplexe oder proprietäre Verarbeitung zu konzentrieren.

Der Begriff Open-RAN schließlich zielt auf ein RAN ab, das nicht mehr aus herstellerproprietären Systemen aufgebaut ist. Im Mobilfunk können z.B. die Funktionen des Radio Access Network (RAN) zu White Boxes werden, die in großer Stückzahl benötigt werden (RNC, BBU etc.). Dies soll maßgeblichen Einfluss auf die Flexibilität der MNB haben.<sup>157</sup>

### **Implikationen für regulatorische Entscheidungen**

SDN/ NFV wird ein erhebliches Potenzial für Flexibilisierung und Schnelligkeit der Produktdefinitionen, Kostensenkung, Effizienzsteigerung, CO<sub>2</sub>- Reduktion und gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen nachgesagt. Das heißt, SDN/ NFV stellen sowohl für das Netz eines einzelnen Betreibers als auch für die gemeinsame Nutzung eines Netzes erhebliche Vorteile in Aussicht.

SDN/ NFV können Treiber sein, engeren Kooperationen (also über passives RAN-Sharing hinaus) aus regulatorischer Sicht eher positiv gegenüber zustehen, da sich durch SDN/NFV Möglichkeiten bieten, Differenzierungsmerkmale von Produkten trotz geteilter Infrastruktur zu erhalten, z.B. durch den Einsatz von Network Slicing für die einzelnen Peering Partner mit differenzierenden Sub-Slices innerhalb der Operator Slice jedes Partners.

Da mit Hilfe von SDN/NFV also die Möglichkeit für MNB besteht, Dienste mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen auf derselben Infrastruktur anzubieten, können Abstimmungsaufwände reduziert werden, weil sich die Akteure nicht bezüglich sämtlicher Qualitätsmerkmale abstimmen und einigen müssen. Die Abdeckung als Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb würde durch aktives RAN-Sharing trotz der Nutzung von SDN/ NFV allerdings verloren gehen.

In einer Studie im Auftrag der Europäischen Kommission an der WIK Consult maßgeblich beteiligt war<sup>158</sup>, wurden 2016 Prognosen zu den technologischen, wirtschaftlichen

---

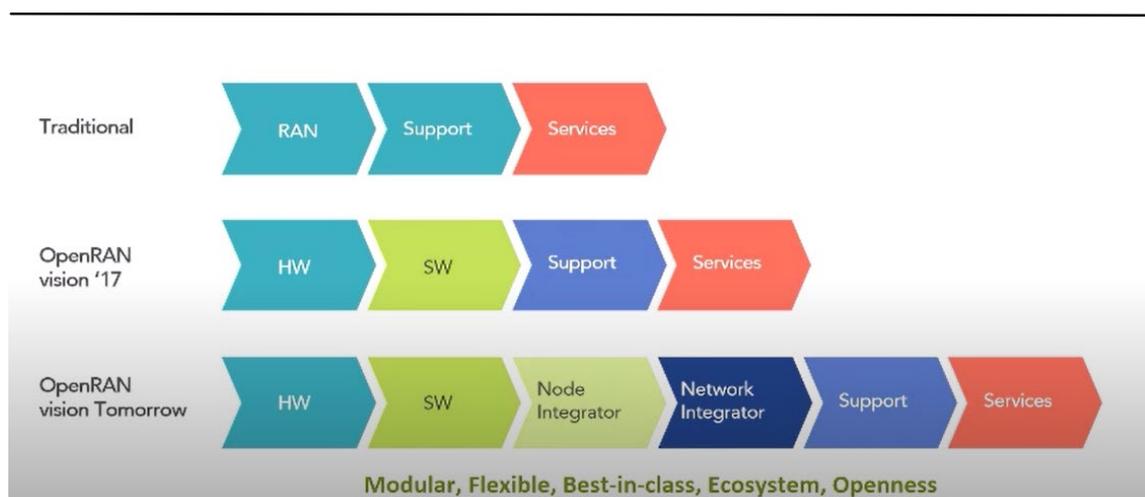
<sup>157</sup> (Accenture, 2019) und (Hall, 2019).

<sup>158</sup> (Hall, 2019).

und regulatorischen Auswirkungen von SDN/NFV erstellt. Die Virtualisierung des Mobilfunkernetzes wurde als eines von drei Hauptanwendungsfeldern identifiziert.<sup>159</sup> Als Ergebnis der Workshops, Interviews und Recherchen wird festgehalten, dass es zu früh ist, um spezifische Empfehlungen zum regulatorischen Umgang mit SDN und NFV zu geben. Am wahrscheinlichsten bedarf der Studie zur Folge der Zugang zu virtuellen Netzen regulatorischer Regelungen.

Wie die beiden Abbildungen zur Entwicklung der Marktakteure in der Wertschöpfungskette RAN (siehe Abbildung 14) und zur Entwicklung der Anzahl der Akteure an einer Basisstation (siehe Abbildung 15) von einer traditionellen Welt, wie bisher bekannt, hin zu einem offenen RAN zeigen, steigt die Anzahl der involvierten, spezialisierten Partner und damit die Komplexität.

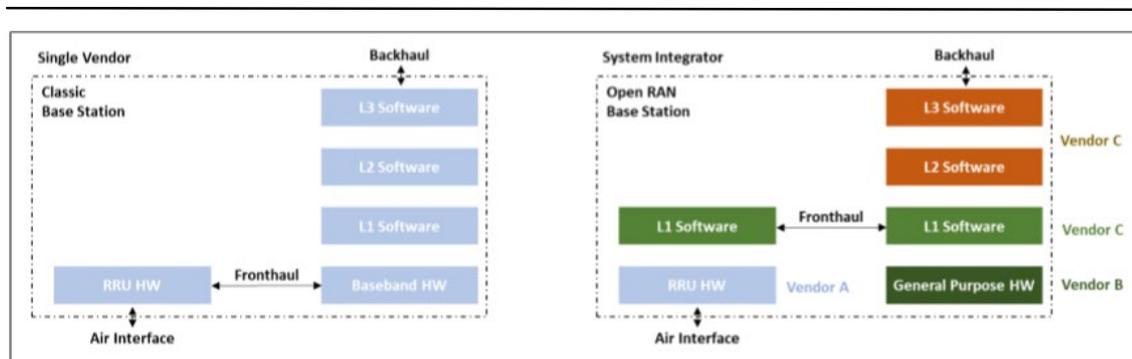
Abbildung 14: Entwicklung der Wertschöpfungskette vom traditionellen RAN hin zu einem offenen RAN



Quelle: (Vodafone, Telefónica, 2018)

<sup>159</sup> Telefónica gab im September 2020 bekannt, das 5G Kernnetz in die Cloud verlegen zu wollen. So könne der kostenintensive Aufbau eigener Hardware für neue Dienste über eine software-basierte Einbindung über die 5G-Cloud einfacher und kostengünstiger realisiert werden. Hieraus sei ein Einsparpotenzial von ca. 20 Prozent zu erwarten. Quelle: (Weider, 2020a).

Abbildung 15: Akteure eines TK-Netzes bzw. einer Basisstation Layer 1-3 für a) einen einzelnen Anbieter wie bisher üblich und b) eine Basisstation im offenen RAN mit mehreren Anbietern



Quelle: (Brown, 2020, S. 5)

Zum aktuellen Zeitpunkt liegen keine Referenzwerte zum regulatorischen Umgang und den Auswirkungen von SDN/NFV aus anderen Ländern vor. Festzuhalten bleibt, dass das Thema weiterhin aus regulatorischer Sicht von Bedeutung ist. Durch den innovativen und dynamischen Charakter von SDN/NFV lässt sich aber bisher nicht abschließend beurteilen, welche Effekte bei SDN/NFV dominieren werden und wie der Markt die neuen Möglichkeiten, die für etablierte Geschäftsmodelle auch eine Bedrohung darstellen können, aufnehmen und anwenden wird.

## 6 Berechnung von Einsparungspotentialen mit dem WIK Mobilfunk Kostenmodell

Für eine quantitative Einschätzung der möglichen Einsparungspotentiale durch Infrastructure Sharing werden verschiedene Berechnungen mit Hilfe des analytischen Kostenmodells für die Mobilfunkkosten des WIK durchgeführt. Dabei orientieren sich die Annahmen und Inputs an unseren Einschätzungen bezüglich a) des erwarteten Roll-out-Verhaltens der Akteure<sup>160</sup> bei 5G und b) der Verkehrsmengenentwicklung.

Im Abschnitt 6.1 wird zunächst kurz dargestellt, wie das analytischen Kostenmodells für die Mobilfunkkosten des WIK aufgebaut ist und welche Teilanpassungen für die geplanten Berechnungen vorgenommen werden. Abschnitt 6.2 erläutert die Inputs und Annahmen, die den Berechnungen zu Grunde liegen, sowohl, was die Netzplanung angeht (bspw. Anzahl von SIM-Karten und verwendete Frequenzen) also auch was die Kostenberechnung angeht (bspw. Annahmen zur Preisentwicklung verschiedener Netzelemente). Ein Überblick über die berechneten Szenarien, also wie viele Marktakteure sich ein Netz teilen, wie viel Verkehr über welche Technologie abgewickelt wird und welche Netzelemente geteilt werden bietet der Abschnitt 6.3. Die Ergebnisse der Berechnungen, sowie Erklärungen und Interpretationen zu diesen Ergebnissen sind im Abschnitt 6.4 ausführlich dargestellt. Abschnitt 6.5 zeigt eine Zusammenfassung grundsätzlicher Schlussfolgerungen, die aus den Berechnungen gezogen werden können. Abschließend wird im Abschnitt 6.6 ein Ausblick auf weitere, potentiell interessante Berechnungen vorgenommen, an die zukünftige Arbeiten anknüpfen könnten.

### 6.1 Anpassung des Netzplanungstools des WIK Mobilfunkkostenmodells

#### 6.1.1 Überblick über das WIK Mobilfunkkostenmodell

Das Analytische Kostenmodell Mobilfunk (von nun an "das Modell") ist ein Bottom-up-Modell, das aus fünf verschiedenen Modulen besteht:

- Szenario Generator,
- Zugangsnetz,
- Aggregationsnetz,
- Backhaulnetz und
- Kernnetz.

Der Anspruch des Modells ist es, das Netz eines neu in den Markt eingetretenen Netzbetreibers (von nun an "der Referenz-Netzbetreiber"), der einen bestimmten Marktanteil der Nachfrage in der Bundesrepublik Deutschland auf sich vereinigt, von Grund auf zu

---

<sup>160</sup> Also wo wird 5G zuerst ausgerollt und über welche Frequenzen.

modellieren, gleichsam auf der Grünen Wiese (Green Field). Gleichzeitig müssen die Bedingungen, unter denen existierende Betreiber gegenwärtig operieren, in einem repräsentativen Sinne möglichst adäquat berücksichtigt werden. Die Modellierung beginnt mit der Nachfrage der aller Nutzer (Endkunde sowie Maschinen oder Geräte) nach Mobilfunkdiensten, die entsprechend der regionalen Verteilung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland erfasst wird, wobei von einem durchschnittlichen Nutzungsprofil pro Teilnehmer ausgegangen wird. Das Modell plant dann ein Netz, das einen Teil dieser Nachfrage – entsprechend dem Marktanteil des betrachteten Anbieters – befriedigen kann, und bestimmt anhand der Preise der Inputs die Gesamtkosten dieses Netzes. Das Modell ist in der Lage, Netze auf der Basis aller gegenwärtig in Deutschland eingesetzten Technologien zu modellieren: 2G (GSM/EDGE), 3G (UMTS mit HSPA) und 4G (LTE) sowie 5G.

Die Nutzernachfrage ist modelliert durch verschiedene Dienste, die von Sprache bis zum mobilen Breitbandzugang (Broadband Access) reichen können. Die Zusammensetzung der Nachfrage entsprechend der verschiedenen Dienste ist insofern relevant, als dass die Dienste unterschiedliche Anforderungen an die Dimensionierung eines Netzes stellen und dies bei der Modellierung berücksichtigt werden muss. Die Dimensionierung eines Netzes hängt ferner von den eingesetzten Frequenzen ab. Das Modell kann für die Nutzung von Funk-Spektrum aus allen relevanten verfügbaren Frequenzbändern spezifiziert werden. Außerdem bietet es zum Beispiel die Nutzung von sieben Frequenzbändern in 4G Technologie wie 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, und 2600 MHz. Eines der wesentlichen Merkmale des Modells ist die Flexibilität, mit der im Radio-Zugangsnetz die verschiedenen Zugangstechnologien kombiniert werden können.

### 6.1.2 Anpassung des Netzplanungstools durch den Einbau von 5G

Um die anhaltende Nachfrage der Mobilfunknutzer zu befriedigen, die landesweite Abdeckung zu verbessern sowie die weißen Flecken zu schließen und die verschiedenen neuen 5G-Dienste (vorwiegend im Geschäftskundenbereich) zu unterstützen, müssen die Mobilfunknetzbetreiber eine massive Anzahl von Basisstationen aufbauen. Die Bedeutung der gemeinsamen Nutzung zumindest des Zugangsnetzsegmentes steigt mit dem Ausbau von 5G weiter, da die Anzahl der notwendigen Funkmasten und Antennen, je nach Gebiet und genutzter Frequenz stark zunimmt. Das bisher bestehende Mobilfunk-Modell musste für diese Studie teilerneuert werden, damit die neue 5G Mobilfunktechnik in das Modell integriert werden konnte, soweit es die vorgenommenen Untersuchungen erfordern. Es erfolgt weder eine Implementierung eines 5G-Kernnetzes noch eine Gesamtanpassung des Modells in seiner Gesamtstruktur. Auch die Bestimmung der Kosten für die einzelnen Sprachminuten oder Grenzkosten der Terminierung (pure LRIC) im Kostenmodul wurden nicht berücksichtigt. Die Teilerneuerung des Modells betrifft zweckorientiert nur das zweite Modul, das Zugangsnetz (Cell Deploy-

ment), in dem die Bestimmung der Anzahl der Base Stationen in jedem Distrikt vorgenommen wird.

Wie bereits erwähnt bietet das Modell die Nutzung von sieben Frequenzbändern in der 4G-Technologie, die in den verschiedenen geographischen Typen - städtischen, vorstädtischen und ländlichen Gebieten - verfügbar sind. Um die Anzahl der zusätzlich benötigten 5G Basisstationen und damit die benötigten Investitionen zu bestimmen, wurde ein neues 5G-Frequenzband (3,6 GHz) in die Funkzellplanung des Modells integriert.

Nach der Modellanpassung ist das WIK Mobilfunkmodell nun in der Lage, eine vollständige Implementierung des 3,6 GHz-Frequenzbandes in 5G-Technologie darzustellen. Des Weiteren bietet das Modell die Möglichkeit, eine nationale oder eine begrenzte regionale Abdeckung mit 5G Mobilfunknetzen im Netzplanungstool abzubilden. Diese Funktion besteht zusätzlich zur Möglichkeit, ein vollständiges 4G-Rollout zu simulieren. Das Modell bietet darüber hinaus die Bereitstellung einer fortgeschrittenen Mehrfachübertragung wie beispielsweise MIMO (Multiple Input Multiple Output), sowohl bei 4G als auch bei 5G. Das Modell erlaubt jedoch nicht, 5G Übertragungsverfahren in anderen Frequenzbereichen als 3,6 GHz nachzubilden.

### 6.1.3 Anpassung des Netzplanungstools bezüglich der 4G Technologie

Mobilfunknetzbetreiber tendieren dazu, ausgiebig niedrigere Frequenzbänder einzusetzen. Diese bieten sowohl eine größere Flächenabdeckung, die es ihnen ermöglicht, viel mehr Nutzer anzuschließen, als auch eine bessere Abdeckung in Innenräumen (indoor coverage). Auf der anderen Seite setzen die Betreiber in der Regel Zellstandorte mit Frequenzen über 2 GHz - die über eine kürzere Funkwellenausbreitung (radio wave propagation) verfügen - in dicht besiedelten Gebieten wie z.B. großen Stadtzentren ein. In dicht besiedelten städtischen Gebieten besteht die Notwendigkeit, die enorme Benutzernachfrage zu befriedigen. Daher werden Standorte mit hoher Kapazität benötigt, die auf hohen Frequenzen operieren.

Das Modell wurde so angepasst, dass es die oben genannten Anforderungen in Bezug auf Abdeckung und Kapazität erfüllt. Die Teilanpassung des Modells betrifft nur das zweite Modul, das Zugangsnetz (Cell Deployment), in dem die Bestimmung der Anzahl der Base Stationen in jedem Distrikt vorgenommen wird.

Die Modellanpassung zielt auf die Berechnung der benötigten Basisstationen zur Abdeckung der Nutzernachfrage durch zwei Layer:

- Layer 1: Nur Coverage getriebene Zellen
- Layer 2: Nur Capacity getriebene Zellen

Der erste Layer (Coverage Layer) gewährleistet eine landesweite Abdeckung unter Verwendung der verfügbaren niedrigen Frequenzen, da diese am effizientesten sind. Im

Gegensatz dazu stellt das zweite Layer sicher, dass das aufgebaute Netz den zusätzlichen Kapazitätsanforderungen in dicht besiedelten Gebieten (z.B. Hotspots) gerecht werden kann. Mit dieser Verteilung spiegelt das Modell die in der Praxis beobachtete Anzahl von Basisstationen am besten wider.

## 6.2 Inputs und Annahmen für die Berechnungen

### 6.2.1 Inputs und Annahmen für die Berechnungen (Netzplanung)

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die wichtigsten Daten und Parameter, deren Werte für die Berechnung des Netzes eines Referenzbetreibers wie zur Ermittlung der Kosten der darüber bereitgestellten Dienste benötigt werden. Dies sind:

- Anzahl der Nutzer (SIM-Karten und M2M),
- Nachfrageprofile der verschiedenen Typen von Nutzern,
- Marktanteile des hypothetischen Anbieters (in Prozent),
- Einteilung der Gebiete nach Geotypen (innerstädtisch, vorstädtisch oder ländlich),
- Spektrum, das in den einzelnen Gebieten für den hypothetischen Anbieter einsetzbar ist bzw. jeweils für die zwei Technologien (4G und 5G) von diesem eingesetzt werden kann

In dieser Studie haben wir unsere Berechnungen auf zwei Hauptzeitpunkte konzentriert: heute (2019-2020) und drei Jahre in der Zukunft (2023). Zusätzlich haben wir einige fiktive Szenarien für 5G Technologie betrachtet, um zu untersuchen, wie unterschiedlich das Einsparungspotenzial bei 5G sein kann.

Um das Modell mit den erforderlichen Eingaben für Berechnungen einspeisen zu können war eine Analyse der Eingabedaten erforderlich. Tabelle 2 zeigt einige der wichtigsten Parameter, die berücksichtigt wurden, wie Netzverkehrsvolumen, gesamte Anzahl SIM-Karten, Anzahl "normaler" Endkunden-SIM-Karten, Anzahl der M2M-SIM-Karten und deren monatlicher Datenverbrauch. Die Analyse der Eingabedaten erfolgt für die gleichen Zeitpunkte der Berechnungen: 2019, 2023, und 20xx. Die Werte der ersten Spalte (Jahr 2019) sind, sofern nicht anders angegeben, größtenteils den Berichten der BNetzA entnommen. Für die Jahre 2023 und 20xx werden die Schätzungen auf verschiedenen Quellen<sup>161</sup> gestützt.

---

<sup>161</sup> bspw. Cisco (2020), Monopolkommission (2019), Statista (2017), GSMA (2014).

Tabelle 2: Datenverkehr und Anzahl der SIM-Karten

	2019 (Basis)	2023 (Schätzung)	20XX (Fiktion)
Gesamte Anzahl SIM Karten	140.044.000	250.473.000	250.473.000
Anzahl „normaler“ Endkunden SIM-Karten	107.200.000	107.016.000	107.016.000
Anzahl der M2M SIM-Karten	32.844.000	143.457.000	143.457.000
Anteil Anzahl M2M SIM-Karten an gesamten SIM-Karten	23%	57%	57%
Gesamtes Datenvolumen pro Jahr in Deutschland im Mobilfunk in GB	2.757.000.000	7.874.000.000	78.740.000.000
Datenvolumen pro SIM-Karte undifferenziert in GB pro Monat	1,64	2,62	ca. 30
Datenvolumen pro Monat pro „normaler“ Endkunden SIM-Karte in GB (Schätzung)	2	5,1	-
Datenvolumen pro Monat pro M2M SIM-Karte in GB (Schätzung)	0,4	0,75	-
Anteil Datenvolumen M2M SIM-Karten am Gesamtdatenvolumen in Dtl. pro Jahr	6%	16%	-

Quelle: Cisco (2020), Monopolkommission (2019), Statista (2017), GSMA (2014)

Das Modell unterscheidet nicht zwischen den verschiedenen Nutzertypen: Endnutzer (Mobile) und M2M-Terminals, berücksichtigt jedoch eine Verteilung der mobilen Endnutzer sowie deren Mobilitätsverhalten. Daher wurde eine vereinfachte Berechnungsannahme für M2M SIM-Karten berücksichtigt: Wir haben die Anzahl der normalen SIM-Karten um 16% der Anzahl der M2M-SIM-Karten erhöht, um den aus den M2M-SIM-Karten resultierenden Verkehr als normale SIM-Karten zu simulieren. Zudem wurde vereinfachend das gleiche Mobilitätsverhalten wie bei den SIM-Karten der Endbenutzer angenommen (Auch M2M Verkehr besteht aus Anteilen mobiler Nutzung (z.B. Fahrzeuge) und geostationärer Nutzung (z.B. ortsfeste Sensoren, Smart-Home)).

