

Digitalisierung | Infrastruktur

# Versorgungsgrad der digitalen Infrastruktur in Bayern

vbw

Studie

Stand: Januar 2022

Eine vbw Studie, erstellt von der IW Consult GmbH

Die bayerische Wirtschaft



## Hinweis

Die vorliegende Studie enthält ausschließlich eine Zusammenstellung auf wissenschaftlicher Grundlage ermittelter Fakten und dient dazu, die Forderung der vbw nach flächendeckendem Mobilfunknetzausbau zu unterstreichen. Mit der Publikation der Studie ist keine Empfehlung der vbw für oder gegen einen oder mehrere Netzbetreiber verbunden.

Zitate aus dieser Publikation sind unter Angabe der Quelle zulässig.

## Vorwort

### Der Ausbau der digitalen Infrastruktur bleibt im Fokus

Die Entwicklung der digitalen Netze macht weiter gute Fortschritte, wie unsere aktuelle Studie zeigt. Allerdings bleibt die Entwicklung der Netze eine große Herausforderung. Im Fokus muss die flächendeckende Erschließung mit Glasfasernetzen und Mobilfunknetzen der neuesten Generation stehen. Zügige Fortschritte auf diesem Gebiet zählen zu den entscheidenden Standortfaktoren.

Gleichzeitig ist es unerlässlich, schon heute die Netztechniken von übermorgen im Blick zu haben. Nicht nur, um sie anzuwenden, sondern insbesondere, um sie auch aus Bayern heraus als Technologieführer voranzutreiben. Ein besonders wichtiges Thema ist hier der Mobilfunkstandard der nächsten Generation, also 6G. Zudem muss darauf geachtet werden, dass die EU bestehende Wettbewerbspositionen durch die Entwicklung von Open Ran nicht verliert.

Die regelmäßige und objektive Überprüfung der Standortbedingungen ist beim Ausbau der digitalen Infrastruktur weiterhin entscheidend. Vom Erfolg unseres Netzausbaus und von unserem Know-how bei der Netztechnik hängt es ab, ob wir im Bereich der digitalen Technologien und Anwendungen eine führende Rolle im internationalen Wettbewerb einnehmen können. Die damit verbundenen Wertschöpfungspotenziale sichern die Erfolgswirtschaft in diesem Bereich.

Bertram Brossardt  
24. Januar 2022



# Inhalt

Die Studie in zehn Punkten	1	
<b>1</b>	<b>Digitale Infrastruktur im internationalen Vergleich</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Versorgungsgrad im terrestrischen Netz</b>	<b>5</b>
2.1	Stand und Entwicklung der Versorgung in Bayern	5
2.1.1	Versorgung nach Bandbreite und Gruppe (Haushalt / Gewerbe)	5
2.1.2	Versorgung nach Regionstyp	6
2.1.3	Versorgung mit mehr als 100 Mbit/s	8
2.1.4	Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden	9
2.2	Aktivitäten der bayerischen Gebietskörperschaften in den aktuellen Förderprogrammen	11
2.2.1	Förderprogramm des Bundes	11
2.2.2	Bayerisches Förderprogramm	13
2.2.3	Gigabit-Förderung in Bayern	15
2.3	Versorgungsprognose für Ende 2022	18
<b>3</b>	<b>Versorgungsgrad im Mobilfunknetz</b>	<b>22</b>
3.1	Versorgungsgrad der Haushalte in Bayern mit LTE	22
3.2	Empfangsqualität in den bayerischen Mobilfunknetzen	22
3.3	Geförderter Ausbau der Mobilfunknetze in Bayern	37
<b>4</b>	<b>Ausbauperspektiven im 5G und 6G-Mobilfunknetz</b>	<b>41</b>
4.1	Verbreitung von 5G-Netzen in Deutschland	41
4.1.1	Campus-Netze	42
4.1.2	Exkurs: Perspektive Open RAN	44
4.2	Der nationale 5G-Ausbau im internationalen Vergleich	45
4.2.1	Deutschland	46
4.2.2	Japan	48
4.2.3	Südkorea	49
4.2.4	China	50
4.2.5	USA	51
4.3	6G: Stand und Ausblick	52
4.3.1	Chancen von 6G	52
4.3.2	Aktueller Stand	53