## 6.2.2 Annahmen und Inputs für die Kosten-Berechnungen

Mit Blick auf das vorliegende Projekt werden folgende Anpassungen im Vergleich zu der Berechnung der Terminierungsentgelte im Jahr 2019 an den Inputs des Kostenmoduls vorgenommen:

- Durch Sharing erhöhen sich die Kosten für die aktiven Elemente des RAN. In den durchgeführten Rechnungen wird diesem Fakt mithilfe eines einmaligen In-

vestitionsaufschlags auf die Controller Kosten in Höhe von 1,41 bei verdoppelter Kapazität Rechnung getragen. Dies spiegelt den gesteigerten Signalisierungs- und Sicherheitsaufwand durch die gemeinsame Nutzung einer Basisstation wider. Dabei gehen wir von der Beobachtung aus, dass für höhere Equipment-Kapazitäten ein unterproportionaler Preiszusammenhang besteht. (Eine Vervielfachung der Kapazität führt „nur“ zu einer Verdopplung des Preises.)<sup>162</sup>

- In den Berechnungen werden keine Gemeinkosten berücksichtigt, da diese vom Sharing nicht direkt betroffen sind.
- Weiterhin werden keine Kosten für Mobilfunknutzungsrechte berücksichtigt, da diese bereits (langfristig) getätigt wurden und so keine Entscheidungsrelevanz für die nahe Zukunft haben.
- Die Ergebnisse werden auf Basis von Kosten und nicht auf Basis von Investitionswerten verglichen. So kann den unterschiedlichen Lebensdauern von Standorten (15 Jahre) und Equipment (8 Jahre) Rechnung getragen werden.
- Die Parametrierung wird hinsichtlich der Preisentwicklung so vorgenommen, dass für Elektronik eine jährliche Veränderung von – 5 Prozent angenommen wird und für Standorte von + 2 Prozent.

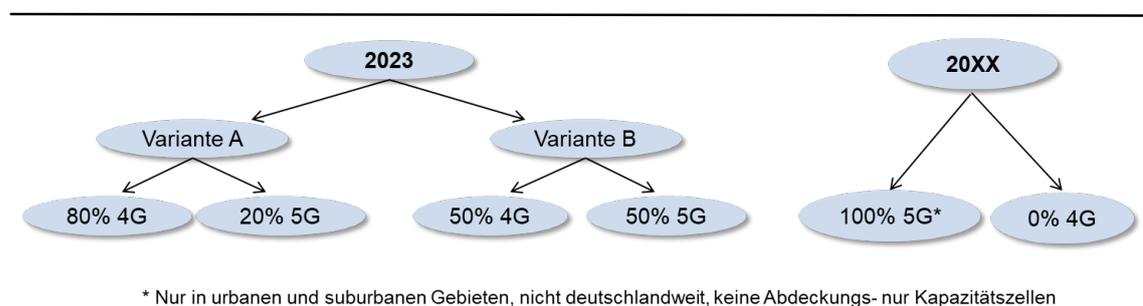
### 6.3 Berechnungsszenarien

Wie bereits erwähnt basieren die Berechnungen auf zwei Zeitpunkten: 2023 und 20xx. Abbildung 16 stellt die verschiedenen Varianten und die entsprechenden Verkehrsverteilungen beider Technologien (4G und 5G) dar. Für den Zeitpunkt 2023 haben wir zunächst zwei mögliche zukünftige Mobilfunknetzvarianten betrachtet, die beide denselben reibungslosen 5G-Rollout-Prozess beinhalten. Die erste ist eine verhaltenere Variante (A) im Hinblick auf die 5G-Nachfrage, bei der nur 20 Prozent des gesamten Netzverkehrs in 5G nachgefragt werden, während 4G immer noch den größeren Anteil des Verkehrs (80 Prozent) haben wird. Die zweite Variante (B) zeichnet sich dadurch aus, dass 5G aufgrund der steigenden Nachfrage ungefähr die Hälfte des Netzverkehrs transportiert, während 4G 50 Prozent des Netzverkehrs behält. Bei der dritten, der 20xx-Variante handelt es sich um eine fiktive Variante irgendwann in der Zukunft. Diese wurde berechnet, um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie sich die Anzahl der installierten 5G-Basisstationen verändert, wenn die 5G-Technologie ca. den 10-fachen Verkehr im Vergleich zu Variante B transportiert. Wir unterstellen, dass diese fiktive Variante keine landesweite Abdeckung durch ein 5G-Netz umfasst, sondern nur eine 5G-Kapazitätsschicht, die die Nachfrage in hoch verdichteten Gebieten und Hot-Spots (z.B. städtische und vorstädtische Gebiete) abdeckt.

---

<sup>162</sup> Dies ist eine Näherung aus Beobachtungen im Rahmen von Marktabfragen in den vergangenen 2 Jahrzehnten. Der Faktor kann (heute fallweise geringer ausfallen).

Abbildung 16: Betrachtungshorizont



Quelle: Eigene Darstellung WIK

Für jede Variante des Jahres 2023 wurden verschiedene Ebenen der gemeinsamen Nutzung des Netzes betrachtet (siehe Kapitel 3): a) Passives RAN-Sharing, b) gesamtes RAN-Sharing (Sharing von aktiven und passiven Komponenten), c) gesamtes Netz-Sharing bzw. Roaming.

Die Berechnungen werden in vier Hauptfälle unterteilt, um die oben genannten Zeitpunkte abzudecken. Tabelle 3 zeigt die berechneten Fälle mit ihrer Verkehrsverteilung auf beide Technologien (4G und 5G) sowie die Art der gemeinsamen Nutzung des Netzes.

Tabelle 3: Berechnungsszenarien

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4a	Fall 4b
Jahr	2023	2023	20XX**	2023	2023
Art der gemeinsamen Nutzung	Passives und gesamtes RAN-Sharing* zw. 2 Betreibern	Passives und gesamtes RAN-Sharing* zw. 2 Betreibern	Sharing*** zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern	Roaming zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern	Roaming zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern
4G	80 %	50 %	-	80 %	50 %
5G	20 %	50 %	100 %****	20 %	50 %

\* Gesamtes RAN-Sharing: Bedeutet Sharing von aktiven und passiven Komponenten  
 \*\* Unterschied zu Fall 1, 2 und 4 liegt in der eingespeisten Nachfrage (zehnfach erhöht, 78.740 Mio. GB pro Jahr)  
 \*\*\* Ausweis des Ergebnisses ausschließlich in Basisstationen  
 \*\*\*\* Nur Betrachtung von urbanen und suburbanen Gebieten und dort 100 % 5G.

Die Fälle 1 und 2 betreffen die beiden Formen des RAN-Sharing: Passives RAN-Sharing und gesamtes RAN-Sharing (Sharing von aktiven und passiven Komponenten). Beide Fälle unterscheiden sich im Hinblick auf die eingespeiste Nutzernachfrage in bei-

den Technologien. In den Fällen 4a und 4b wird ein Roaming-Szenario (Sharing des gesamten Netzes) mit den beiden unterschiedlichen Nutzernachfragen für beide Technologien betrachtet. Fall 3 hingegen stellt, wie bereits erwähnt, ein fiktives Szenario mit einer sehr hohen 5G-Kapazitätsschicht des Jahres 20xx dar. In diesem Fall wird nur eine zehnmal höhere 5G-Nutzernachfrage als in Fall 2 in städtischen und vorstädtischen Gebieten berücksichtigt. Da es sich bei Fall 3 um ein fiktives Szenario handelt, haben wir diese Ergebnisse nur in Bezug auf die Anzahl der erforderlichen Basisstationen betrachtet.

Die Berechnungen des 4G-Netzes basieren auf einem zweischichtigen Ansatz, wie in Abschnitt 6.2.1 erläutert. Die 5G-Berechnungen werden hingegen nur durch eine Kapazitätsschicht für ein bestimmtes geografisches Gebiet dargestellt. Aus diesem Grund werden die Berechnungen für jede Technologie getrennt durchgeführt und die Ergebnisse dann entsprechend dem angewandten Fall kombiniert.

Wie in Tabelle 4 dargestellt, ist für jedes berechnete Szenario ein wichtiger Satz von Parametern erforderlich. Diese Parameter repräsentieren:

- Die angewandte Technologie (4G oder 5G),
- Die Frequenzbänder, die für diese Technologie zur Verfügung stehen,
- Das verfügbare Spektrum in jedem Frequenzband, und
- Das geographische Gebiet, in dem das Frequenzband genutzt wird (städtisch, vorstädtisch und/oder ländlich)

Tabelle 4: Frequenzausstattung in Zugangnetz

Technologie	Frequenzband In MHz	Spektrum in MHz	Urban	Suburban	Rural
4G	700	20	x	x	x
	800	20	x	x	x
	900	20	x	x	x
	1500	40	x	x	-
	1800	40	x	x	x
	2100	20	x	x	-
	2600	40	x	x	-
5G	3600	80	x	x	-

Quelle: Eigene Darstellung WIK

Nach der Modellanpassung (vgl. Abschnitt 6.2.1) ist das Modell nun in der Lage, neben den sieben 4G-Frequenzbändern auch die 3600 MHz als 5G-Frequenz aufzunehmen. In diesem Zusammenhang es ist wichtig zu beachten, dass die verwendeten Frequenzbänder sowie die entsprechenden Frequenzblöcke auf der Versteigerung der Frequen-

zen im Jahr 2019 für einen bestimmten Referenzbetreiber gemittelt wurden<sup>163</sup>, also keiner realen Frequenzzuteilung entsprechen.

## 6.4 Ergebnisse: Berechnung von Einsparungspotentialen durch Network Sharing

In den folgenden Abschnitten werden die mit Hilfe des Modells (vgl. Abschnitt 6.1) berechneten Ergebnisse zu den Einsparungen des RAN-Sharings und National Roaming dargestellt und erklärt.

In den Fällen 1 und 2 wird eine Unterscheidung zwischen passivem und gesamtem RAN-Sharing vorgenommen, wobei der Ausdruck gesamtes RAN-Sharing in dieser Arbeit sowohl aktive als auch passive Elemente mit einschließt. Oftmals wird diese Form des Sharings auch als aktives RAN-Sharing bezeichnet, da aktives RAN-Sharing in der Praxis passives RAN-Sharing einschließen muss (die aktiven Netzelemente können nur geteilt werden, wenn man den Standort, auf denen sie sich befinden, auch teilt).

### 6.4.1 Modellergebnisse Fall 1 RAN-Sharing 2023

Im Fall 1 wird die für das Jahr 2023 geschätzte Nachfrage (vgl. Abschnitt 6.1) für zwei Betreiber (also 66,6 Prozent) angesetzt. Dabei wird 80 Prozent des Verkehrs über 4G und 20 Prozent über 5G abgewickelt (Übersicht siehe Abschnitt 6.3).

Tabelle 5: Übersicht Eckdaten Fall 1

	Fall 1
Jahr	2023
Art der gemeinsamen Nutzung	Passives und gesamtes RAN-Sharing zw. 2 Betreibern
4G	80 %
5G	20 %

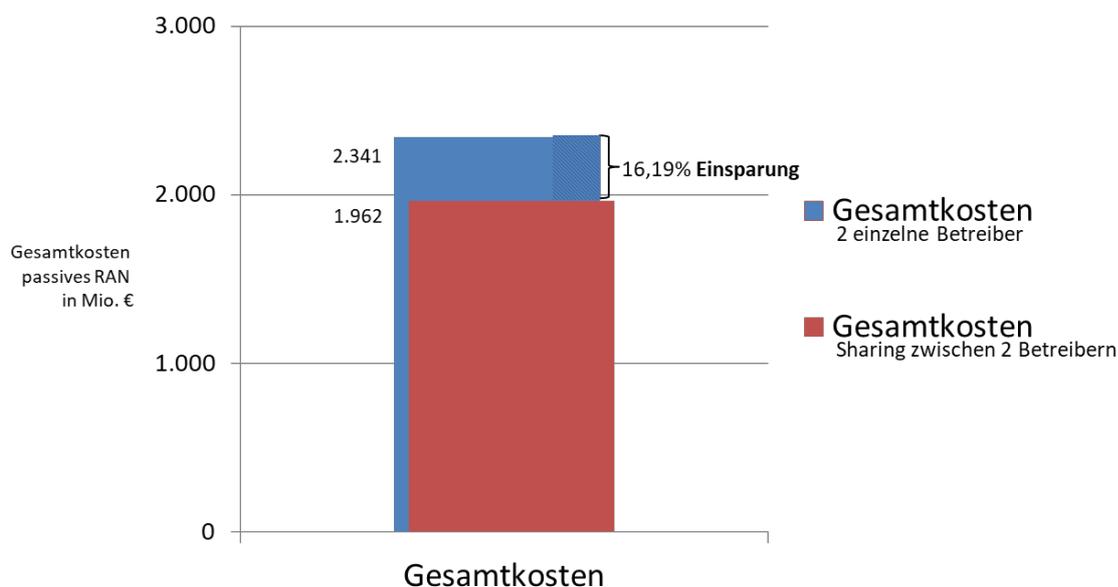
#### 6.4.1.1 Fall 1: Passives RAN-Sharing

Im Fall 1 entstehen zwei einzelnen Betreibern in Summe Kosten in Höhe von 2.341 Mio. Euro für das passive RAN (4G und 5G). Für den Fall, dass beide Betreiber ein Netz teilen, entstehen für das passive RAN 1.962 Mio. Kosten. Die entspricht in

<sup>163</sup> Frequenzauktion: (BNetzA, 2019), Link ist verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html#:~:text=Vom%2019.,%2C%20Telef%C3%B3nica%20Germany%20GmbH%20%26%20Co.](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html#:~:text=Vom%2019.,%2C%20Telef%C3%B3nica%20Germany%20GmbH%20%26%20Co.)

etwa dem, was man in der Realität beobachten kann. Den Berechnungen zufolge kann durch passives RAN-Sharing ein Betrag von 379 Mio. Euro eingespart werden. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 16,19 Prozent.

Abbildung 17: Ergebnisse Fall 1 passives RAN-Sharing

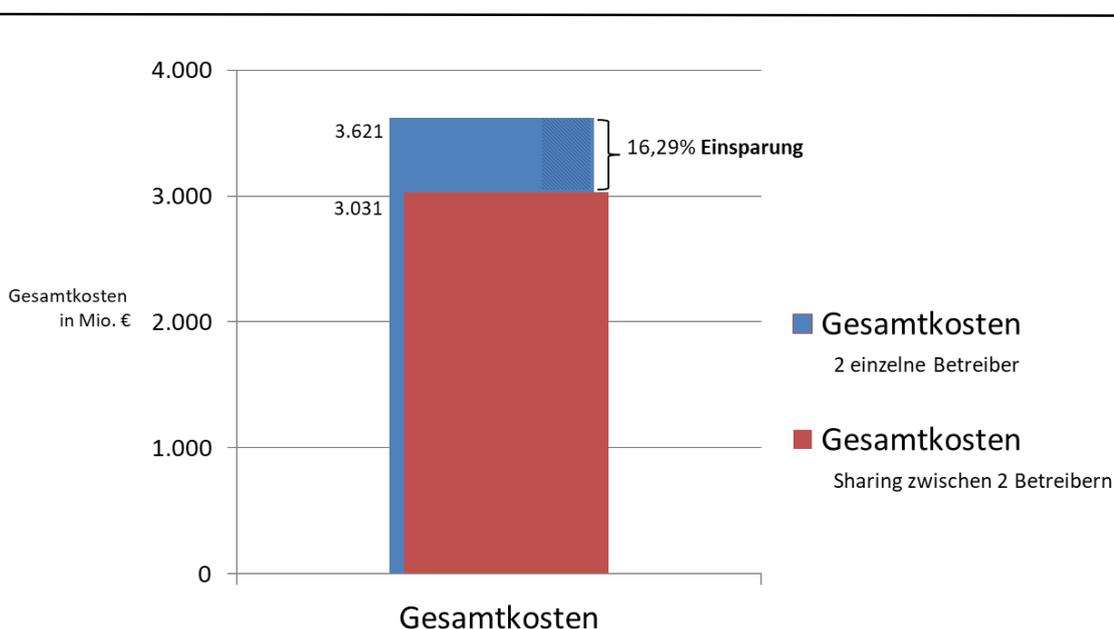


Quelle: WIK

#### 6.4.1.2 Fall 1: Gesamtes RAN-Sharing

Im Fall 1 entstehen zwei einzelnen Betreibern in Summe Kosten in Höhe von 3.621 Mio. Euro für das gesamte RAN (4G und 5G). Für den Fall, dass beide Betreiber ein Netz teilen, entstehen für das gesamte RAN 3.031 Mio. Kosten. Durch Sharing des gesamten RANs den Berechnungen zufolge ein Betrag von 590 Mio. Euro eingespart werden. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 16,29 Prozent.

Abbildung 18: Ergebnisse Fall 1 gesamtes RAN-Sharing



Quelle: WIK

### 6.4.1.3 Fall 1 Gesamtschau der Ergebnisse

Die Tabelle 6 zeigt die prozentualen Kosteneinsparungen sowohl für passives RAN-Sharing als auch hypothetisch\* für ein Sharing ausschließlich aktiver RAN-Elemente und schließlich für ein Sharing des gesamten RAN. Sowohl beim Sharing ausschließlich aktiver Elemente als auch beim Sharing passiver Elemente werden gut 16 Prozent der Kosten eingespart. Demzufolge werden beim gesamten RAN-Sharing ebenfalls gut 16 Prozent der Kosten eingespart. Als absoluter Betrag werden 211 Mio. Euro zusätzlich eingespart, wenn das Sharing vom passiven Sharing allein auf ein Gesamt-RAN-Sharing ausgedehnt wird (Gesamteinsparung 590 Mio. Euro).

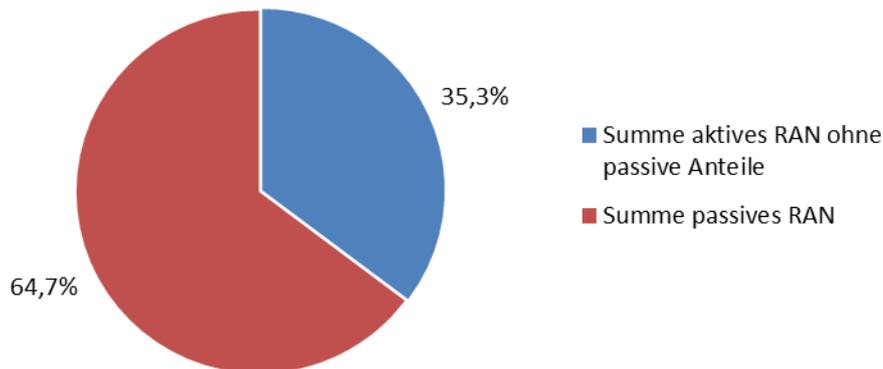
Tabelle 6: Gesamtschau der Ergebnisse Fall 1

Betrachteter Teil	Einsparung durch RAN-Sharing im Vergleich zu Referenzszenario in %	Gesamtkosten bei Sharing in absoluter Höhe in Mio. Euro (Referenzszenario)
Gesamtes RAN	16,29	3.031 (3.621)
Passives RAN	16,19	1.962 (2.341)
Aktive RAN-Komponenten*	16,50	1.069 (1.280)

\* In der Praxis können die aktiven Komponenten allein, ohne die passiven, nicht geteilt werden, da die (passiven) Standorte automatisch mitgenutzt werden müssen, wenn man darauf befindliches Equipment teilt.

Die Einsparung ist bei den aktiven Komponenten etwas höher, ihr Anteil an den RAN-Gesamtkosten ist aber deutlich niedriger (1.069 Mio. Euro vs. 1962 Mio. Euro). Die passiven Elemente des RAN machen knapp zwei Drittel der RAN-Kosten aus (siehe Abbildung 19).

Abbildung 19: Zusammensetzung der RAN-Kosten für Sharing bei zwei Betreibern im Fall 1

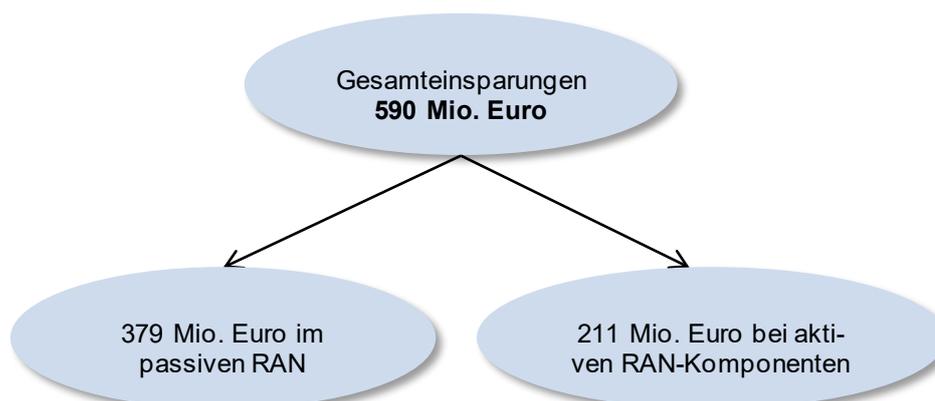


Quelle: WIK

wik 

In absoluten Zahlen werden von den 590 Mio. Euro Kosteneinsparung 379 Mio. Euro bei den passiven RAN-Kosten eingespart und 211 Mio. Euro durch die gemeinsame Nutzung der aktiven RAN-Komponenten.

Abbildung 20: Aufteilung der Gesamtkosteneinsparung im Fall 1



Quelle: WIK

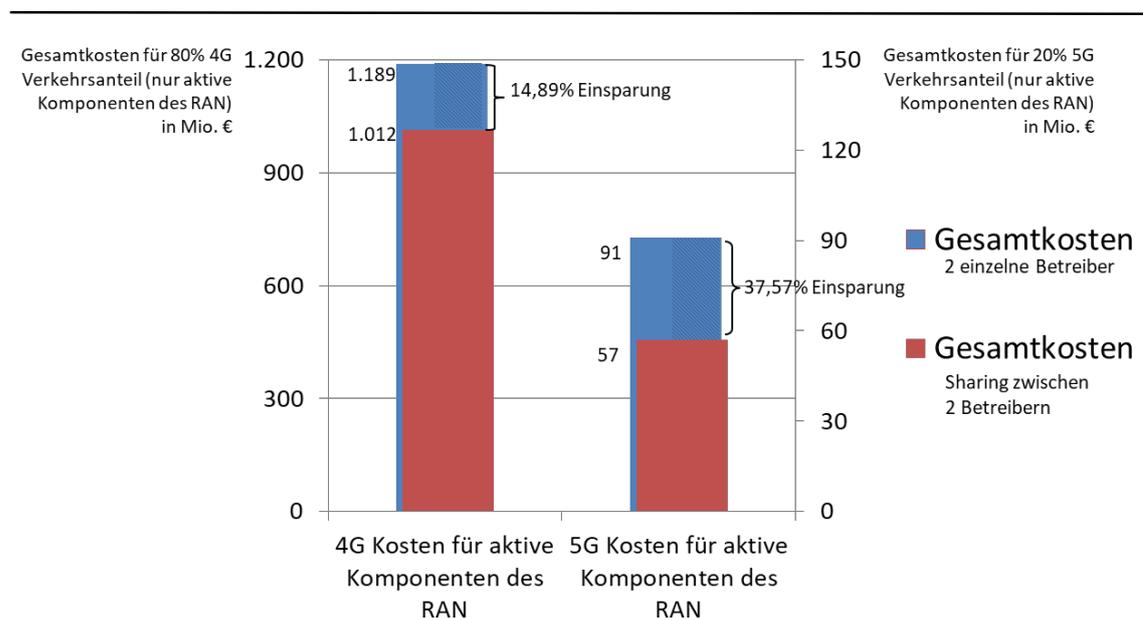
wik 

Ein Technologievergleich ist in dem Setting dieser Studie nur durch den Vergleich der aktiven Elemente des RAN möglich. Grund hierfür ist die Annahme, dass 5G zusätzlich zu 4G ausgerollt wird und auf bestehender 4G Infrastruktur aufsetzt. D.h. es gibt keine

Standorte, die ausschließlich für 5G genutzt werden. Passive Standortkosten fallen daher hauptsächlich in den 4G Rechnungen an. Für 5G fallen lediglich „Hybrid Site Upgrades“, also Aufrüstungskosten bestehender Standorte an.

Die prozentuale Kosteneinsparungen bei den aktiven Elementen des RAN beträgt bei 4G 14,89 Prozent und ist bei 5G mit 37,57 Prozent deutlich höher (siehe Abbildung 21). Dass sich diese beiden Prozentzahlen zu 16,50 Prozent aggregieren (vgl. Tabelle 6) ist auf die unterschiedliche Gewichtung durch die Verkehrsanteile zurückzuführen.

Abbildung 21: Technologievergleich 4G/5G Fall 1



Quelle: WIK

Dieser starke Unterschied ist wie folgt zu erklären. Es gilt, dass 5G sehr viel effizienter als 4G ist und dass zudem über 5G nur 20% des Verkehrs<sup>164</sup> abgewickelt wird. Aus beiden Prämissen folgt, dass die 5G-Basisstationen, über die die 20% des Verkehrs geführt werden, tendenziell sehr viel geringer ausgelastet sind als die 4G-Basisstationen. Daraus folgt wiederum, dass bei den 5G-Basisstation ein größeres Potential der Einsparung durch Sharing entsteht als bei 4G. Der Grund dafür ist, dass ein relativ größerer Anteil der Basisstationen der beiden Einzel-Netze wegfallen kann - weil die verbleibenden Basisstationen im gemeinsamen Netze deren Verkehr auffangen - als dies bei 4G der Fall ist.

<sup>164</sup> Im Fall von zwei Betreibern werden 66 Prozent der gesamten Nachfrage in das Modell eingespeist. Im Fall 1 werden von diesen 66 Prozent 20 Prozent über 5G abgewickelt und 80 Prozent über 4G. Die Annahmen zu Nachfrage können in Abschnitt 6.1 nachgesehen werden.

## 6.4.2 Modellergebnisse Fall 2 RAN-Sharing 2023

Im Fall 2 wird im Unterschied zu Fall 1 die Verkehrsaufteilung auf 4G und 5G anders vorgenommen. Im Fall 2 wird der Verkehr (also die Nachfrage) zu gleichen Teilen auf 4G und 5G verteilt. Alle anderen Annahmen und Werte bleiben unverändert.

Tabelle 7: Übersicht Eckdaten Fall 2

	Fall 2
Jahr	2023
Art der gemeinsamen Nutzung	Passives und gesamtes RAN-Sharing zw. 2 Betreibern
4G	50 %
5G	50 %

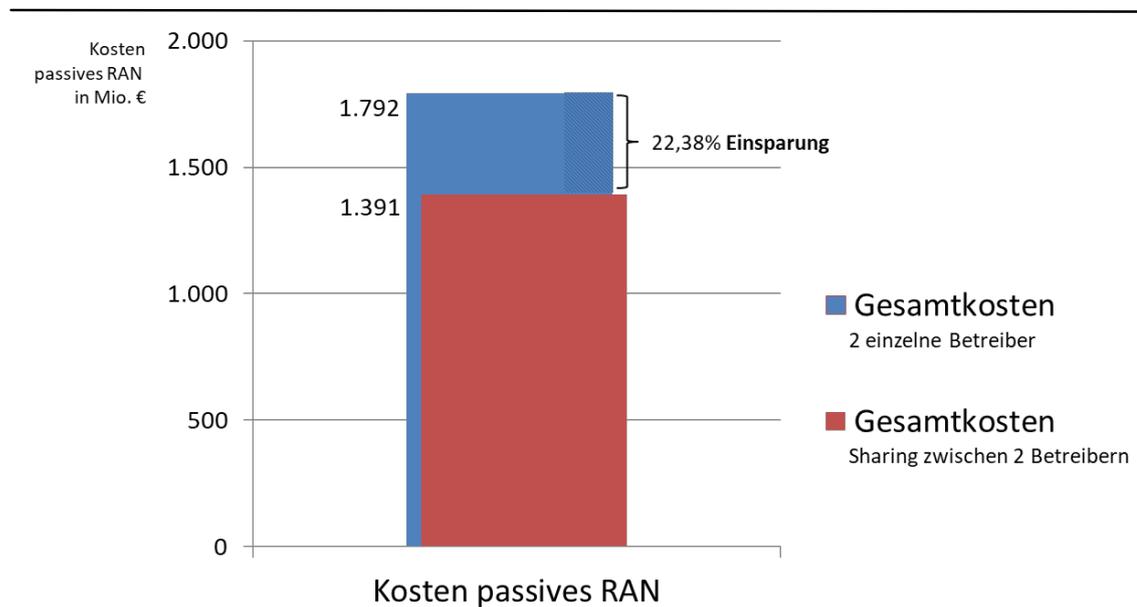
Quelle: WIK

### 6.4.2.1 Fall 2: Passives RAN-Sharing

Im Fall 2 entstehen zwei einzelnen Betreibern in Summe Kosten in Höhe von 1.792 Mio. Euro für das passive RAN (4G und 5G).<sup>165</sup> Für den Fall, dass beide Betreiber ein Netz teilen, entstehen für das passive RAN 1.391 Mio. Kosten. In absoluten Zahlen kann durch das passive RAN-Sharing den Berechnungen zufolge ein Betrag von 401 Mio. Euro eingespart werden. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 22,38 Prozent (siehe Abbildung 22).

<sup>165</sup> Die Kosten sind hier im Vergleich zu Fall 1 (3.621 Mio. Euro) deutlich niedriger. Grund hierfür ist, dass in Gebieten mit viel Verkehr nun eine geringere Anzahl von Standorten mit voll-ausgelasteten 5G-Basisstationen eine größere Anzahl von vorher 4G-Standorten abgelöst hat, da der Verkehrsanteil, der über 4G abgewickelt wird, reduziert und über 5G erhöht wurde.

Abbildung 22: Ergebnisse Fall 2 passives RAN-Sharing

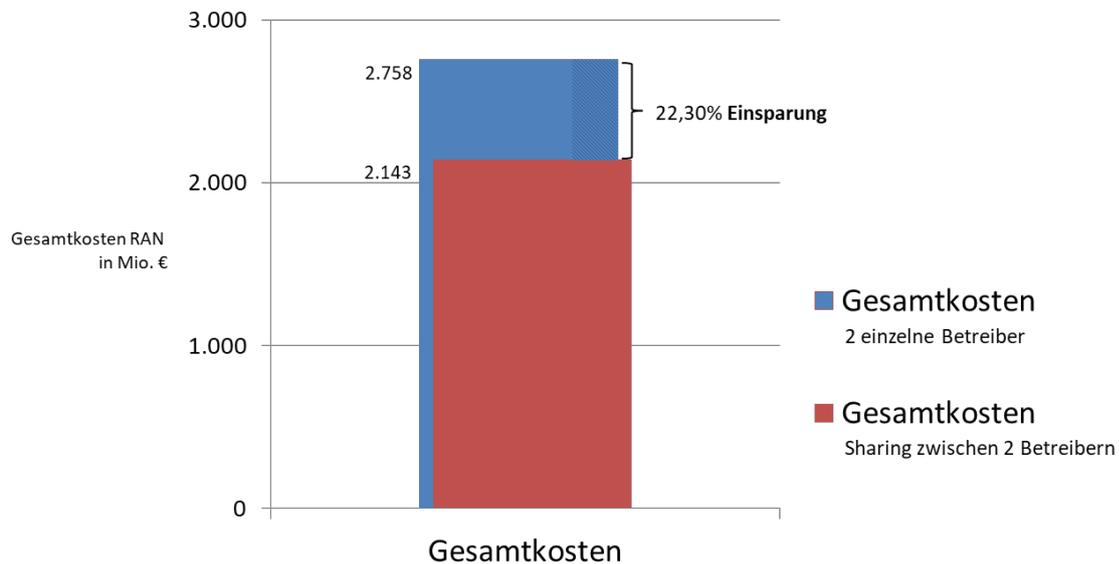


Quelle: WIK

#### 6.4.2.2 Fall 2: Gesamtes RAN-Sharing

Im Fall 2 entstehen zwei einzelnen Betreibern in Summe Kosten in Höhe von 2.758 Mio. Euro für das gesamte RAN (4G und 5G). Für den Fall, dass beide Betreiber ein Netz teilen, entstehen für das gesamte RAN 2.143 Mio. an Kosten. Durch Sharing kann den Berechnungen zufolge ein Betrag von 615 Mio. Euro eingespart werden. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 22,3 Prozent (siehe Abbildung 23).

Abbildung 23: Ergebnisse Fall 2 gesamtes RAN-Sharing



Quelle: WIK

#### 6.4.2.3 Fall 2 Gesamtschau der Ergebnisse

Die Tabelle 8 zeigt die prozentualen Kosteneinsparungen sowohl für passives RAN-Sharing als auch hypothetisch\* für ein Sharing ausschließlich aktiver RAN-Elemente und schließlich für ein Sharing des gesamten RAN. Sowohl beim Sharing ausschließlich aktiver Elemente als auch beim Sharing passiver Elemente werden gut 22 Prozent der Kosten eingespart. Demzufolge werden beim gesamten RAN-Sharing ebenfalls gut 22 Prozent der Kosten eingespart (für eine Vergleich der Ergebnisse von Fall 1 zu Fall 2 siehe Tabelle 10 im Abschnitt 6.4.2.4). Als absoluter Betrag werden 214 Mio. Euro zusätzlich eingespart, wenn das Sharing vom passiven Sharing allein auf ein Gesamt-RAN-Sharing ausgedehnt wird (Gesamteinsparung 615 Mio. Euro).

Tabelle 8: Gesamtschau der Ergebnisse Fall 2

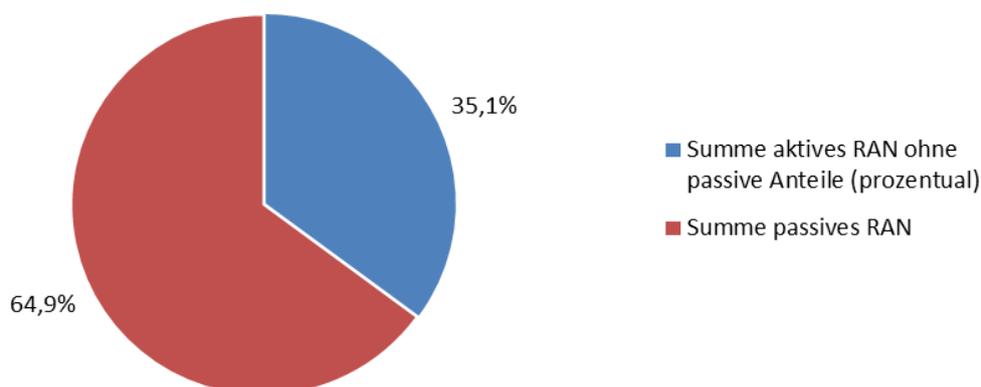
Betrachteter Teil	Einsparung durch RAN-Sharing im Vergleich zu Referenzszenario in %	Gesamtkosten bei Sharing in absoluter Höhe in Mio. Euro ( <i>Referenzszenario</i> )
Gesamtes RAN	22,30	2.143 (2.758)
Passives RAN	22,38	1.391 (1.792)
Aktive RAN-Komponenten*	22,14	752 (966)

Quelle: WIK

\* In der Praxis können die aktiven Komponenten allein, ohne die passiven, nicht geteilt werden, da die (passiven) Standorte automatisch mitgenutzt werden müssen, wenn man darauf befindliches Equipment teilt.

Die Einsparung ist bei den passiven Komponenten etwas höher, ihr Anteil an den RAN-Gesamtkosten ist deutlich höher (752 Mio. Euro vs. 1.391 Mio. Euro). Die passiven Elemente des RAN machen knapp zwei Drittel der RAN-Kosten aus (siehe Abbildung 24).

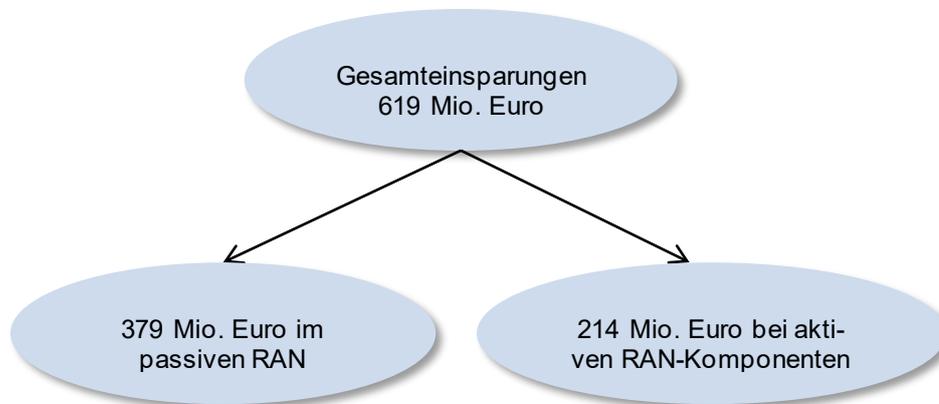
Abbildung 24: Zusammensetzung der RAN-Kosten für Sharing bei zwei Betreibern im Fall 2



Quelle: WIK

In absoluten Zahlen werden von den 615 Mio. Euro Kosteneinsparung 401 Mio. Euro bei den passiven RAN-Kosten eingespart und 214 Mio. Euro durch die gemeinsame Nutzung der aktiven RAN-Komponenten.

Abbildung 25: Aufteilung der Gesamtkosteneinsparung im Fall 2



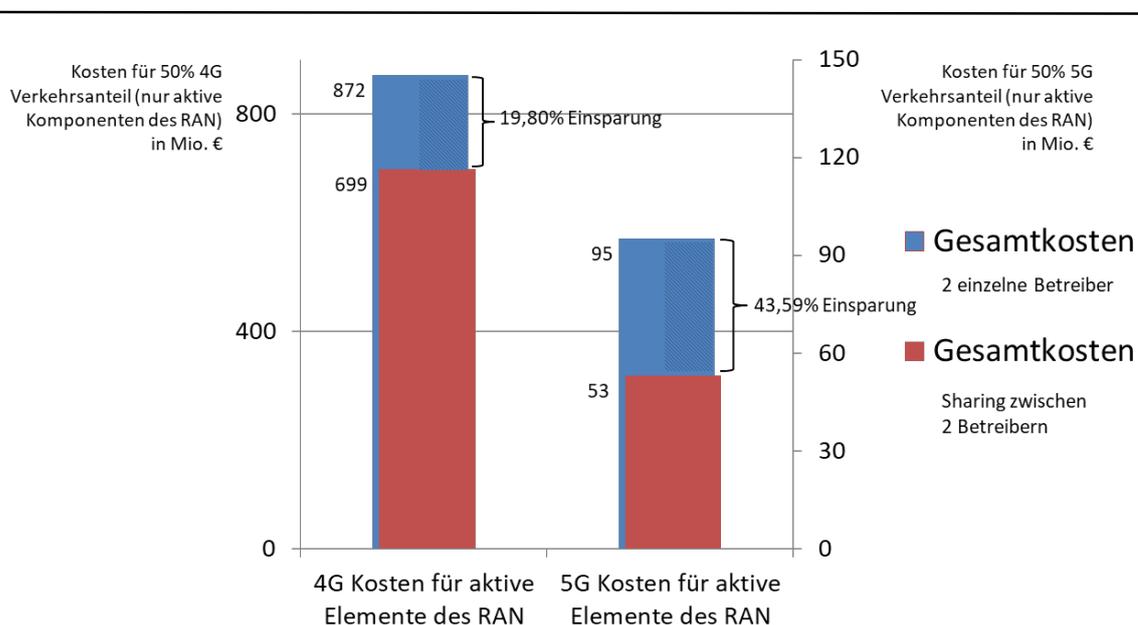
Quelle: WIK

wik 

Ein Technologievergleich ist in dem Setting dieser Studie nur durch den Vergleich der aktiven Elemente des RAN möglich. Grund hierfür ist die Annahme, dass 5G zusätzlich zu 4G ausgerollt wird und auf bestehender 4G Infrastruktur aufsetzt. D.h. es gibt keine Standorte, die ausschließlich für 5G genutzt werden. Passive Standortkosten fallen daher hauptsächlich in den 4G Rechnungen an. Für 5G fallen lediglich „Hybrid Site Upgrades“, also Aufrüstungskosten bestehender Standorte an.

Die prozentuale Kosteneinsparungen bei den aktiven Elementen des RAN beträgt bei 4G 19,8 Prozent und ist bei 5G mit 43,59 Prozent deutlich höher (siehe Abbildung 26).

Abbildung 26: Technologievergleich 4G/5G Fall 2



Quelle: WIK

wik

Dieser starke Unterschied ist wie folgt zu erklären: Es gilt, dass 5G sehr viel effizienter als 4G ist. Im Fall 2 wird die gleiche Verkehrsmenge über 4G und 5G abgewickelt (jeweils 50 Prozent). Dennoch (wegen der zehnfach erhöhten Kapazität von 5G) sind die 5G Basisstationen sehr viel geringer ausgelastet als die 4G-Basisstationen. Daraus folgt wiederum, dass bei den 5G-Basisstation ein größeres Potential der Einsparung durch Sharing entsteht als bei 4G. Der Grund dafür ist, dass ein relativ größerer Anteil der Basisstationen der beiden Einzel-Netze wegfallen kann - weil die verbleibenden Basisstationen im gemeinsamen Netze deren Verkehr auffangen - als dies bei 4G der Fall ist.

#### 6.4.2.4 Ergebnisse Fall 2 vor dem Hintergrund von Fall 1

##### Technologievergleich Fall 1 und Fall 2

Die Tabelle 9 zeigt den Technologievergleich, der anhand der aktiven Komponenten vorgenommen wird, also die Einsparungsmöglichkeiten bei 4G und bei 5G für den Fall 1 und Fall 2. Die Fälle unterscheiden sich nur in der Verkehrsverteilung. Im Fall 1 liegt diese bei 80 Prozent 4G und 20 Prozent 5G. Im Fall 2 wird der Verkehr zu gleichen Teilen auf 4G und 5G verteilt.

Tabelle 9: Prozentuale Kosteneinsparungen bei den aktiven Elementen des RAN im Fall 1 und Fall 2

Aktive Komponenten des RAN	Einsparungen in % Fall 1 (80 % 4G, 20 % 5G) (absolute Einsparung in Mio. Euro)	Einsparungen in % Fall 2 (50 % 4G, 50 % 5G) (absolute Einsparung in Mio. Euro)
4G	14,89 (177) → +4,91	19,8 (173)
5G	37,57 (34) → + 6,02	43,59 (42)

Quelle: WIK

Bei 4G liegen die Einsparungen im Fall 1 bei 14,89 Prozent und im Fall 2 bei 19,8 Prozent. D.h. die Einsparungen nehmen mit geringerer Nachfrage zu, im Fall 1 zum Fall 2 um 4,91 Prozentpunkte. Bei 5G liegen die Einsparungen im Fall 1 bei 37,57 Prozent und steigen im Fall 2 auf 43,59 Prozent. Durch eine Erhöhung der Nachfrage nehmen die Einsparungen bei 5G von Fall 1 zu Fall 2 um 6,02 Prozentpunkte zu.