4.3.3	Perspektive in Deutschland	53
5	Methodische Anmerkungen	56
	Literaturverzeichnis	57
	Ansprechpartner / Impressum	60

## Die Studie in zehn Punkten

### 100 Mbit/s-Versorgung kommt voran, internationaler 5G-Wettbewerb nimmt Fahrt auf

1. Im internationalen Vergleich bleibt Deutschland bei digitalen Festnetzanschlüssen im hinteren Mittelfeld. Anschlüsse von mindestens 100 Mbit/s sind nach wie vor wenig verbreitet. Der Anteil von Glasfaserverträgen (FTTH/B) an allen Breitbandverträgen konnte nur geringfügig gesteigert werden.
2. Bayern schneidet im bundesweiten Vergleich überdurchschnittlich ab. 90,7 Prozent aller Haushalte und 89,9 Prozent aller Gewerbestandorte sind mit Geschwindigkeiten von mindestens 100 Mbit/s angeschlossen. Das bayerische Breitbandförderprogramm wirkt, insbesondere auch in vielen ländliche Regionen. Dort verfügen 77,0 Prozent der Haushalte über Anschlüsse mit mindestens 100 Mbit/s, während deutschlandweit nur 68,8 Prozent der Haushalte auf 100 Mbit/s zugreifen können.
3. Auch beim Versorgungsgrad über 1.000 Mbit/s verzeichnet Bayern eine Abdeckung oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts. In Bayern sind 64,0 Prozent (Deutschland 62,1 Prozent) der Haushalte und 58,6 Prozent (Deutschland 50,5 Prozent) der Gewerbestandorte mit Gigabit-Geschwindigkeit angeschlossen. Im Bundesdurchschnitt liegt der Zuwachs im Vergleich zu 2019 allerdings mit 18,9 Prozentpunkten bei den Haushalten und 21,9 Prozentpunkten in Gewerbestandorten etwa doppelt so hoch.
4. Der Ausbau des Glasfasernetzes in Bayern ist in den letzten Jahren deutlich fortgeschritten. Rund 18 Prozent der Haushalte verfügten Mitte 2021 über einen Glasfaser-Anschluss bis zum Endkunden (FTTH/B). Im Vergleich zu Deutschland (15,8 Prozent) handelt es sich dabei um einen überdurchschnittlichen Wert. Im Rahmen des bayerischen Förderverfahrens sind außerdem bislang 2.222 Verfahren angestoßen worden, in denen bayerische Kommunen zumindest in Teilen des Gemeindegebiets einen Glasfaserausbau bis zum Endkunden realisieren. Zur angestrebten flächendeckenden Versorgung mit Glasfaseranschlüssen ist es jedoch noch ein weiter Weg.
5. Der Großteil des geförderten Breitbandausbaus der letzten Jahre in den bayerischen Kommunen wurde durch das Förderprogramm des Landes Bayern realisiert. Infolgedessen hat sich die Breitbandversorgung in Bayern seit dem Jahr 2015 signifikant verbessert. Der geförderte Ausbau wird aktuell besonders stark über reine Glasfaserlösungen (FTTH/B) realisiert. So werden von den rund 36.000 Haushalten, die nach Angaben der Fördersteckbriefe seit Januar 2021 mit NGA-Verbindung (mindestens 30 Mbit/s) erschlossen werden, mehr als 30.000 Haushalte mit reinen Glasfaseranschlüssen versorgt. Das entspricht einem Anteil von rund 84 Prozent. Noch 230 Kommunen werden Ende 2022 eine 100-Mbit/s-Versorgungsquote von unter 50 Prozent der Haushalte aufweisen. Dies entspricht 11,2 Prozent der Kommunen Bayerns. Ende 2016 lag dieser Anteil bei 67,6 Prozent (1.389 Kommunen).