In beiden Fällen sind die prozentualen Einsparungen bei 5G deutlich höher als bei 4G. Im Fall 1 liegt die Differenz zwischen den Kosteneinsparungen von 5G zu 4G bei 22,68 Prozentpunkten. Im Fall 2 beträgt die Differenz 23,79 Prozentpunkte. Durch eine Erhöhung des Verkehrsanteils von 5G und eine Reduktion derselben Größe des 4G Verkehrsanteils ist die Differenz zwischen den Technologien weitergestiegen.

Erklärung für die Einsparungsunterschiede und Unterschiede zwischen den einzelnen Technologien:

In Bezug auf die unterschiedlichen prozentualen Einsparungen innerhalb jeder der beiden Technologien gilt Folgendes: Durch die Zusammenlegung der 4G-Netze werden beim 50%-Szenario gegenüber dem 80%-Szenario relativ mehr Basisstationen eingespart, was darauf zurückzuführen ist, dass im 50%-Szenario in den getrennten Netzen noch in einem größeren Umfang Unterauslastung herrscht, so dass relativ mehr im zusammengelegten Netz verbleibende Basisstationen den Verkehr der wegfallenden Basisstationen aufnehmen können.

Bei der Zusammenlegung der 5G-Netze wirkt folgender Umstand: Sowohl im 20%-Szenario wie im 50%-Szenario bestehen in den Basisstation der getrennten Netze jeweils noch große Unterauslastung, wobei im zusammengelegten Netz des 50%-Szenarios kaum mehr zusätzlich 5G-Basisstationen als im 20%-Szenario gebraucht werden, um die doppelte Menge an Verkehr abzuwickeln. Dabei werden dann im 50%-Szenario die Kosten der kaum erhöhten Anzahl an Basisstationen auf ein erheblich größeres Volumen verteilt als im 20%-Szenario, was die größere Einsparung mit sich bringt.

Die sehr viel höheren prozentualen Einsparungen bei den 5G-Netzen gegenüber denen bei den 4G-Netzen sind dadurch zu erklären, dass in beiden Szenarien die Einzelnetze der 4G-Technologie stärker ausgelastet sind als die 5G-Netze, einmal weil im 80%-Szenario im 4G-Netz ein größeres Volumen als im 5G-Netz abgewickelt wird, zum anderen wegen der geringeren Effizienz der 4G-Technologie. Wie bereits mehrfach ausgeführt, gilt allgemein, dass bei der Zusammenführung von Netzen zu einem gemeinsamen Netz die Höhe der prozentualen Einsparung von dem Grad der Auslastung abhängt; je höher die ursprüngliche Auslastung desto geringer diese Einsparung.

### Gesamtkosteneinsparung Fall 1 und Fall 2

In beiden Fällen werden prozentuale Gesamtkosteneinsparungen von mehr als 16 Prozent durch die gemeinsame Nutzung des gesamten RANs durch mehrere Betreiber ermittelt (siehe Tabelle 10). Grund hierfür ist eine bessere Auslastung der Kapazitäten in einem gemeinsamen RAN.

Tabelle 10: Vergleich der Gesamtkosteneinsparungen Fall 1 und Fall 2 beim RAN-Sharing

Fall	Betrachteter Teil	Einsparung durch RAN-Sharing im Vergleich zu Referenzszenario in %	Gesamtkosten bei Sharing in absoluter Höhe in Mio. Euro ( <i>Referenzszenario</i> )
Fall 1 (80% 4G, 20% 5G)	Gesamtes RAN	16,29	3.031 (3.621)
Fall 2 (50% 4G, 50% 5G)	Gesamtes RAN	22,30	2.143 (2.758)

Quelle: WIK

Des Weiteren kommt es durch eine Erhöhung des 5G-Verkehrsanteils (Fall 1 im Vgl. zu Fall 2) von 20 Prozent auf 50 Prozent zu einem Anstieg der prozentuale Gesamtkosteneinsparung von 16,29 Prozent auf 22,30 Prozent. Begründen lässt sich dies durch die hohe Bedeutung von Sharing (mit Blick auf Kosten) vor allem in unterausgelasteten Netzen. Höhere Kapazität von 5G im Vergleich zu 4G führen beim Sharing vor allem bei 5G zur besseren Netzauslastung und somit zu vergleichsweise hohen Kosteneinsparungen. Wenn mehr Verkehr über 5G anstatt über 4G geführt wird, erhöht sich die Einsparung. (vergleiche Fall 3: Nachfrageerhöhung in reinem 5G Netz Abschnitt 6.4.3).

Die absoluten Gesamtkosten haben sich von Fall 1 zu Fall 2 in absoluter Höhe von 3.031 Mio. Euro auf 2.143 Mio. Euro verringert (- 888 Mio.), obwohl die gleiche Menge an Nachfrage bedient wird.

Grund hierfür ist, wie oben erläutert, die höhere Effizienz von 5G. Es sei nochmals darauf verwiesen, dass in dieser Arbeit kein stand-alone 5G-Netz betrachtet sondern ein

Aufsatz auf 4G modelliert wird. Der kapazitätsgetriebene Ausbau mit 5G ist günstiger. Dies wäre bei einem Abdeckungsausbau anders.

### Vergleich der Anzahl der Basisstationen Fall 1 und Fall 2

Der Blick auf die Anzahl der Basisstationen (siehe Tabelle 11) in den berechneten Fällen zeigt: 5G braucht bei gleicher Nachfragemenge deutlich weniger Basisstationen als 4G (3.818 5G, 32.347 4G) siehe gelbe Markierung). Grund hierfür ist die höhere Effizienz und zehnfache Kapazität der Technologie im Vergleich zu 4G.<sup>166</sup>

Tabelle 11: Anzahl der Basisstationen im Fall 1 und Fall 2

Fall	Technologie	Anzahl Betreiber	Anzahl Basisstationen (ohne Sharing für zwei einzelne Betreiber in Summe)	Einsparung (in %) 4G 5G separat (im Vergleich zu kein Sharing)	Summe Basisstationen 4G + 5G	Prozentuale Einsparung (in Basisstationen) 4G + 5G (im Vergleich zu kein Sharing)
1	4G: 80%	2	46.455 (55.524)	16%	50.086	20%
1	5G: 20%	2	3.631 (7.230)	50%		
2	4G: 50%	2	32.347 (41.552)	22%	36.165	26%
2	5G: 50%	2	3.818 (7.280)	48%		

Quelle: WIK

### 6.4.3 Modellergebnisse Fall 3 RAN-Sharing 20XX

Die Tabelle 12 zeigt die Eckdaten für den Fall 3. Dieser unterscheidet sich von den Fällen 1 und 2 in mehrerlei Hinsicht: Der Betrachtungshorizont ist 20XX. Dabei handelt es sich um ein fiktives Szenario mit der zehnfachen Nachfragemenge im Vergleich zu 2023 (vgl. Abschnitt 6.2.1). Des Weiteren untergliedert sich der Fall 3 in zwei Unterfälle: 3 a) 2 Betreiber, die sich 66 Prozent des Marktes teilen und 3 b) 3 Betreiber, die sich den gesamten Markt teilen. Darüber hinaus wird 100 Prozent der Nachfrage über 5G abgewickelt, allerdings nur urbane und suburbane Gebiete, also eher in Ballungsgebieten. Das Ergebnis eignet sich daher nicht für eine deutschlandweite Betrachtung, die auch Abdeckungszellen in ländlichen Gebieten mit einschließen würde. Schließlich wird das Ergebnis in „Anzahl an Basisstationen“ und nicht in Kosten ausgewiesen. Grund hierfür ist, dass das fiktive Szenario 20XX keinem genauen Jahr zugeordnet wird und somit auch keine Vorhersage dazu möglich ist, wie sich die Preise entwickeln, also über wie viel Jahre bspw. eine Preissteigerung angenommen werden müsste.

<sup>166</sup> Hinweis: Hier findet keine Modellierung eines stand-alone 5G Netzes statt. 5G setzt auf das vorhandene 4G Netzes, welches Coverage bereits einschließt, auf.

Tabelle 12: Übersicht Eckdaten Fall 3

Fall 3 a) und 3 b)	
Jahr	20XX
Art der gemeinsamen Nutzung	Sharing*** zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern
4G	-
5G	100 %****

Quelle: WIK

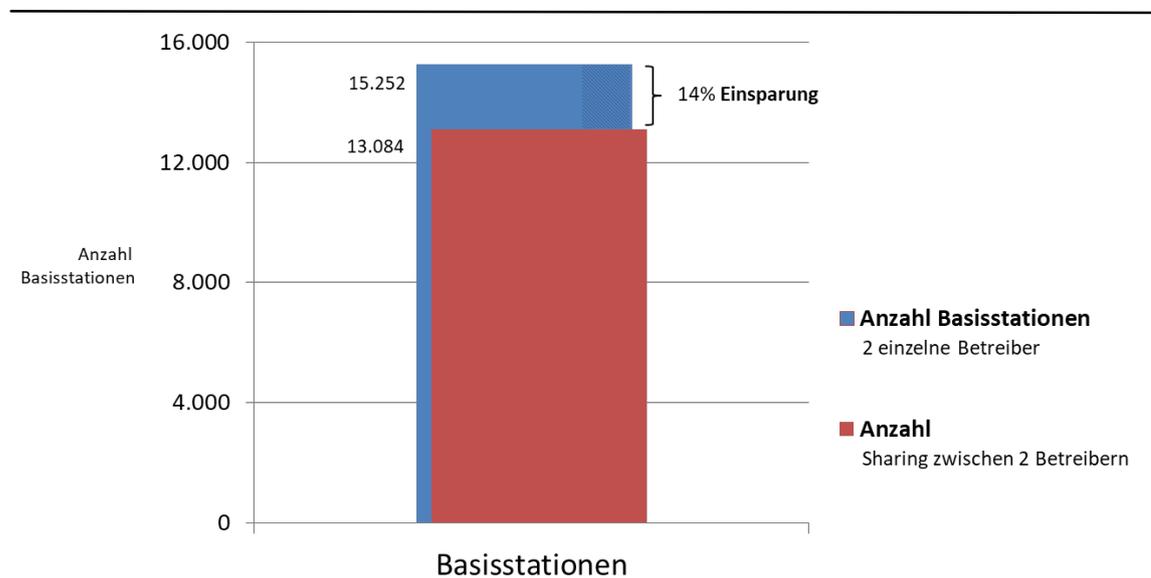
\*\*\* Ausweis des Ergebnisses ausschließlich in Basisstationen

\*\*\*\* Nur Betrachtung von urbanen und suburbanen Gebieten und dort 100 % 5G.

### 6.4.3.1 Fall 3: Sharing zwischen zwei Betreibern

Durch die Nutzung eines gemeinsamen RAN durch zwei Betreiber können 14 Prozent der Basisstationen (entspricht 2.168 Basisstationen) eingespart werden (siehe Abbildung 27).

Abbildung 27: Anzahl der Basisstationen bei 5G RAN zwei einzelnen Betreiber versus Sharing

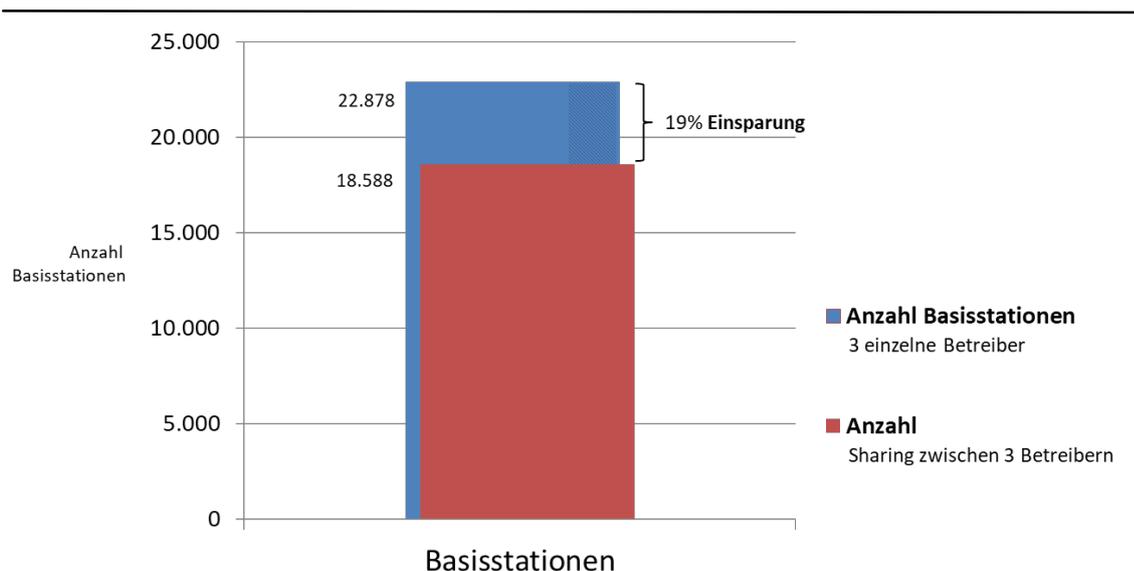


Quelle: WIK

### 6.4.3.2 Fall 3: RAN-Sharing zwischen drei Betreibern

Durch die Nutzung eines gemeinsamen RAN durch drei Betreiber können 19 Prozent der Basisstationen (entspricht 4.290 Basisstationen) eingespart werden (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28: Anzahl der Basisstationen bei 5G RAN drei einzelnen Betreiber versus Sharing



Quelle: WIK

wik 

### 6.4.3.3 Vergleich der Ergebnisse von Fall 3 a) und 3 b)

Die Einsparung (in Basisstationen) ist in dem Fall von 2 zu 3 Betreibern von 14 Prozent auf 19 Prozent angestiegen. Das heißt, eine Nachfrageerhöhung um etwa 33 Prozent hat eine relativ kleine zusätzliche Einsparung von 5 Prozent zur Folge.

Grund hierfür ist, dass die rein kapazitätsgetriebenen Standorte<sup>167</sup> auch ohne Sharing bereits stark ausgelastet sind. Sharing ermöglicht daher nur noch wenig Potential für eine höhere Auslastung je Standort. Daher ergeben sich durch eine Nachfragesteigerung um 33 Prozent nur noch 5 Prozent zusätzliche Einsparungen in Basisstationen.

<sup>167</sup> Hinweis: Im Fall 3 werden 100 Prozent der Nachfrage über 5G abgewickelt, allerdings nur in urbanen und suburbanen Gebieten, also in Hot Spots. Das Ergebnis eignet sich daher nicht für eine deutschlandweite Betrachtung, die auch Abdeckungszellen in ländlichen Gebieten miteinschließen würde.

#### 6.4.4 Vergleich der Ergebnisse von Fall 1, 2 und 3

Im Verhältnis zu allen anderen Fällen (mit einem Bruchteil der Nachfrage) sind die prozentualen Einsparungen bei 5G (in Basisstationen) im Fall 3 gering (siehe gelbe Spalte in Tabelle 13). Grund hierfür ist, dass die Standorte auch ohne Sharing bereits stark ausgelastet sind. Sharing ermöglicht nur noch wenig Potential für höhere Auslastung je Standort. Im Fall 1 wird nur 20 Prozent des Verkehrs auf 5G verteilt.<sup>168</sup> Im Fall 2 sind es bereits 50 Prozent. Im Fall 3 wird die gesamte Nachfrage über 5G abgewickelt und die Gesamtmarktnachfrage ist zehnfach erhöht im Vergleich zum Fall 1 und Fall 2.

Erläuterung zum Nachfrageansatz in den Fällen 1-3:

In der Zeile 3 der Tabelle 13 bspw. sind es 20 Prozent von den 66,66 Prozent der Nachfrage, die sich zwei Betreiber teilen. D.h. im Fall 1 mit zwei Betreibern werden etwa 13,33 Prozent (entspricht 20 Prozent von 66 Prozent) der gesamten Nachfrage im Markt über 5G im Sharing abgewickelt. In der Zeile 6 im Fall 2 werden 50 Prozent der 66,66 Prozent im Sharing zwischen zwei Betreibern über 5G abgewickelt. Dies entspricht 33 Prozent der gesamten Nachfrage im Markt. Im Fall 3 in der Zeile 9 werden im Sharing bei zwei Betreibern 100 Prozent der 66 Prozent Gesamtmarktnachfrage über 5G abgewickelt.

In allen drei Fällen werden durch Sharing Basisstationen im Vergleich zum alleinigen Ausbau eingespart. Dabei wird die Einsparung von Fall 1 bis Fall 3 (also mit steigender Nachfrage) kleiner, wenn das Sharing von zwei auf drei Betreiber erweitert wird. Im Fall 1 werden durch eine Erweiterung der Kooperation von zwei auf drei Betreiber 16 Prozent an Basisstationen zusätzlich eingespart. Im Fall 2 sind es noch 14 Prozent Basisstationen, die zusätzlich eingespart werden können und im Fall 3 in dem eine sehr hohe Nachfrage zu 100 Prozent über 5G abgedeckt wird sind es nur noch 5 Prozent an Basisstationen, die eingespart werden können. Allgemeiner formuliert lässt sich festhalten: Bei hoher Nachfrage und damit einhergehender hoher Netzauslastung können durch Sharing kaum noch Einsparungen erzielt werden.

---

<sup>168</sup> Für die Höhe der Gesamtnachfrage vergleiche Abschnitt 6.1.

Tabelle 13: Anzahl der 5G Basisstationen in den Fällen 1 – 3

Fall und Verkehrsaufteilung	Technologie	Anzahl Betreiber	Anzahl Basisstationen	Einsparung in %	Nachfrage pro Jahr in Mio. GB	
Fall 1: 80:20	5G	1	3.615		2.598	
Fall 1: 80:20	5G	2	3.631	50%	} +16 %	5.197
Fall 1: 80:20	5G	3	3.655	66%		7.874
Fall 2: 50:50	5G	1	3.640		2.598	
Fall 2: 50:50	5G	2	3.818	48%	} +14 %	5.197
Fall 2: 50:50	5G	3	4.143	62%		7.874
Fall 3: 100	5G	1	7.626		25.984	
Fall 3: 100	5G	2	13.084	14%	} +5 %	51.968
Fall 3: 100	5G	3	18.588	19%		78.740

Quelle: WIK

#### 6.4.5 Modellergebnisse Fall 4 National Roaming

Im Fall 4 wird Nationales Roaming als eine weitere Ausprägung der Netzkooperation<sup>169</sup> betrachtet. Beim Roaming wird der Verkehr eines Kunden des Betreibers A über das Netz des Betreibers B transportiert und geroutet bzw. teilen sich zwei Betreiber ein Netz. Im Grundsatz sharen sich zwei Betreiber ein gesamtes Netz. Dies könnte auch auf Regionen heruntergebrochen werden. Unser Ansatz bezieht sich auf das Gesamtnetz. Dabei wird die gleiche Gesamtmarktnachfrage wie für den Fall 1 und Fall 2<sup>170</sup>, also aus dem Jahr 2023, angenommen. Die Verkehrsverteilung bei Fall 4a sieht 80 Prozent für 4G und 20 Prozent für 5G vor und entspricht somit den Annahmen für Fall 1. Im Fall 4b wird der Verkehr zu gleichen Teilen über 4G und 5G abgewickelt, was den Annahmen für Fall 2 gleich kommt (siehe Tabelle 14: Übersicht Eckdaten Fall 4a und 4b).

<sup>169</sup> Somit unterscheidet sich der Fall 4 deutlich von den Fällen 1-3, deren Gegenstand Kooperationen im RAN sind.

<sup>170</sup> Annahmen zur Nachfrage vgl. Abschnitte 6.1.

Tabelle 14: Übersicht Eckdaten Fall 4a und 4b

	Fall 4a	Fall 4b
Jahr	2023	2023
Art der gemeinsamen Nutzung	Roaming zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern	Roaming zw. 2 Betreibern und zw. 3 Betreibern
4G	80 %	50 %
5G	20 %	50 %

Quelle: WIK

### Zwei Betreiber im National Roaming

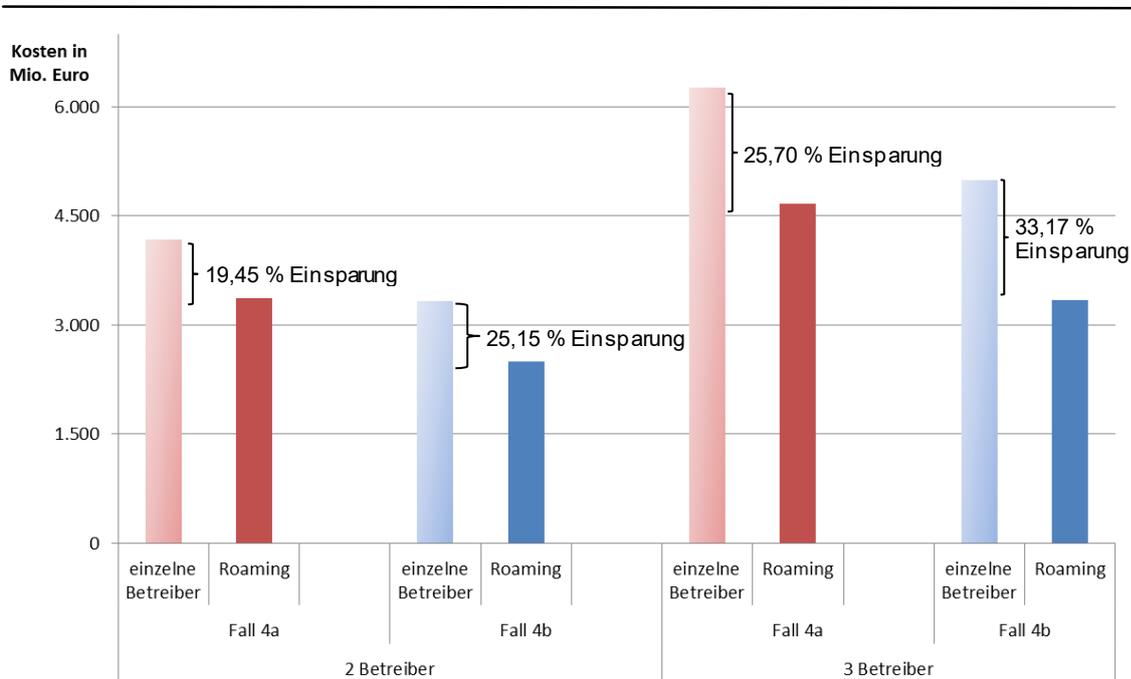
Das Abbildung 29 zeigt die Kosteneinsparungen beim National Roaming im Vergleich dazu, dass zwei bzw. drei Betreiber ihre Netze getrennt aufbauen und betreiben. Für den Fall, dass zwei Betreiber in Form von National Roaming kooperieren, ergibt sich für die Verkehrsverteilung 80 Prozent für 4G und 20 Prozent für 5G, also Fall 4a, eine Kosteneinsparung von 19,5 Prozent. Im Fall 4b, wenn der Anteil des 4G Verkehrs reduziert und der 5G-Anteil erhöht wird (Verteilung 50:50) steigt die Einsparungsquote auf 25,1 Prozent an. Die Gesamtkosten der Roaming-Kooperation sinken vom Fall 4a (3.367 Mio. Euro) zum Fall 4b (2.492 Mio.) um 875 Mio. Euro ab.

#### Erklärung:

Durch Roaming werden in beiden Fällen sowohl für den höheren 4G Verkehrsanteil als auch für die gleiche Menge an 4G und 5G Verkehr (50:50) Einsparungen von mehr als 19 Prozent erzielt. Dabei steigen die Einsparungen mit einer Erhöhung des 5G Verkehrsanteils auf 25,1 Prozent an. Grundsätzlich ergeben sich Einsparungen durch die bessere Auslastung von Kapazitäten durch die Kooperation. Da das 5G Netz eine deutlich höhere Effizienz und die zehnfache Kapazität im Vergleich zu 4G aufweist, sind die Einsparungen noch höher, wenn mehr Verkehr über 5G geleitet wird, wie dies in Fall 4b stattfindet. Hierbei wird der größere Teil (16,29% bzw. 22,30%) jeweils im Bereich des RAN erzielt (siehe hierzu weitere Erläuterungen in Abschnitt 6.4.6, in dem der Vergleich zu RAN-Sharing vorgenommen wird).

Für weitere Erläuterungen der Ergebnisse im Vergleich zu RAN-Sharing siehe Abschnitt 6.4.6.

Abbildung 29: Einsparungen beim Roaming bei verschiedenen Verkehrsverteilungen (4G/5G) und bei zwei bzw. drei kooperierenden Betreibern



Quelle: WIK

wik

### Drei Betreiber im National Roaming

Das Abbildung 29 zeigt die Kosteneinsparungen beim nationalen Roaming im Vergleich dazu, dass zwei bzw. drei Betreiber ihre Netze getrennt bauen und betreiben. Für den Fall, dass drei Betreiber in Form von National Roaming kooperieren, ergibt sich für die Verkehrsverteilung 80 Prozent für 4G und 20 Prozent für 5G, also Fall 4a, eine Kosteneinsparung von 25,7 Prozent. Im Fall 4b, wenn der Anteil des 4G Verkehrs reduziert und der 5G-Anteil erhöht wird (Verteilung 50:50) steigt die Einsparungsquote auf 33,2 Prozent an. Die Gesamtkosten der Roaming-Kooperation sinken vom Fall 4a (4.659 Mio. Euro) zum Fall 4b (3.338 Mio.) um 1.321 Mio. Euro ab.

#### Erklärung:

Durch Roaming werden in beiden Fällen sowohl für den erhöhten 4G Verkehrsanteil als auch für die gleiche Menge an 4G und 5G Verkehr (50:50) Einsparungen von mehr als 25 Prozent erzielt. Dabei steigen die Einsparungen mit einer Erhöhung des 5G Verkehrsanteils auf 33,2 Prozent an. Grundsätzlich ergeben sich Einsparungen durch die bessere Auslastung von Kapazitäten durch die Kooperation nun dreier Betreiber. Da das 5G Netz eine deutlich höhere Effizienz und die zehnfache Kapazität im Vergleich zu 4G aufweist, sind die Einsparungen noch höher, wenn mehr Verkehr über 5G geleitet wird, wie dies in Fall 4b stattfindet. Auch hier wird der größere Teil der Einsparungen

jeweils im Bereich des RAN erzielt (siehe hierzu weitere Erläuterungen in Abschnitt 6.4.6, in dem der Vergleich zu RAN-Sharing vorgenommen wird).

**Vergleich der Ergebnisse von Kooperationen zwischen zwei bzw. drei Betreibern im Fall 4**

Tabelle 15 zeigt die Aufteilung des Verkehrs auf 4G bzw. 5G, die Anzahl der kooperierenden Betreiber, sowie den daraus resultierenden Anteil an der Gesamtnachfrage, der im jeweiligen Fall über 5G abgewickelt wird. In der letzten Spalte der Tabelle sind die prozentualen Kosteneinsparungen im Vergleich zum Referenzszenario (also separate Bereitstellung der Netze durch zwei bzw. drei einzelne Betreiber) abzulesen.

Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse von Kooperationen zwischen zwei bzw. drei Betreibern im Fall 4

	A	B	C	D	E
	Fall (Verkehrsverteilung)	Anzahl der Betreiber	Betrachteter Anteil der gesamten Marktnachfrage (in %)	Anteil der gesamten Marktnachfrage, die über 5G abgewickelt wird (in %)	Einsparung im Vergleich zum Referenzszenario (in %)
1	4a (80% 4G, 20% 5G)	2	66,6	13,2 (0,66 * 0,2)	19,5
2	4b (50% 4G, 50% 5G)	2	66,6	33	25,1
3	4a (80% 4G, 20% 5G)	3	100	20	25,7
4	4b (50% 4G, 50% 5G)	3	100	50	33,2

Quelle: WIK

Die prozentualen Einsparungen (E) steigen mit zunehmendem Volumen (Spalte D), wenn also der Marktanteil, der gemeinsam abgewickelt wird von 66 Prozent bei zwei Betreibern auf 100 Prozent bei drei Betreibern steigt.

Weiterhin steigt die Einsparung mit zunehmendem Verkehrsanteil, der über 5G abgewickelt wird. Dieser Effekt zeigt sich, wenn man die Werte innerhalb der gleichen Betreiberanzahl vergleicht: Von Zeile 1 zu Zeile 2 (Fall zwei Betreiber) und Zeile 3 zu Zeile 4 (Fall drei Betreiber) wird bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen eine erhöhte prozentuale Einsparung erzielt. Wenn der 5G Anteil bei der Kooperation zwischen zwei Betreibern erhöht wird, steigt die prozentuale Einsparung um 5,6 Prozentpunkte auf 25,1 Prozent an. Wenn der 5G Anteil bei der Kooperation zwischen drei Betreibern erhöht wird, steigt die prozentuale Einsparung um 7,5 Prozentpunkte auf 33,2 Prozent an.

Die Erhöhung des Verkehrsanteils über 5G bzw. die in gleichem Maße reduzierte Menge an 4G treibt die Einsparung maßgeblich. Dies zeigt sich, wenn zum einen Zeile 1 und Zeile 3 verglichen werden: Wenn die Nachfragemenge der Kooperation von 66 Prozent auf 100 Prozent steigt (also um ein Drittel), so steigt die Einsparung von 19,5 Prozent um 6,2 Prozent auf 25,7 Prozent an. Wenn zum anderen im Vergleich dazu die Einsparung von Zeile 1 zu Zeile 2 bzw. Zeile 3 zu Zeile 4 betrachtet wird, zeigt sich, dass eine hohe Einsparung von in beiden Fällen mehr als 5 Prozent bereits durch die Verschiebung des Verkehrs zu 5G erreicht wird, obwohl sich an der gesamten Nachfragemenge der Kooperation nichts verändert.

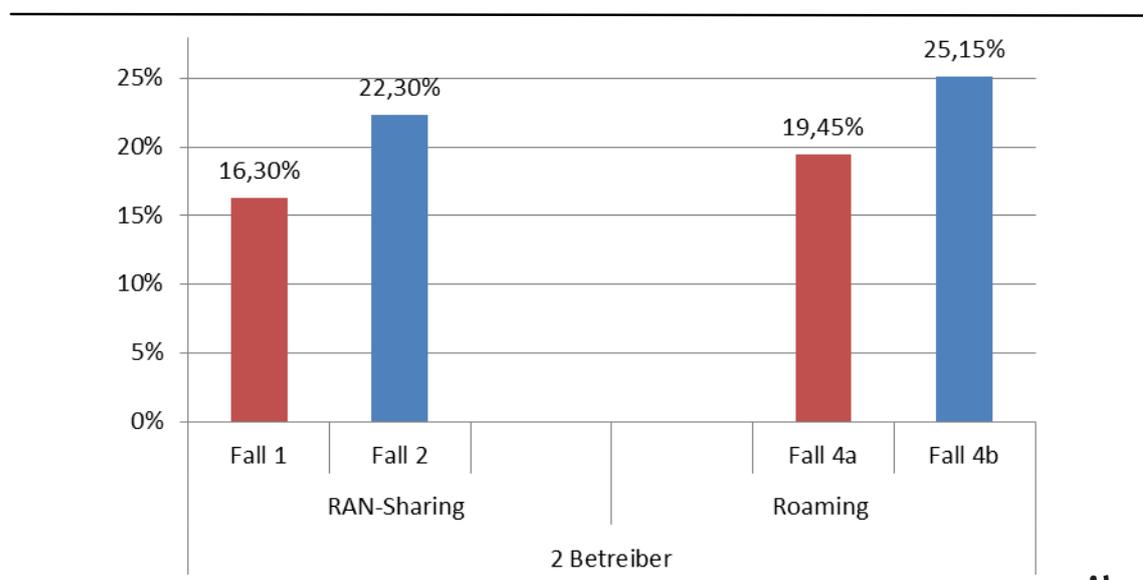
#### Erklärung:

Wie bereits mehrfach ausgeführt, ergeben sich Einsparungen bei beiden Technologien durch die bessere Auslastung eines gemeinsam genutzten Netzes. Da 5G effizienter ist und eine zehnfach höhere Kapazität im Vergleich zu 4G aufweist, erhöht sich die Einsparung umso mehr, je mehr Verkehr über 5G abgewickelt wird. Wie man allerdings in Tabelle 13 im Abschnitt 6.4.4 im Fall des fiktiven Szenarios 20XX mit stark erhöhter Nachfrage erkennt, ist auch dieser Effekt begrenzt, nämlich dann, wenn in einem 5G Netz die Kapazitäten bereits vor der Kooperation stark ausgelastet sind.

#### 6.4.6 Vergleich der Ergebnisse für RAN-Sharing und National Roaming

Im Folgenden werden die Fälle 1 und 2 (RAN-Sharing) mit den Fällen 4a und 4b (Roaming) verglichen. Da bei den Berechnungen zum RAN-Sharing nur zwei Betreiber betrachtet werden, wird vom Fall 4 auch nur der Teil der Ergebnisse betrachtet, der zwei Betreiber betrifft.

Abbildung 30: Kosteneinsparungen beim RAN-Sharing im Vergleich zum National Roaming



Quelle: WIK

Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse von Fall 1 und 2 sowie Fall 4a und 4b

Fall (Verkehrsaufteilung)	Prozentuale Einsparung beim Sharing zwischen zwei Betreibern (in %)	Absolute Einsparung durch Sharing (in Mio. Euro) im Vgl. zu zwei einzelnen Betreibern	Absolute Kostenhöhe beim Sharing	Kostenanteil am Gesamtnetz
Fall 1 (80% 4G, 20% 5G)	16,29	590	3.031	90 %
Fall 4a (80% 4G, 20% 5G)	19,45	813	3.367	100 %
Fall 2 (50% 4G, 50% 5G)	22,30	615	2.143	86 %
Fall 4b (50% 4G, 50% 5G)	25,15	837	2.492	100 %

Quelle: WIK

RAN-Sharing ist eine Teilmenge von National Roaming. National Roaming schließt RAN-Sharing mit ein. Somit ist die absolute Höhe der Kosten für die Fälle mit Roaming (Fall 4a und 4b) immer höher als die Gesamtkosten des RAN (Fall 1 und 2).

Die Kosten des RAN (aktive und passive Komponenten) machen den Hauptteil der Gesamtnetzkosten, in beiden Fällen mehr als 85 Prozent, in dieser Betrachtung aus.<sup>171</sup> Eine Erweiterung des RAN-Sharings auf National Roaming bringt (Fall 1 nach Fall 4a) eine zusätzliche Kosteneinsparung in Höhe von 3,16 Prozentpunkten. Bei einer Erweiterung von Fall 2 auf Fall 4b ergibt sich eine zusätzliche Kosteneinsparung in Höhe von 2,85 Prozentpunkten.

Im Fall einer Verkehrsaufteilung von 80 Prozent 4G und 20 Prozent 5G macht das RAN 90 Prozent der Gesamtnetzkosten aus. Im Fall von einer Verkehrsaufteilung von 50 Prozent 4G und 50 Prozent 5G macht das RAN mit 86 Prozent der Gesamtnetzkosten relativ zum Fall 80 Prozent 4G und 20 Prozent 5G einen geringeren Anteil an den Gesamtkosten (-4 Prozent) aus.

Erläuterung:

Im Gegensatz zum RAN-Sharing zeigen sich durch die Erweiterung der Kooperation auf alle Netzebenen (National Roaming) nur noch geringfügige zusätzlich Einsparungen von etwa 3 Prozent. Dabei gilt zum Beispiel, dass beim stärkeren Einsatz von 5G im RAN die Ergebnisse sogar eine geringfügige Abnahme der Einsparungen aufweisen (um 0,31 Prozentpunkten, 3,16 % - 2,85 %).

Grund hierfür ist, dass die Dimensionierung von Backhaul und Kernnetz anders auf eine veränderte Kapazität und Technologieverteilung reagiert als dies beim RAN der Fall ist und die technischen Kapazitätssteigerungen von 5G hauptsächlich im RAN und auf der Funkschnittstelle liegen. Bei der ursprünglichen Dimensionierung der Referenzbetreiber-Szenarien ist die betrachtete Nachfrage schon hoch, so dass die Kapazität von Transportnetz und Kernnetz ausgelastet ist. Wenn die Kapazitätsnachfrage durch Roaming verdoppelt oder gar verdreifacht wird, müssen neue Systeme hinzugefügt werden, Transport- und Kernnetz müssen elementar kapazitativ erweitert werden. Um durch Roaming zukünftig höhere Einsparungen zu erreichen, müssten die Betreiber zunächst sowohl ihre Backhaul-Netze als auch ihre Kernnetz-Standorte erweitern. Dabei würden insbesondere durch den Migrations-Prozess von 4G zu 5G, bei dem nicht nur die 5G-Standorte der Non-Standalone (NSA) Lösung berücksichtigt werden müssten, sondern auch das 4G-Kernnetz /EPC) beibehalten werden müsste, zusätzliche Kosten entstehen.

Der Kostenanteil des Backhails und Kernnetzes an den Gesamtkosten nimmt mit einer Verlagerung des Verkehrs auf 5G aufgrund von dessen hoher Effizienz im RAN zu und dementsprechend nimmt der Kostenanteil des RAN an den Gesamtnetzkosten mit steigendem 5G Verkehrsanteil ab (um - 4 Prozent).

---

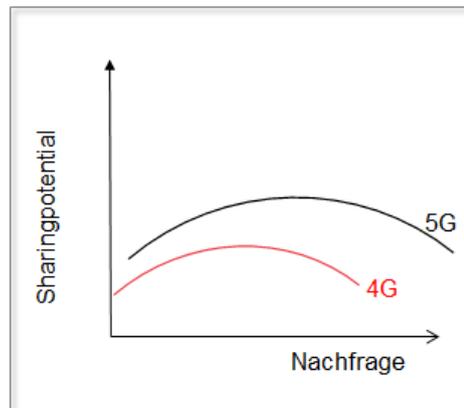
<sup>171</sup> Für Annahmen zu Kosten und Netzelemente für die Berechnungen dieses Berichts siehe Abschnitt 6.1. Die absolute Höhe der Kosten lässt sich nicht ohne Weiteres auf die tatsächlichen Kosten von Unternehmen übertragen, da bspw. keine Frequenzkosten einbezogen werden.

## 6.5 Grundsätzliche Schlussfolgerungen aus den Modellergebnissen

Zusammenfassend können aus den verschiedenen Fällen der Abschnitte 6.4.1 bis 6.4.6 folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Alle betrachteten Szenarien weisen prozentuale Einsparungspotentiale (in Kosten) im zweistelligen Bereich von mindestens 16 Prozent auf.
- Die passiven Komponenten machen mit etwa 63 Prozent den Hauptteil der Kosten des RAN aus. Dementsprechend sind die absoluten Einsparungen im passiven RAN am höchsten, da sie – obwohl die Einsparungsquote bei den aktiven und passiven Elementen gleich hoch ist - hier für einen größeren Kostenanteil Anwendung findet.
- Im RAN werden die größten Kosteneinsparungen erzielt. Durch eine Erweiterung der Kooperation auf das gesamte Netz (National Roaming) ergeben sich nur noch wenig zusätzliche Einsparungen (in etwa 3 Prozent).
- Einsparungen ergeben sich in den Szenarien dieser Untersuchung innerhalb einer Technologie ausschließlich durch eine höhere Auslastung der Kapazitäten.
- Technologieübergreifend betrachtet ist 5G effizienter als 4G und damit kostengünstiger (bei gleicher Nachfrage sind weniger Standorte notwendig). Dies ist ein weiterer Faktor, warum Szenarien sich in ihrer Kostengröße unterscheiden. (gilt nur für kapazitätsgetrieben ausgebaute Gebiete).
- Ab einer bestimmten Schwelle gilt: Je mehr Nachfrage besteht und je voller die Netze werden, desto geringer sind die Einsparungspotentiale durch Sharing. Wenn die Netze bereits voll sind, können bei der Zusammenführung der Netze für das erhöhte Volumen keine Auslastungspotentiale mehr genutzt werden, sondern es müssen zusätzliche Standorte/Basisstationen eingerichtet werden. Bei 4G ist diese Schwelle der Nachfrage schneller erreicht als bei 5G, da 5G die effizienter Technologie ist und eine zehnfach höhere Kapazität aufweist.

Abbildung 31: Schattische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Sharingpotential und Nachfragemenge für verschiedene Technologien



Quelle: Eigene Darstellung WIK

wik 

- Relevant (bezüglich des Kosteneinsparungspotentials) ist Sharing v.a.:
  - für den Markteintritt kleiner Betreiber (wenn diesen Sharing gewährt wird)
  - zur Einführung einer neuen Technologie, wenn die Betreiber sich beim flächendeckenden Rollout auf nicht überlappende Teilgebiete konzentrieren
  - mit Blick auf ein potentiell schnelleren Roll-out
  - bei geringer Nachfragemenge, um Kapazitäten besser auszulasten
  - aufgrund der generierten Kostenvorteile und der damit verbundenen Möglichkeit, je nach Marktkonstellation und Sharingpartnern, Wettbewerbsvorteile zu generieren oder Nachteile abzubauen
  - durch gesamtwirtschaftliche Vorteile, wenn die Einsparungen durch Sharing an den Nachfrager weitergegeben werden.

## 6.6 Limitationen und Ausblick

Für den vorliegende Beitrag wurden für die Modellierung verschiedene Annahmen getroffen (vgl. Abschnitt 6.1). In dem folgenden Abschnitt wird kurz dargestellt, welchen Einschränkungen die Ergebnisse unterliegen und welche weiteren Arbeiten sich unmittelbar aus dem Projekt ergeben und anschließen könnten.

## **Überblick über den zukünftigen vollständigen 5G-Rollout (Herausforderungen und Einschränkungen)**

Die Modellierung geht im Grundsatz von der bestehenden 4G Architektur und dem dort üblichen Distributed-RAN Ansatz (D-RAN) aus, belässt also die Kontrollfunktionen der Baseband-Units (BBUs) für die Antennenbetriebsfunktionen (Remote Radio Head, RRH) am Fuß der Antennenmasten. Damit handelt es sich im gewählten Modellierungsansatz um eine Perspektive für die nähere Zukunft und nicht um ein vollständig ausgebautes 5G Netz. Die nachfolgenden Absätze beschreiben perspektivisch die Unterschiede.

Unter einem vollständigen 5G-Netz verstehen wir ein vollständig aktualisiertes Ende-zu-Ende-Netz, das alle verbesserten Leistungsversprechen von 5G unterstützt. Dieser Übergang (Transition) erfolgt ausgehend von den bestehenden 4G Netzen zu frühen 5G-Netzen und anschließend noch in mehreren Schritten zu vollständig in 5G Technik ausgebauten Netzen. Auch für die Evolution in 5G sind weitere Releases geplant und es steht bereits 6G als dann die nächste Generation in vielleicht 8-10 Jahren in Aussicht.

Für den Umbau in ein vollständiges 5G Netz sind grundlegende Änderungen sowohl an der RAN-Architektur als auch an der Architektur des Transportnetzes erforderlich. Die vollständige 5G-Einführung wird mit der Einrichtung eines 5G-Core-Netzes (5GC) durch einen Netzbetreiber beginnen. Bei diesen Implementierungen wird das 5GC mit dem EPC koexistieren, indem Non-StandAlone (NSA)-Anwendungsfälle weiterhin implementiert bleiben während neue StandAlone-Modus (SA)-Anwendungen aufkommen.

Die Einführung des vollständigen 5G wird neue Anwendungen, Anwendungsfälle und Funktionen ermöglichen, die in den 3GPP-Spezifikationen definiert sind. Die 5GC-Bereitstellung wird neue Fähigkeiten wie 3GPP Network Slicing sowie zusätzliche Anwendungen wie ultra-reliable Low-Latency Communications (urLLC), massive Machine-Type Communications (mMTC) und zum ersten Mal native Ethernet-Dienste in der wireless Domäne über 5G NRs (New Radios) ermöglichen.

5G-Designprinzipien sind so definiert, dass sie die Vorteile softwaregesteuerter Innovationen und Technologien wie Software-Defined Networking (SDN) und Network Functions Virtualization (NFV) voll ausschöpfen (siehe Abschnitt 5.5). Dies bedeutet die Virtualisierung und Disaggregation vieler RAN- und mobiler Core-Funktionen und eine neue Anordnung der Funktionen auf die Standorte der Netzwerksteuerung. Dazu wird verstärkt ein Cloud-RAN-Ansatz verfolgt werden, der auch erhebliche architektonische Auswirkungen auf das Transportnetz hat.

Der Einsatz von Multi-Access-Edge-Computing (MEC), das für Anwendungen mit geringer Latenz erforderlich ist, wird voraussichtlich während der vollständigen 5G-Einführung erfolgen und muss bei der Betrachtung der zugrunde liegenden Transportarchitektur berücksichtigt werden. Ein vollständiger 5G-Rollout muss kosteneffizient

sein und gleichzeitig die strengen Anforderungen der oben genannten neuen Anwendungen und Anwendungsfälle erfüllen. Diese Herausforderung führt zu der Frage, wie ein Mobilfunknetzbetreiber (MNO) ein vollständiges 5G-Netz mit einer einzigen Infrastruktur aufbauen kann, die in der Lage ist, sowohl Dienste mit massiver Bandbreite und latenztoleranten Diensten als auch extrem zuverlässige und begrenzte Dienste mit niedriger Latenz in derselben Infrastruktur zu unterstützen.

MNOs beabsichtigen, die RAN-Kontrollfunktionen zu zentralisieren, um deren Gesamtleistung zu verbessern, die Effizienz zu steigern, den Energieverbrauch und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken und die Kosten zu reduzieren. Die Zentralisierung der RAN-Elemente ermöglicht eine many-to-one- Beziehung zwischen den Kontrollfunktionen der Breitbandeinheit (BBU) und den Remote Radio Heads (RRHs). Durch die Zentralisierung der RAN-Funktionen werden Funktionen wie Carrier-Aggregation (Spektrum-Aggregation), Coordinated Multi-Point (CoMP) und Handover vereinfacht. Dies führt folglich zu einer verbesserten Leistung für User Equipments (UEs) (Menschen und Maschinen).

BBUs werden physisch in BBU-Hotels/ Pools oder in Cloud RAN (C-RAN)-Hub-Standorten zentralisiert. Auch eine weitergehende Zerlegung in regionale und überregionale Standorte ist angedacht. Diese zentralisierten BBU-Installationen basieren jedoch in der Regel auf proprietärer Hardware von RAN-Anbietern. Da die 5G-Konstruktionsprinzipien auf einen softwaregesteuerten Ansatz ausgerichtet sind, besteht das Ziel darin, diese zentralisierten und disaggregierten Funktionen zu virtualisieren und sie auf Commercial Off-The-Shelf (COTS)-Serverplattformen mit Standard-Betriebssystemen auszuführen, wie man sie auch in klassischen Cloud Rechenzentren findet.

Mobilfunknetzbetreiber, die beabsichtigen, Cloud-/Zentral-RANs einzurichten, werden dies in dichter besiedelten Metrogebieten tun, wo sie am meisten von diesem Ansatz profitieren können. In vorstädtischen oder ländlichen Gebieten mit geringerer Bevölkerungsdichte rechtfertigen die Anzahl der Benutzer und die damit verbundenen Verkehrsanforderungen (low delay, real time) die Investition in diese Art von Architektur möglicherweise nicht. Daher werden D-RANs wahrscheinlich weiterhin in diesen weniger dicht besiedelten geografischen Gebieten eingesetzt werden. In großen Metropolen und deren Umgebung wird es wahrscheinlich Kombinationen von D-RAN- und C-RAN geben, die von gemeinsamen Standorten der Backhaul-Infrastruktur und core locations bedient werden.

Es besteht ein Trade-off zwischen Dezentralisierung und Zentralisierung im Hinblick auf Kosteneinsparungen. Es wird erwartet, dass Mobilfunknetzbetreiber, die sich für den Einsatz von Cloud-/Zentral-RANs entscheiden, auf der einen Seite erhebliche Kosteneinsparungen durch die Virtualisierung der Hardware und die durch die BBU-Hotels/ Pools erzielten Produktionsvorteile erzielen werden. Andererseits müssen sie in die Erweiterungen zwischen RRHs und den Edge/Metro-C-RAN-Hubs (Fronthaul Links)

sowie in die Einrichtung der Multi-Access-Edge-Computing (MEC)-Terminals investieren.

**Eingeschränkte Möglichkeit der Darstellung von Sharing Potentialen im ländlichen Raum**

Um die Einsparungspotentiale in ländlichen Gebieten zu zeigen, wurde im Rahmen des Projektes die Einsparungspotentiale in den unterschiedlichen Gebieten (urban, suburban und rural) nur für 4G betrachtet, da eine deutschlandweite Betrachtung mit 5G modelltechnisch zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 6.1).

Wie sich im Laufe des Projektes herausstellte, sind Beobachtungen aus 4G Szenarien nicht ohne weiteres auf eine 5G Welt übertragbar. Wir haben die 4G Rechnungen mit Blick auf die Einsparungen in unterschiedlichen Geotypen verglichen. Dabei ist aufgefallen, dass die Einsparungspotentiale in ruralen Gebieten nicht höher waren als in urbanen und suburbanen Gebieten. Wenn man davon ausgeht, dass die ländlichen Gebiete nur Coverage getrieben ausgebaut sind, weil die Zellen durch geringe Nachfrage unterausgelastet sind, hätten wir ein anderes Ergebnis erwartet. Wie die Ergebnisse (siehe unten) zeigen, befindet sich der Coverage-Ausbau bei der in der Modellierung unterstellten Verkehrsnachfrage am oberen Rande der Kapazität des Coverage getriebenen Ausbaus, am Übergang zum kapazitätsgetriebenen Ausbau bei 4G. Sharing hat dann keinen großen Effekt, weil durch die doppelte Nachfrage (von zwei Betreibern) weitere Basisstationen notwendig werden und nicht vorwiegend vorhandene Kapazitäten besser ausgelastet werden können. Wir haben in den Annahmen den ruralen Bereich anders behandelt als die beiden anderen Gebiete, weil wir davon ausgingen, dass bei 4G in ländlichen Gebieten ähnlich wie in den Modellergebnissen aus der Schweiz 2016 bei Sharing kein kapazitätsgetriebener 4G Ausbau stattfinden muss. Demzufolge wurde in der Modellierung kein MIMO eingesetzt und damit die Kapazitätsoptionen im Vergleich zum Ausbau in den dichter besiedelten Gebieten verringert. Da 5G kapazitativ viel effizienter als 4G ist, wäre in den ländlichen Bereichen davon auszugehen, dass die Sharing Effekte deutlich höher ausfallen würden. Wie eine knappe Prüfung ergab, sind die Sharing Effekte selbst bei 4G mit MIMO in ländlichen Gebieten deutlich höher als ohne den Einsatz von MIMO in diesen Gebieten (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Anzahl und Einsparung von Basisstationen mit 4G MIMO in urbanen und suburbanen Gebieten, kein MIMO in ruralen Gebieten

Fall	Marktanteil	Anzahl der Standorte in urbanen Gebieten	Anzahl der Standorte in suburbanen Gebieten	Anzahl der Standorte in ruralen Gebieten	Einsparungen in urbanen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)	Einsparungen in suburbanen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)	Einsparungen in ruralen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)
1	33%	5.564	10.076	12.072			
1	66%	9.021	16.955	20.479	18,93	15,86	15,18
2	33%	4.347	7.491	8.938			
2	66%	6.373	11.797	14.177	26,7	21,26	20,69

Quelle: WIK

Tabelle 18: Anzahl und Einsparung von Basisstationen mit 4G MIMO in urbanen, suburbanen und ruralen Gebieten

Fall	Marktanteil	Anzahl der Standorte in urbanen Gebieten	Anzahl der Standorte in suburbanen Gebieten	Anzahl der Standorte in ruralen Gebieten	Einsparungen in urbanen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)	Einsparungen in suburbanen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)	Einsparungen in ruralen Gebieten (in % im Vgl. zum Referenzbetreiber)
1	33%	5.564	10.076	9.087			
1	66%	9.021	16.955	14.524	18,93	15,86	20,08
2	33%	4.347	7.491	7.029			
2	66%	6.373	11.797	10.453	26,7	21,26	25,64

Quelle: WIK

### Erweiterung des 5G Szenarios auf das gesamte Bundesgebiet in Deutschland

Im Rahmen dieser Arbeit werden in dem reinen 5G Szenario ausschließlich urbane und suburbane Gebiete betrachtet. Dies liegt zum einen daran, dass dies den aktuellen Erwartungen zum Roll-out der Technologie entspricht. Zum anderen ging es darum, die Effekte des Sharings vor dem Hintergrund der politischen Diskussion zu spiegeln, die größtenteils voraussetzt, dass hohe zusätzliche Kosten durch ein 5G-Rollout über die kleinen Funkzellen mit 3,6 GHz entstehen werden, und insbesondere, wenn dieser in den dünn besiedelten Bereichen erfolgen würde.

Obwohl die schnellsten 5G-Datenraten von Mittel- und Hoch-Band Frequenzen abhängen (z.B. 3,6 GHz, 27 GHz), werden niedrige Frequenzen (700, 800 und 900 MHz) für großflächige (wide area) 5G-Implementierungen wegen ihrer signifikant besseren Ausbreitungseigenschaften bevorzugt. Anwendungen mit geringer Latenzzeit wie IoT-Anwendungen, V2X-Kommunikation, automatisiertes Fahren und intelligente Sensoren werden von der Einführung von Niederbandfrequenzen in 5G profitieren. Um eine vollständige 5G-Einführung in Deutschland im WIK Mobilfunkmodell nachzubilden, wären Erweiterungen des Netzplanungstools notwendig. Diese Erweiterungen sollten Folgendes umfassen:

- Die Verfügbarkeit der Nutzung von Niederbandfrequenzen für 5G (z.B. 700 MHz) deutschlandweit (in allen Geographischen Gebieten)
- Die Ausdehnung von 3,6 GHz in ländlichen Gebieten
- Die Einrichtung von 5GC zur Unterstützung von 5G-NSA-Einsätzen und Anwendungsfällen
- Die Erweiterung der Transportsysteme, um die Anforderungen an 5G-Hochkapazitätsdienste zu erfüllen und
- Die Integration von Lösungen, die kombinierte D-RAN- und C-RAN-Architekturen umfassen (siehe 6.6)

### **Anpassung der Investitionswerte und Kosten für Folgeprojekte**

Mit Blick auf die Bestimmung der Investitionen und daraus resultierenden Kosten könnte folgende Punkte in weiteren Untersuchungen erörtert werden, um die Möglichkeiten in der Praxis noch realitätsnäher widerzuspiegeln:

- Berücksichtigung von Effizienzgewinnen durch C-RAN
- Berücksichtigung von Mengenrabatten bei der Beschaffung oder sonstigen Verbundvorteilen, die sich durch die Kooperation ergeben (abgesehen von der höheren Auslastung der Kapazitäten)
- Analysen zu M2M-Anwendungen (geografische Verkehrsverteilung etc.), um den Verkehr im Netz realitätsnah zu modellieren
- Genauere Analysen zu Kostensteigerungen durch einen erhöhten Signalling- und Sicherheitsaufwand, der bei der gemeinsamen Antennennutzung durch Sharing entsteht<sup>172</sup>
- Ggf. Befassung mit und Einbezug von Kooperationskosten von Betreibern (bspw. im Rahmen eines Joint Ventures)
- Ggf. Befassung mit und Einbezug von Stilllegungskosten, die in einem gemeinsamen Netz entstehen könnten<sup>173</sup>

---

<sup>172</sup> In den Rechnungen dieser Arbeit wurden hilfsweise erhöhte Controller-Kosten anstelle der Modellierung von zwei einzelnen Einheiten vorgenommen.

<sup>173</sup> Im Rahmen dieser Analyse wurde ein Greenfield-Ansatz angenommen.

## 7 Fazit

In den folgenden Absätzen werden die Ergebnisse der untersuchten Punkte zusammengefasst und die eingangsgestellten Fragen (vgl. Abschnitt 1.2 und 1.3) summarisch beantwortet:

### **Ausgangslage im Deutschen Mobilfunkmarkt**

Die Betrachtung des deutschen Mobilfunkmarktes (vgl. Kapitel 2 und Abschnitt 5.2.3) hat gezeigt, dass passive Sharing Vereinbarungen zum Standard gehören. Darüber hinaus ist der deutsche Mobilfunkmarkt durch Wettbewerb gekennzeichnet, bei dem Netzqualität und –abdeckung eine hohe Relevanz als Differenzierungsmerkmale zukommen. Dies ist Grund dafür, dass (lokal) vor allem die DTAG und Vodafone nur sehr begrenzt Interesse an aktiven Sharing Vereinbarungen zeigen. Die langanhaltenden Verhandlungen zum Roaming zwischen Drillisch und den drei anderen Marktteilnehmer zeigen, dass ein Einstieg über Roaming in den deutschen Mobilfunkmarkt nicht einfach ist. Der Erwerb von eigenen Mobilfunknutzungsrechten für 5G Frequenzen liegt über ein Jahr zurück und bislang wurden die Frequenzen noch nicht zum Einsatz gebracht.

### **Arten von Network Sharing**

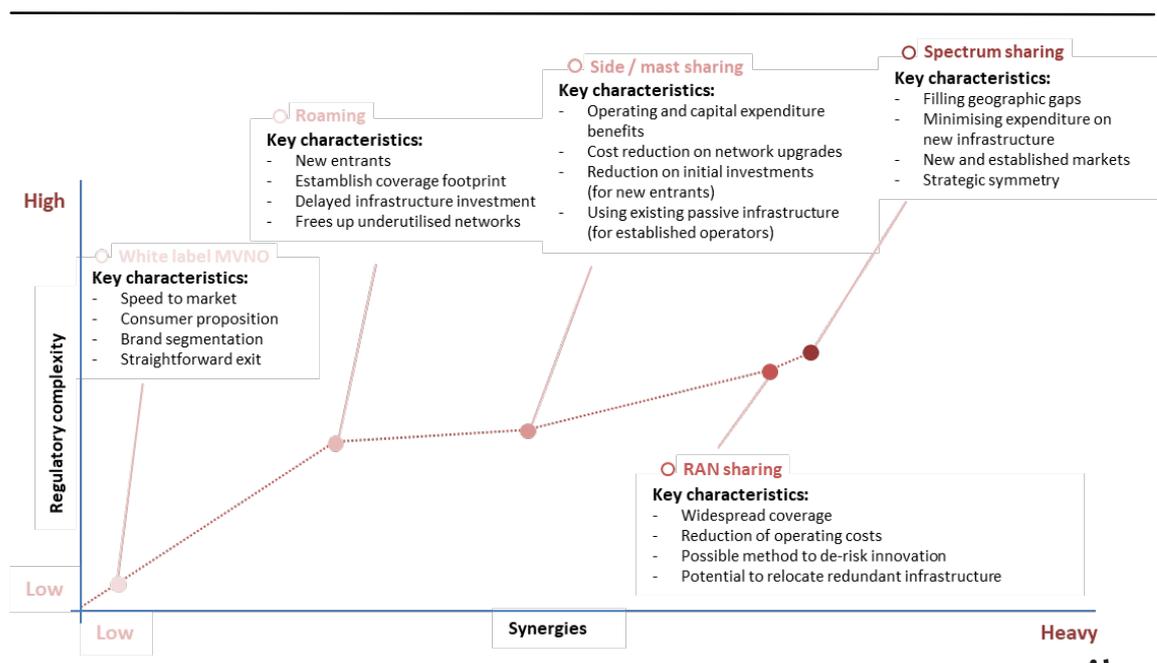
Es gibt verschiedene Möglichkeiten von Infrastructure Sharing (siehe Kapitel 3). Diese unterscheiden sich nicht nur auf Ebene der betroffenen Netzelemente, sondern damit gehen auch unterschiedliche Ausprägung an gegenseitiger Abhängigkeit einher, wobei aktives Sharing im Vergleich zu passiven RAN-Sharing mehr Abstimmungsbedarf und Absprachen benötigt und somit aus wettbewerblicher Sicht ein größeres Risiko darstellt.

### **Regulatorischer Umgang mit Network Sharing und aktuelle Fälle in Deutschland**

Es ist insofern nicht verwunderlich, dass der regulatorische Umgang mit passivem Sharing unproblematisch ist, während aktive Sharing Vereinbarungen einer Einzelfallprüfung unterzogen werden (vgl. Kapitel 4). Neben diversen regulatorischen Bedenken (vgl. Abschnitt 5.1), die gegenüber aktiven RAN-Sharing Vereinbarungen und Frequenz Sharing bestehen, sind ein potentieller Verlust wettbewerblicher Unabhängigkeit (mit diversen Folgen) sowie die Gefahr langfristig weniger redundanter Infrastrukturen zwei der regulatorischen Hauptbedenken. Roaming als Erweiterung des RAN-Sharings umfasst einen größeren Teil der Infrastruktur (nämlich neben dem RAN auch das Backhaul und Kernnetz) und bietet dennoch ein geringeres wettbewerbliches Risiko aufgrund der geringeren Komplexität durch standardisierte und eher summarische als detaillierte Verträge. Im Gegensatz zum RAN-Sharing sind weniger Absprachen und Einigungen zwischen den Akteuren nötig. Außerdem finden Roaming-Vereinbarungen oft nicht gegenseitig statt (wie bspw. im Fall der grauen Flecken von Vodafone und DTAG, vgl. Abschnitt 5.2.3) sondern bieten vor allem Markteinsteigern die Möglichkeit Fuß zu fassen (vgl. Fall Drillisch im Abschnitt 5.2.3). Dennoch sei darauf verwiesen, dass Roaming Vereinbarungen insbesondere, wenn sie ex ante in einem Greenfield-Ansatz gegenseitig vereinbart würde, ein wettbewerbliches Risiko darstellen können. Im Rah-

men der TKG Novelle 2020 (siehe Abschnitt 4.1) als auch ggf. auf Basis aktuelle anstehender Entscheidungen (vgl. Fall Drillisch im Abschnitt 5.2.3) könnten insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten der BNetzA mit Blick auf Roaming verändert bzw. verschärft werden, sofern es wirtschaftspolitisch gewollt ist, die Zahl der Wettbewerber im deutschen Mobilfunkmarkt zu erhöhen.

Abbildung 32: Übersicht zu verschiedenen Sharing Varianten und den damit einhergehenden Synergien bzw. der regulatorischen Komplexität



Quelle: (CMS, 2016)

### Network Sharing in UK und Schweden und Einflussfaktoren

Ein Blick nach UK und Schweden zeigt, dass es Länder gibt, in denen auch aktive Sharing-Vereinbarungen seit Jahren gelebte Praxis sind. In den beiden betrachteten Ländern herrscht dennoch intensiver Wettbewerb im Mobilfunkmarkt. Um die Relevanz möglicher, in der Studie identifizierter Einflussfaktoren zu prüfen, die (aktive) Sharing Vereinbarungen begünstigen könnten, wären weitere Untersuchungen notwendig. Mögliche Einflussfaktoren könnten bspw. die Besiedlungsdichte des Landes<sup>174</sup>, die Gesamtmarktnachfrage nach Mobilfunkdiensten im Land oder Lock-in Effekte durch bereits bestehende Kooperationsvereinbarungen sein.

### Regulatorischer Spielraum durch SDN/NFV

Software Defined Networking (SDN) und Network Function Virtualisation (NFV) als neue Verfahren zur Steuerung und Kontrolle von TK-Netzen bieten großes Potential für

<sup>174</sup> Vgl. auch (Sörries, Franken, Baischew, & Lucidi, erscheint voraussichtlich 2020).

erhöhten regulatorischen Spielraum zum Umgang mit aktiven Sharing-Vereinbarungen. Durch erhöhte Differenzierungsmöglichkeiten bei der Nutzung ein und derselben Infrastruktur (Siehe 5.5) könnten sich wettbewerbliche Bedenken reduzieren. Das Thema steht allerdings am Anfang. Neu in den Markt eintretende Akteure (vgl. Abbildung 14) könnten zu Gate Keepern werden und an anderer Stelle zu regulatorischen Herausforderungen führen.

### **Berechnete Einsparungspotentiale beim RAN-Sharing und Roaming**

Der große Vorteil von Network Sharing ist das Erzielen von Kosteneinsparungen. Wie unserer Berechnungen (vgl. Kapitel 6) zeigen, können je nach Technologie (4G/5G) bei zwei Sharing Partnern in einem Greenfield-Ansatz beim RAN-Sharing Kosten in einer Größenordnung von ca. 16 - 22 Prozent eingespart werden. Beim Roaming liegt das Einsparungspotential um etwa 3 Prozentpunkte höher und beträgt 19 – 25 Prozent. Wenn drei Betreiber sich ein Netz teilen, sind die Einsparungen entsprechend höher (33 Prozent beim Roaming). Die in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen enthalten allerdings keine Kooperationskosten oder Kosten für den Rückbau von Standorte, wie sie in einem Brownfield-Ansatz entstehen könnten.<sup>175</sup>

### **Zur besonderen Relevanz von Sharing bei 5G**

Da unterausgelastete Kapazitäten gemeinsam besser ausgelastet werden können, bringt Sharing vor allem in der Einführungsphase einer Technologie (bei geringer Nachfrage) hohe Einsparungen. Dies ist aktuell bei 5G der Fall. Der Effekt hält länger an, weil 5G im Vergleich zu 4G die deutlich effizientere Technologie mit einer zehnfach erhöhten Kapazität ist. Dementsprechend ist 5G bei der aktuellen Nachfrage kapazitativ noch nicht ausgelastet. Generell gilt, dass durch die Einführung neuer Kapazitäten in einer Funkübertragungstechnik Sharing durch die Kosteneinsparungspotentiale Relevanz erlangt. Des Weiteren ist Sharing generell in einer Greenfield-Situation<sup>176</sup> besonders interessant, da Standorte optimal verteilt und hohe initiale Einführungskosten somit geteilt werden können. Ob die erzielbaren Vorteile beim Übergang von 4G zu 5G deutlich größer sind als von 3G zu 4G oder ob die Relevanz von Sharing vielmehr generell an die Einführung einer neuen, effizienteren Technologie gekoppelt ist, hängt auch von den eingesetzten Frequenzen, der daraus resultierenden Anzahl notwendiger Standorte und den damit verbundenen Kosten ab.

---

<sup>175</sup> Diese Ergebnisse liegen in einem ähnlichen Bereich wie die in einer Studie von BEREC ermittelten Werte und bestätigen diese somit, vgl. (BEREC, 2018, S. 16).

<sup>176</sup> In der Praxis besteht eine Greenfield-Situation dort, wo 5G auf neuen Standorten ausgebaut wird. Für 4G konnte das bspw. in der „Allianz gegen weiße Flecken“, vgl. S. 42.

## 8 Literaturverzeichnis

- 1&1. (2019). *Mobilfunker wollen weiße Flecken gemeinsam angehen - 1&1 Drillisch-Aktie und Telefonica Deutschland-Aktie höher.*  
<https://www.finanzen.net/nachricht/aktien/kooperation-mobilfunker-wollen-weiße-flecken-gemeinsam-angehen-1-1-drillisch-aktie-und-telefonica-deutschland-aktie-hoher-8206228> .
- 3G4G. (2019). *Beginners: Open RAN, White Box RAN & vRAN.*  
<https://www.youtube.com/watch?v=3Gpv4KM-4KU>.
- Accenture. (2019). *Openran: The Next Generation Of Radio Access Networks.*  
[https://cdn.brandfolder.io/D8D115S7/as/qcr9sa-6ckfrk-j253y/OpenRAN-The\\_Next\\_Generation\\_of\\_Radio\\_Access\\_Networks\\_-\\_Report.pdf](https://cdn.brandfolder.io/D8D115S7/as/qcr9sa-6ckfrk-j253y/OpenRAN-The_Next_Generation_of_Radio_Access_Networks_-_Report.pdf).
- Andersson, B. (2014). *Market - Technology - Policy.*  
[https://static.pmg.org.za/140905pts\\_spectrum.pdf](https://static.pmg.org.za/140905pts_spectrum.pdf).
- Arqiva. (2015). *Arqiva submission to Ofcom's Strategic Review of Digital Communications .*  
[https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0016/47050/arqiva.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0016/47050/arqiva.pdf).
- Bæk, M. (2018). *Balancing infrastructure sharing – The Danish experience.*  
<https://www.itu.int/en/myitu/News/2020/05/26/10/50/Balancing-infrastructure-sharing--The-Danish-experience>.
- Baldock, H. (05. 03 2020). *Nokia, Telenor and Telia test multi-operator core network.* Von <https://www.totaltele.com/505129/Nokia-Telenor-and-Telia-test-multi-operator-core-network> abgerufen
- Becker, B. (2020). *Keine Erklärung unter dieser Nummer.*  
<https://www.wiwo.de/politik/deutschland/mobilfunkbehoerde-keine-erklaerung-unter-dieser-nummer/26087742.html>.
- BEREC . (2018a). *BEREC Report on Infrastructure Sharing Präsentation des BEREC Berichts.*  
[https://www.rtr.at/de/inf/RegDialog19062018/BEREC\\_Report\\_on\\_Infrastructure\\_Sharing.pdf](https://www.rtr.at/de/inf/RegDialog19062018/BEREC_Report_on_Infrastructure_Sharing.pdf).
- BEREC. (2018). *BEREC Report on infrastructure sharing .*
- Bichler, M., & Goeree, J. (2017). *Spectrum Auction Design .*
- BMVI. (2019 ). *Mitnutzungspotentiale kommunaler Trägerinfrastrukturen für den Ausbau der nächsten Mobilfunkgeneration 5G.*  
<https://www.bznb.de/fileadmin/dokumente/mitnutzungspotentiale-kommunale-traegerinfrastrukturen-ausbau-5g.pdf>.
- BMVI. (2019). *Mobilfunkstrategie der Bundesregierung.*  
[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile).
- BMVI. (2020). *Eckpunkte für die Mobilfunkförderung.*  
[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/eckpunkte-mobilfunkfoerderung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/eckpunkte-mobilfunkfoerderung.pdf?__blob=publicationFile).

- BMVI. (2020). *Erklärung zum Zweiten Mobilfunkgipfel*. [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/gipfelerklaerung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/gipfelerklaerung.pdf?__blob=publicationFile).
- BMVI. (2020b). *Öffentliche Konsultation zum zukünftigen Förderprogramm "Mobilfunkförderung"*. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/foerderprogramm-mobilfunkfoerderung.html>.
- BMVI. (2020c). *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Förderrichtlinie „Mobilfunkförderung“*. [file:///N:/Pro\\_2020/2036%20FP%205G%20Infrastructure%20Sharing/Material/Unbenannt.pdf](file:///N:/Pro_2020/2036%20FP%205G%20Infrastructure%20Sharing/Material/Unbenannt.pdf).
- BMWi; BMVI. (2019). *Eckpunkte zur TKG-Novelle 2019*. [https://www.bfw-bund.de/wp-content/uploads/2019/03/190228\\_Eckpunkte\\_TKG\\_Novelle-1.pdf](https://www.bfw-bund.de/wp-content/uploads/2019/03/190228_Eckpunkte_TKG_Novelle-1.pdf).
- Briegleb, V. (2020). *LTE: Kartellamt prüft Network Sharing von Telekom und Vodafone*. [https://www.heise.de/news/LTE-Kartellamt-prueft-Network-Sharing-von-Telekom-und-Vodafone-4889676.html?wt\\_mc=nl.red.ho.ho-nl-daily.2020-09-10.link.link](https://www.heise.de/news/LTE-Kartellamt-prueft-Network-Sharing-von-Telekom-und-Vodafone-4889676.html?wt_mc=nl.red.ho.ho-nl-daily.2020-09-10.link.link).
- Brown, G. (2020). *TIP OpenRAN: Toward Disaggregated Mobile Networking*. [https://cdn.brandfolder.io/D8D115S7/as/qc19tk-54bsw-305pae/TIP\\_OpenRAN\\_Heavy\\_Reading\\_May\\_2020\\_White\\_Paper.pdf](https://cdn.brandfolder.io/D8D115S7/as/qc19tk-54bsw-305pae/TIP_OpenRAN_Heavy_Reading_May_2020_White_Paper.pdf).
- Buist, C. (2016). *Mobile Network Infrastructure Sharing, Industry Overview & Coleago's Approach*. <https://www.slideshare.net/StefanZehle/coleago-network-sharing-overview-v011-100215-cb>.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2019a). *Grenzwerte beim Mobilfunk*. <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/schutz/grenzwerte.html>.
- Bundesnetzagentur. (2020). *Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk*. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunknehmer.html?nn=268208](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunknehmer.html?nn=268208).
- Bundesnetzagentur. (2010). *Gemeinsame Nutzung von Funknetzinfrastrukturen und Frequenzressourcen*. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Entscheidungen/InfrastructureSharing.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Entscheidungen/InfrastructureSharing.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Bundesnetzagentur. (2018). *Begleitpapier für die 123. Sitzung des Beirats am 26.11.2018*. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/Entscheidungsentwurf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/Entscheidungsentwurf.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- Bundesnetzagentur. (2018). *Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,*. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126\\_Entscheidungen\\_III\\_IV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=1).

- Bundesnetzagentur. (2018). *Jahresbericht* 2018. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/JB2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/JB2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6).
- Bundesnetzagentur. (2018a). *Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen vom 26. November 2018 über die Festlegungen und Regeln im Einzelnen (Vergaberegeln) und über die Festlegungen und Regelungen für die Du.* [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126\\_Entscheidungen\\_III\\_IV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=3).
- Bundesnetzagentur. (2018a). *Entscheidung der Präsidentenkammer vom 14. Mai 2018 über Anordnung und Wahl des Verfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang.* [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20180514\\_Entscheidungen\\_I\\_II.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20180514_Entscheidungen_I_II.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- Bundesnetzagentur. (2018b). *Kernpunkte Frequenzvergaberegeln – Begleitpapier für die 123. Sitzung des Beirats am 26.11.2018*. *empunkte Frequenzvergaberegeln – Begleitpapier für die 123. Sitzung des Beirats am 26.11.2018* .
- Bundesnetzagentur. (2019). *Frequenzauktion* 2019. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html).
- Bundesnetzagentur. (2019). *Tätigkeitsbericht* 2018/2019 . [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Taetigkeitsberichte/2019/TK\\_20182019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Taetigkeitsberichte/2019/TK_20182019.pdf?__blob=publicationFile&v=9).
- Bundesnetzagentur. (2020). *Jahresbericht* 2019 . [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2019.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- Bundesnetzagentur. (2020a). *Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk.* [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer_node.html).
- CDU. (2020). *Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken.* [https://www.cdu.de/system/tdf/media/dokumente/2020\\_06\\_03\\_koalitionsausschuss\\_0.pdf?file=1&type=field\\_collection\\_item&id=20972](https://www.cdu.de/system/tdf/media/dokumente/2020_06_03_koalitionsausschuss_0.pdf?file=1&type=field_collection_item&id=20972).
- Center for Policy Studies. (2020). *Upwardly Mobile How the UK can gain the full benefits of the 5G revolution.* <https://www.cps.org.uk/files/reports/original/201001000814-CPSUPWARDLYMOBILE2.pdf>.
- CMS. (2016). *MS Netzwerk Sharing Studie 2016.* <https://cms.law/de/deu/publication/cms-network-sharing-study-2016>.
- Comms Update. (2020). *Tre Sweden launches 5G in six cities.* <https://www.commsupdate.com/articles/2020/06/15/tre-sweden-launches-5g-in-six-cities/>.

- Delhaes, D. (2020). *CSU will Milliarden für neue Mobilfunk-Behörde – SPD warnt vor „5G-Staatsnetz“*. <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/konjunkturpaket-csu-will-milliarden-fuer-neue-mobilfunk-behoerde-spd-warnt-vor-5g-staatsnetz/25869988.html?ticket=ST-5605396-7jU1OPelOb115VYacV6J-ap5>.
- Department for Digital, Culture, Media & Sport. (2018). *Future Telecoms Infrastructure Review*. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/732496/Future\\_Telecoms\\_Infrastructure\\_Review.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/732496/Future_Telecoms_Infrastructure_Review.pdf).
- Department for Digital, Culture, Media and Sport. (2019). *Statement of Strategic Priorities for telecommunications, the management of radio spectrum, and postal services*. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/842918/SSP\\_-\\_as\\_designated\\_by\\_S\\_of\\_S\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/842918/SSP_-_as_designated_by_S_of_S_.pdf).
- DPA, & Kuch, A. (2020). *1&1-Drillisch: o2 bekommt nicht mehr Geld für Netz-Nutzung*. <https://www.teltarif.de/1und1-drillisch-telefonica-forderung-schiedsgutachter/news/82203.html>.
- dpa-AFX. (2020). *1&1 Drillisch ruft Bundesnetzagentur an wegen 'National Roaming'*. <https://www.wallstreet-online.de/nachricht/12952189-1-1-drillisch-ruft-bundesnetzagentur-national-roaming/all>.
- DRC. (15. 01 2018). *End of Project Beacon Signals Future-Proof Network for Vodafone Customers!* Von <https://www.drc.ltd/end-project-beacon-signals-future-proof-network-vodafone-customers/> abgerufen
- DStGB. (2018). *Gemeinsame Erklärung zum Mobilfunkgipfel*. <https://www.dstgb.de/dstgb/Homepage/Schwerpunkte/Mobilfunk/Mobilfunkgipfel%202018/Gemeinsame%20Erkl%C3%A4rung%20Mobilfunkgipfel%202018.pdf>.
- dts Nachrichtenagentur . (2020). *Mobilfunkanbieter und Ministerium uneins über Fördermethoden*. <https://www.oldenburger-onlinezeitung.de/nachrichten/mobilfunkanbieter-und-ministerium-uneins-ueber-foerdermethoden-38971.html>.
- Eidgenössische Kommunikationskommission ComCom. (2019). *Tätigkeitsbericht 2018*. [https://www.comcom.admin.ch/dam/comcom/de/dokumente/jahresbericht/ComCom%20JB%202018\\_DE\\_V4-2.pdf.download.pdf/ComCom%20JB%202018\\_DE\\_V4-2.pdf](https://www.comcom.admin.ch/dam/comcom/de/dokumente/jahresbericht/ComCom%20JB%202018_DE_V4-2.pdf.download.pdf/ComCom%20JB%202018_DE_V4-2.pdf) .
- Eltges, F., Kulenkampff, G., Plückebaum, T., & Sabeva, D. (2020). *SDN/NFV und ihre Auswirkungen auf die Kosten von Mobilfunk und Festnetz im regulatorischen Kontext*. [https://www.wik.org/uploads/media/WIK\\_Diskussionsbeitrag\\_Nr\\_461.pdf](https://www.wik.org/uploads/media/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_461.pdf).
- Engineering & Technology. (24. 07 2019). *Vodafone and O2 agree to share 5G infrastructure*. Von <https://eandt.theiet.org/content/articles/2019/07/vodafone-and-o2-agree-to-share-5g-infrastructure/> abgerufen
- EU Parlament, EU Rat . (2018). *Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L1972>.
- EU Rat. (2019). *Commission Staff Working Document Digital Economy and Society Index 2019*.
- EU-Kommission. (2018). *Digital Scoreboard*.

- European 5G Observatory. (2020). *Sweden announces multi-band 5G auction in November 2020*. <https://5gobservatory.eu/sweden-announces-multi-band-5g-auction-in-november-2020/>.
- finanzen.net. (2020). *1&1 Drillisch vs. Telekom und Vodafone: Nach 5G-Versteigerung noch immer keine Einigung über Roaming in Sicht*. <https://www.finanzen.net/nachricht/aktien/streit-geht-weiter-1-1-drillisch-vs-telekom-und-vodafone-nach-5g-versteigerung-noch-immer-keine-einigung-ueber-roaming-in-sicht-8947185>.
- Focus. (2020). *O2 startet 5G-Netz ab Oktober - und ist Monate später dran als die Konkurrenz*. [https://www.focus.de/digital/internet/netzausbau-o2-startet-5g-netz-ab-oktober-und-ist-monate-spaeter-dran-als-die-konkurrenz\\_id\\_12469851.html](https://www.focus.de/digital/internet/netzausbau-o2-startet-5g-netz-ab-oktober-und-ist-monate-spaeter-dran-als-die-konkurrenz_id_12469851.html).
- Gajek, H. (2019). *1&1-Drillisch plant 5G-Netzstart für 2021*. <https://www.teltarif.de/1und1-drillisch-netzausbau-4g-5g-roaming-lte-vodafone-o2/news/77636.html>.
- Gajek, H. (2020). *Spätstarter beim 5G-Ausbau: Die große Aufholjagd von o2*. <https://www.teltarif.de/5g-netzaufbau-o2/news/82075.html>.
- Godlovitch, I., Lucidi, S., & Sörries, B. (2019). *Competition and investment in the Danish mobile market*. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Tele/final\\_mobile\\_report\\_denmark\\_clean\\_non-confidential.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Tele/final_mobile_report_denmark_clean_non-confidential.pdf).
- Godlovitch, I., Wernick, C., Sörries, B., Strube Martins, S., Knips, J., Wissner, M., et al. (2019). *Analysis of the Danish Telecommunication Market in 2030*. <https://www.wik.org/veroeffentlichungen/studien/weitere-seiten/danish-broadband-market>.
- Government UK. (09. 03 2020). *Shared Rural Network*. Von <https://www.gov.uk/government/news/shared-rural-network> abgerufen
- GSMA. (2019). *Mobile Infrastructure Sharing*. <https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/09/Mobile-Infrastructure-sharing.pdf>.
- GSMA. (2019a). *The WRC series 3 GHz in the 5G era*. <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/10/3-GHz-in-the-5G-era.pdf>.
- Gutt, E. (oJ). *5G-Sender Reichweite mit verschiedenen Frequenzen*. <https://itemobile.de/5g-sendereichweiten-mit-unterschiedlichen-frequenzen/>.
- Hall, K. (2019). *OpenRAN fan Vodafone trials white box radio tech in UK*. [https://www.theregister.com/2019/10/07/vodafone\\_trials\\_new\\_network\\_tech\\_in\\_uk/](https://www.theregister.com/2019/10/07/vodafone_trials_new_network_tech_in_uk/).
- Handelsblatt. (2020). *O2 startet sein 5G-Netz – Vodafone und Telekom deutlich weiter*. <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/5g-technologie-o2-startet-sein-5g-netz-vodafone-und-telekom-deutlich-weiter/26241692.html?ticket=ST-15527106-ScuJb2bMjTtGoizIXIR7-ap5>.
- Handelsblatt. (2020a). *Vodafone erhöht 5G-Ausbauziel für 2020 um 50 Prozent*. <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/telekommunikation-vodafone-erhoeht-5g-ausbauziel-fuer-2020-um-50-prozent/26615836.html>.
- Jackman, A., & King, N. (2020). *GOING FOR GROWTH*. <https://www.cps.org.uk/files/reports/original/201001000814-CPSUPWARDLYMOBILE2.pdf>.

- Kahle, C. (2020). *Telekom und Vodafone: Nationales LTE-Roaming auf dem Land kommt*. <https://winfuture.de/news,114061.html>.
- Karcher, H. (2019a). *5G-Standorte: Wer soll die vielen Antennen installieren?* <https://www.computerweekly.com/de/feature/5G-Standorte-Wer-soll-die-vielen-Antennen-installieren>.
- Karcher, H., & Donner, A. (2019). *Was leistet 5G auf welchen Frequenzen?* <https://www.bigdata-insider.de/amp/wlan-oder-5g-so-sehen-es-die-mobilfunker-a-846888/>.
- Krzossa, T. (2020). *Ein Jahr nach der Auktion: 5G wächst*. <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/ein-jahr-nach-der-auktion-5g-waechst/>.
- Krzossa, T. (2020). *Schnellerer Ausbau: Stadt Köln, Stadtwerke und Vodafone beschleunigen 5G-Ausbau*. <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/schnellerer-ausbau-stadt-koeln-stadtwerke-und-vodafone-beschleunigen-5g-ausbau/>.
- Krzossa, T. (2020). *Weiter ins Land und tiefer in die Häuser: Neue Technik für mehr 5G*. <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/vodafone-startet-neue-technik-fuer-mehr-5g/>.
- Kuch, A. (2019). *1&1-Drillisch verlängert Netz-Nutzungsvertrag mit o2*. <https://www.teltarif.de/1und1-drillisch-o2-netz-nutzung-2025-mba-mvno/news/79134.html>.
- Lancaster, H. (2020). *Sweden - Telecoms, Mobile and Broadband - Statistics and Analyses*. <https://www.budde.com.au/Research/Sweden-Telecoms-Mobile-and-Broadband-Statistics-and-Analyses>.
- Lennighan, M. (17. 03 2020). *Telia, Telenor to close Denmark 3G network to build 5G soon...ish*. Von <https://www.telecomtv.com/content/5g/telia-telenor-to-close-denmark-3g-network-to-build-5g-soon-ish-38058/> abgerufen
- Lyons, P., & Rayal, F. (2018). *5G mobile is nearly here – but we should share networks to make it affordable*. <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/5g-mobile-is-nearly-here-share-networks-to-make-affordable>.
- Maisack, J. (2018). *„Zusammenarbeit funktioniert freiwillig“*. <https://www.telekom.com/de/konzern/details/zusammenarbeit-funktioniert-freiwillig-interview-woessner-544486>.
- Martin, M. (2017). *Dynamic Networks: SDN and NFV*. <https://vividcomm.com/2017/06/01/dynamic-networks-sdn-and-nfv/>.
- McKinsey. (2018). *Network sharing and 5G: A turning point for lone riders*. <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/network-sharing-and-5g-a-turning-point-for-lone-riders#>.
- Mobile UK. (2018). *Mobile UK (REC0070)*. <http://data.parliament.uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/rural-economy-committee/rural-economy/written/89162.html>.
- Mobile UK. (2019). *Consultation on proposed reforms to permitted development rights to support the deployment of 5G and extend mobile coverage Response from Mobile UK* . <https://uploads->

ssl.webflow.com/5b7ab54b285deca6a63ee27b/5dc055e5100310df4753c748\_Mobile%20UK%20Response%20DCMS%20Reforms%20to%20PDR\_041119\_public.pdf.

- Mölleryd, B. (2019). *Network sharing –from 3G to 5G with a Swedish view*. [https://www.wik.org/fileadmin/Konferenzbeitraege/2019/Gigabit\\_society/Molleryd\\_Networks\\_sharing\\_from\\_3G\\_to\\_5G\\_Molleryd\\_presentation\\_WIK\\_conference\\_15\\_Oct\\_2019\\_20191009.pdf](https://www.wik.org/fileadmin/Konferenzbeitraege/2019/Gigabit_society/Molleryd_Networks_sharing_from_3G_to_5G_Molleryd_presentation_WIK_conference_15_Oct_2019_20191009.pdf).
- Monopolkommission . (2019). 11. *Sektorgutachten Telekommunikation* . <https://monopolkommission.de/de/gutachten/sektorgutachten-telekommunikation/316-sektorgutachten-tk-11.html>.
- Nacimiento, G. (2020). *RAN Sharing im Mobilfunk: Aktuelle Rechtslage und K&R*. [https://www.gvw.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/KuR\\_01\\_20\\_Beitrag\\_Nacimiento.pdf](https://www.gvw.com/fileadmin/user_upload/pdf/KuR_01_20_Beitrag_Nacimiento.pdf).
- Nett, L., & Sörries, B. (2019). *Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen*. [https://www.wik.org/uploads/media/WIK\\_Diskussionsbeitrag\\_Nr\\_443.pdf](https://www.wik.org/uploads/media/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_443.pdf).
- Neumann, K.-H., Plückebaum, T., & Strube Martins, S. (2016). *Network Sharing im Mobilfunk und Festnetz-Mobilfunk-Konvergenz in der Schweiz*.
- O2. (24. 07 2019). *O2 and Vodafone finalise 5G network agreement in the UK*. Von <https://news.o2.co.uk/press-release/o2-and-vodafone-finalise-5g-network-agreement-in-the-uk/> abgerufen
- OECD. (2014). *Wireless Market Structures and Network Sharing*. : OECD Digital Economy Papers, No. 243.
- OECD. (2017). *Europe's Digital Progress Report 2017* . [file:///C:/Users/sf/AppData/Local/Packages/MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/EuropesProgressReportpdf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/sf/AppData/Local/Packages/MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/EuropesProgressReportpdf%20(1).pdf).
- OECD. (2018). *OECD Reviews of Digital Transformation: Going Digital in Sweden*. <https://www.oecd.org/sweden/oecd-reviews-of-digital-transformation-going-digital-in-sweden-9789264302259-en.htm>.
- OECD. (2019). *The Operators and their Future The state of play and emerging business models*. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/60c93aa7-en.pdf?expires=1590484305&id=id&accname=guest&checksum=E85B940FD4271471E94DF91B8433CB78>: OECD Digital Economy Papers.
- Ofcom. (2010). *Site Sharing*. <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/site-sharing>.
- Ofcom. (2018). *Award of the 700 MHz and 3.6-3.8 GHz spectrum bands Annexes 5-18 – supporting information*. [https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0021/130737/Annexes-5-18-supporting-information.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0021/130737/Annexes-5-18-supporting-information.pdf).
- Ofcom. (2019). *Right to know request – Environmental Information Regulations Reference: 675221* . [https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0024/140919/mobile-mast-numbers-foi.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0024/140919/mobile-mast-numbers-foi.pdf).

- Ofcom. (2020). *Award of the 700 MHz and 3.6-3.8 GHz spectrum bands*.  
file://10.0.0.35/Netzablage/Pro\_2020/2036%20FP%205G%20Infrastructure%20Sharing/  
Material/UK/statement-award-700mhz-3.6-3.8ghz-spectrum.pdf.
- Ofcom. (18. 03 2020a). *Mobile coverage obligations*. Von  
<https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/cellular-coverage> abgerufen
- Organisation de Coopération et de Développement Économiques. (2015). *DIRECTORATE FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION*.  
[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/ICCP/CIS P\(2014\)2/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/ICCP/CIS P(2014)2/FINAL&docLanguage=En).
- P3 communications GmbH. (2018). *5G National Roaming*.
- Pauler, W., & Mandau, M. (2019). *Bestes Handynetz: O2, Vodafone, Telekom im Test*.  
[https://www.chip.de/artikel/Netzabdeckung-2020-Das-beste-Handynetz-Deutschlands\\_176646611.html](https://www.chip.de/artikel/Netzabdeckung-2020-Das-beste-Handynetz-Deutschlands_176646611.html).
- Pieruschka, M. (2018). *Mobilfunk: Bundesnetzagentur will National Roaming erlauben*.  
<https://www.4g.de/news/mobilfunk-bundesnetzagentur-national-roaming-11220/>.
- Pieruschka, M. (2020). *1&1 Drillisch und 5G: Weiterhin keine Einigung beim National Roaming*.  
<https://www.4g.de/news/11-drillisch-5g-national-roaming-12005/>.
- Post- och telestyrelsen. (2019). *Methodenhang -PTS Mobilfunkabdeckung und Breitbandzuordnung*. <https://www.pts.se/globalassets/startpage/dokument/icke-legala-dokument/rapporter/2019/internet/investeringar-och-forutsattningar-for-bredbandsutbyggnad.pdf>.
- Post-och telestyrelsen. (2019a). *The Swedish Telecommunications Market First half year 2019*.  
[https://statistik.pts.se/media/1484/swedish-telecoms-market-en-1h-2019\\_t.pdf](https://statistik.pts.se/media/1484/swedish-telecoms-market-en-1h-2019_t.pdf).
- PTS. (2014). *PTS Swedish Spectrum Strategy*.  
[https://www.pts.se/contentassets/7d9e389f716a42c59f991f33bcbe0b95/pts-swedish-spectrum-strategy-eng-pts-er-2014\\_16.pdf#%5B%7B%22num%22%3A59%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C11%2C703%2C0%5D](https://www.pts.se/contentassets/7d9e389f716a42c59f991f33bcbe0b95/pts-swedish-spectrum-strategy-eng-pts-er-2014_16.pdf#%5B%7B%22num%22%3A59%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C11%2C703%2C0%5D).
- PTS. (2020). *Appendix A – Licence conditions for 3400–3720 MHz*.  
<https://pts.se/globalassets/startpage/dokument/legala-dokument/beslut/2020/radio/engelska-filer-auktionsinbjudan-35-23/appendix-a---licence-conditions-3.5-ghz.pdf>.
- PTS. (2020). *Appendix B – Licence conditions for 2300–2380 MHz*.  
<https://pts.se/globalassets/startpage/dokument/legala-dokument/beslut/2020/radio/engelska-filer-auktionsinbjudan-35-23/appendix-b---licence-conditions-2.3-ghz.pdf>.
- PTS. (2020). *Decision to limit the number of licences in the 3.5 GHz and 2.3 GHz bands (dnr 18-8496)*. <https://pts.se/en/documents/decisions/radio/2020/decision-to-limit-the-number-of-licences-in-the-3.5-ghz-and-2.3-ghz-bands-dnr-18-8496/>.
- Rügheimer, H. (2019). *Mobilfunk-Netztest 2020: Gesamtfazit*.  
<https://www.connect.de/vergleich/mobilfunk-netztest-2020-bestes-handy-netz-connect-3200117-8569.html>.

- Sawall, A. (2020). *Verhandlungen mit 1&1 Drillisch über Roaming abgebrochen*. <https://www.golem.de/news/telefonica-verhandlungen-mit-1-1-drillisch-ueber-roaming-abgebrochen-2012-152668.html>.
- Sbeglia, C. (2020). *Telenor Sweden sets its sights on October for 5G launch*. <https://www.rcrwireless.com/20200910/5g/telenor-sweden-sets-its-sights-on-october-for-5g-launch>.
- Schäfer, J. (2020a). *LTE-Ausbau: Telefónica droht Zwangsgeld*. <https://www.e-recht24.de/news/wettbewerbsrecht/12248-telefonica-lte-ausbau-strafe.html>.
- Scheuer, S. (2020). *Telekom und Vodafone: Kartellamt prüft Kooperation beim Netzausbau*. <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/mobilfunk-telekom-und-vodafone-kartellamt-prueft-kooperation-beim-netzausbau/26165078.html?ticket=ST-8650100-fqrdwidtjMEa71MYKbcu-ap4>.
- Scheuer, S., & Ivanov, A. (2020a). *Die Chancen und Risiken des neuen Mobilfunkstandards 5G*. <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/5g-netz-die-chancen-und-risiken-des-neuen-mobilfunkstandards-5g/25348376.html?ticket=ST-7498812-LJMg9AWbULalpeMqEiux-ap4>.
- Sörries, B., Franken, M., Baischew, D., & Lucidi, S. (erscheint voraussichtlich 2020). *Einfluss von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung in der EU*. Bad Honnef.
- Statistisches Bundesamt. (2020). *2019 voraussichtlich geringstes Bevölkerungswachstum seit 2012*. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/01/PD20\\_022\\_12411.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/01/PD20_022_12411.html).
- Tele2. (2016). *Tele2 and Telenor to build a common 5G network*. <https://www.tele2.com/media/press-releases/2016/tele2-and-telenor-to-build-a-common-5g-network>.
- TELE2. (2018). *Tele2 and Telenor secure new frequencies and consolidate joint plan for 5G network in Sweden*. <https://www.tele2.com/media/press-releases/2018/tele2-and-telenor-secure-new-frequencies-and-consolidate-joint-plan-for-5g-network-in-sweden>.
- The Telegraph. (24. 07 2019). *O2 and Vodafone ready sale of Cornerstone mast joint venture*. Von <https://www.telegraph.co.uk/business/2019/07/24/o2-vodafone-ready-sale-cornerstone-mast-joint-venture/> abgerufen
- TowerXChange. (2019). *Cellnex acquire Arqiva's telecoms division for £2bn*. <https://www.towerxchange.com/cellnex-acquire-arqivas-telecoms-division-for-2bn/>.
- Trumpf, S. (25. 05 2020). *Erstes öffentliches 5G-Netz in Schweden gestartet*. Von <https://www.industry-of-things.de/erstes-oeffentliches-5g-netz-in-schweden-gestartet-a-934517/> abgerufen
- UK Parliament. (2018). *Mobile UK (REC0070)*. <http://data.parliament.uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/rural-economy-committee/rural-economy/written/89162.html>.
- VATM. (2019). *21. TK-Marktanalyse Deutschland 2019*. [https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2019/10/VATM\\_TK-Marktstudie\\_2019\\_091019.pdf](https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2019/10/VATM_TK-Marktstudie_2019_091019.pdf).
- VATM. (2020). *22. TK-Marktanalyse*. <https://www.4g.de/news/mobilfunk-bundesnetzagentur-national-roaming-11220/>.

- Vodafone. (2020). *Bye, bye 3G – Vodafone setzt künftig noch mehr auf LTE und 5G*. <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/bye-bye-3g-vodafone-setzt-kuenftig-noch-mehr-auf-lte-und-5g/>.
- Vodafone Group. (2019). *An Industrial 5G Spectrum Policy for Europe*. <https://www.vodafone.com/content/dam/vodacom/files/public-policy/5g-report/an-industrial-5g-spectrum-policy-for-europe.pdf>.
- Vodafone, Telefónica. (2018). *Paving the Way for the Future of Mobile Access*. <https://telecominfraproject.com/events/tip-summit-2018/>: TIP Summit '18.
- Waring, J. (2018). *Korea operators to build shared 5G infrastructure*. <https://www.mobileworldlive.com/asia/asia-news/korea-operators-to-build-shared-5g-infrastructure>.
- Weider, M. (2020a). *Telefónica verlegt sein 5G-Kernnetz in die Cloud*. <https://www.teltarif.de/telefonica-o2-5g-kernnetz-cloud/news/81790.html>.
- Weidner, M. (2020). *Telefónica: 5G-Netz steht "unmittelbar in den Startlöchern"*. <https://www.teltarif.de/telefonica-o2-5g-lte-netzausbau/news/81857.html>.
- Weidner, M. (2020b). *Telefónica: 98 Prozent der Haushalte mit LTE versorgt*. <https://www.teltarif.de/o2-netzausbau-lte-5g/news/82815.html>.
- Weidner, M. (2020c). *Telekom vermeldet 98,4 Prozent LTE-Abdeckung*. <https://www.teltarif.de/telekom-lte-5g-netzausbau/news/81862.html>.
- Weidner, M. (2020d). *connect-Netztest: Telekom holt zehnten Sieg in Folge*. <https://www.teltarif.de/connect-netztest-2021/news/82736.html>.
- Weidner, Markus; Bekker, Christian. (2020a). <https://www.teltarif.de/netztest-lte-5g-mobiles-internet/news/81681.html?page=2>. <https://www.teltarif.de/netztest-lte-5g-mobiles-internet/news/81681.html?page=2>.
- Zeit Online. (2018). *Woran es beim nationalen Roaming hakt*. <https://www.zeit.de/news/2020-06/06/woran-es-beim-nationalen-roaming-hakt>.
- Zeit.de. (2018a). *Kanzleramtschef hält 5G für "unfassbar teuer"*. <https://www.zeit.de/digital/internet/2018-09/5g-netz-ausbau-mobilfunkstandard-helgebraun>.

## 9 Anhang

Tabelle 19 bietet einen detaillierten Überblick zu den Inputs und Ergebnissen der durchgeführten Berechnungen im Kapitel 6.

Tabelle 19: Überblick zu den Inputs und Ergebnissen der eigenen Berechnungen im Kapitel 6

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	T	U	V	W	X	Y	Z	AA																
	Fall	Kurzerläuterung	Technologie	Jahr	Geografische Zone	verwendete Frequenzen	Gesamte Nachfrage in Mio. GB pro Jahr	4G Nachfrage in Mio. GB pro Jahr	5G Nachfrage in Mio. GB pro Jahr	Gesamte Anzahl SIM Karten in Mio.	davon M2M-SIM Karten in Mio.	Verteilung der Nachfrage auf Technologien	Verteilung der Nachfrage auf Zellarten (Kapazitäts- oder Abdeckungs-zellen)	Marktanteil (66 % bedeutet 2 Betreiber machen RAN Sharing, 33 % ist das Referenz-szenario) in Mio. Euro	Gesamte Anzahl an Basis-stationen	Einsparungen in Anzahl an Basis-stationen (in %)	Ergebnis <b>gesamtes</b> RAN-Sharing (33% = Referenz-szenario) in Mio. Euro	Ergebnis <b>passives</b> RAN-Sharing, in Mio. Euro	Kosteneinsparung in % durch Sharing des <b>gesamten RAN</b> (aktive und passive Anteile)	Einsparung in % durch Sharing des <b>passiven RAN</b>	Einsparung in % durch <b>ges. RAN</b> Sharing für 5G Verkehr	Einsparung in % durch <b>ges. RAN</b> Sharing für 4G Verkehr	Ergebnis <b>Roaming</b> in Mio. Euro (Erweiterung des RAN-Sharing)	Einsparungen in % durch <b>Roaming</b>																
1																																								
2	1	Sharing bei 20% 5G Verkehrsanteil	4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz	7.874	6.299	-	250	143	80 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	27.712		1.707	1.113	16,3	16,2	39,9	14,9	nicht anwendbar	nicht anwendbar																
3													66%	46.455	16,2	2.907	1.895																							
4													100%	65.359	21,4	-	-																							
8			5G	2023	urbane und suburbane Gebiete	3,6 GHz		0	1.575			20 % 5G	100 % Kapazität	33%	3.615		103	57																						
9													66%	3.631	49,8	124	67																							
10													100%	3.655	66,3	-	-																							
11	2	Sharing bei 50 % 5G Verkehrsanteil	4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz	7.874	3.937	0	250	143	50 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	20.776		1.261	825	22,3	22,4	42,3	20,4	nicht anwendbar	nicht anwendbar																
12													66%	32.347	22,2	2.007	1.308																							
13													100%	44.114	29,2	-	-																							
14			5G	2023	urbane und suburbane Gebiete	3,6 GHz		0	3.937			50 % 5G	100 % Kapazität	33%	3.640		118	70																						
15													66%	3.818	47,6	136	83																							
16													100%	4.143	62,1	-	-																							
17	3	Sharing bei 100% 5G Verkehrsanteil mit massiv erhöhter Nachfrage	5G	20XX	urbane und suburbane Gebiete	3,6 GHz	78.740	-	39.370	250	143	100 % 5G	100 % Kapazität	33%	7.626				Ausweis des Ergebnisses nur in Anzahl der Basisstationen (Spalte P)	Ausweis des Ergebnisses nur der Anzahl Basis-stationen siehe (Spalte P)	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar																
18													66%	13.084	14,2																									
19													100%	18.588	18,8																									
20								4a	Sharing von 2 Betreibern bei 20% 5G Verkehrsanteil				4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz	7.874	6.299							0	250	143	80 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	27.712				RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16
21																													66%	46.455	16,2									
25																													33%	3.615										
26	5G	2023	urbane und suburbane Gebiete	3,6 GHz	0	1.575	20 % 5G			100 % Kapazität	66%	3.631		49,8																										
27										33%	27.712																													
28										100%	65.359	21,4																												
29	4a	Sharing von 3 Betreibern bei 20% 5G Verkehrsanteil	4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz	7.874	3.937	-	250	143	80 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	27.712				RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16																
30													66%	3.615																										
31													100%	3.655	66,3																									
32	4b	Sharing von 2 Betreibern bei 50% 5G Verkehrsanteil	4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz		7.874	6.299			-	250	143	80 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	20.776								32.347	22,2	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16							
33																66%	32.347	22,2																						
36																33%	3.640																							
37			5G	2023	urbane und suburbane Gebiete	3,6 GHz	0		1.575	20 % 5G	100 % Kapazität	66%			3.818		47,6																							
38											33%	20.776																												
39											100%	44.114			29,2																									
40	4b	Sharing von 3 Betreibern bei 50% 5G Verkehrsanteil	4G	2023	deutschlandweit	alle ohne 3,6 GHz	7.874	3.937	0	250	143	50 % 4G	80 % Kapazität, 20 % Abdeckung	33%	20.776		44.114	29,2	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16	RAN-Sharing Ergebnisse (als Teilmenge von Roaming) siehe Ergebnisse Fall 1 und 2 in den Zeilen 1 - 16																
41													33%	3.640																										
41			100%	4.143	62,1																																			

Quelle: WIK

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

- 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 Zahl- 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 Plückerbaum:  
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 Hildebrandt:  
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustelllogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:  
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:  
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018

- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:  
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:  
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019
- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:  
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:  
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:  
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:  
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:  
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:  
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven, Juli 2019
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:  
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt, August 2019
- Nr. 446: Petra Junk, Julia Wielgosch:  
City-Logistik für den Paketmarkt, August 2019
- Nr. 447: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:  
Entwicklung des Effizienzvergleichs in Richtung Smart Grids, September 2019
- Nr. 448: Christian M. Bender, Antonia Niederprüm:  
Berichts- und Anzeigepflichten der Unternehmen und mögliche Weiterentwicklungen der zugrundeliegenden Rechtsnormen im Postbereich, September 2019
- Nr. 449: Ahmed Elbanna unter Mitwirkung von Fabian Eltges:  
5G Status Studie: Herausforderungen, Standardisierung, Netzarchitektur und geplante Netzentwicklung, Oktober 2019
- Nr. 450: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:  
Internationale Vergleichsstudie bezüglich der Anwendung und Umsetzung des Nachbildbarkeitsansatzes, Dezember 2019
- Nr. 451: Matthias Franken, Matthias Wissner, Bernd Sörries:  
Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, Dezember 2019
- Nr. 452: Bernd Sörries, Lorenz Nett:  
Frequenzmanagement: Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber sowie für regionale und lokale Betreiber unter besonderer Betrachtung der europäischen Länder sowie von China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, Dezember 2019
- Nr. 453: Martin Lundborg, Christian Märkel, Lisa Schrade-Grytsenko, Peter Stamm:  
Künstliche Intelligenz im Telekommunikationssektor – Bedeutung, Entwicklungsperspektiven und regulatorische Implikationen, Dezember 2019
- Nr. 454: Fabian Eltges, Petra Junk:  
Entwicklungstrends im Markt für Zeitungen und Zeitschriften, Dezember 2019
- Nr. 455: Christin Gries, Julian Knips, Christian Wernick:  
Mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation in Deutschland – zukünftige Markt-

- wicklung 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
- Nr. 471: Julian Knips, Christin Gries, Christian Wernick:  
Consumer-IoT in Deutschland – Anwendungsbereiche und möglicher Regelungsbedarf, Dezember 2020
- Nr. 472: Saskja Schäfer, Ahmed Elbanna, Werner Neu, Thomas Plückebaum:  
Mögliche Einsparungspotentiale beim Ausbau von 5G durch Infrastructure Sharing, Dezember 2020



**ISSN 1865-8997**