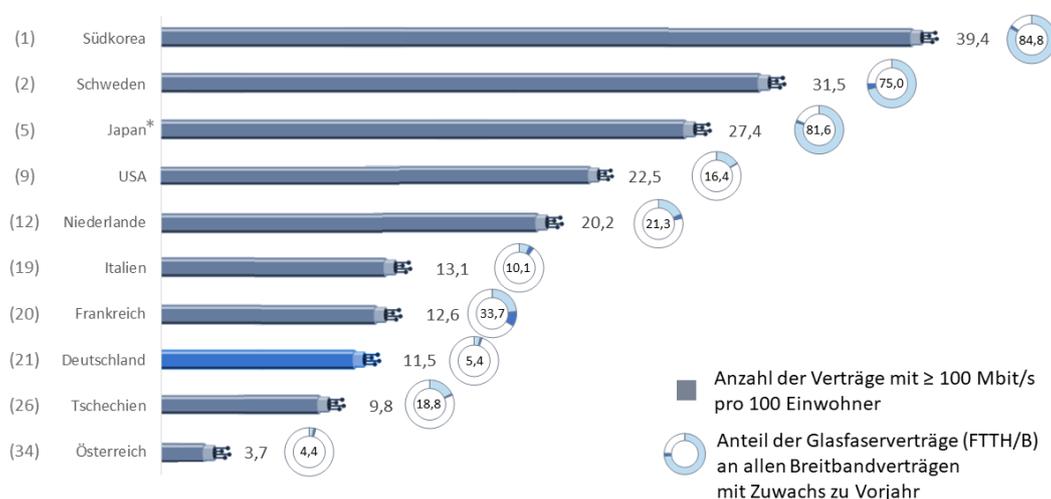
6. Die LTE-Empfangsqualität zwischen den Providern gleicht sich weiter an. Die Mobilfunkversorgung auf den bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen ist größtenteils gegeben und erreicht ein mittleres bis gutes Niveau. Streckenabschnitte mit einer ungenügenden Empfangsqualität für Sprachtelefonie und LTE-Empfang kommen eher auf Bundesstraßen vor. Größere Unterschiede zwischen den Providern zeigen sich bei Verbindungsproblemen in der Telefonie.
7. Verglichen mit dem LTE-Netz ist die 5G-Netzabdeckung noch sehr lückenhaft. Die Unterschiede der Anbieter sind bei 5G deutlich ausgeprägter. Noch ist auf den meisten bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen kein guter 5G-Empfang verfügbar. Durch einen vierten Provider, der Ende 2022 den Betrieb aufnehmen wird, kann sich im Wettbewerb zwischen den Anbietern eine neue Dynamik entwickeln.
8. 5G-Campus-Lösungen bieten begrenzte und leistungsstarke nicht-öffentliche Funknetze. Schon heute greifen Unternehmen und öffentliche Institutionen (zum Beispiel Universitäten) auf einen schnellen, zuverlässigen und latenzarmen mobilen Datenverkehr zu. Bislang wurden deutschlandweit 158 Anträge auf Zuteilung von Frequenzen für lokale 5G-Netze gestellt. 87 der 158 Zuteilungsnehmer haben der Veröffentlichung dieser Information zugestimmt. Davon sind 21 Campus-Netze in Bayern zu verorten.
9. Im internationalen Vergleich ist der Wettbewerb um ein leistungsfähiges, flächendeckendes 5G-Netz im vollen Gange. Länder wie Südkorea, China oder die USA haben einen signifikanten Vorsprung gegenüber Deutschland. Mit einer 5G-Abdeckung von 21,5 Prozent ist der Anteil in Deutschland deutlich geringer als in Südkorea (67,6 Prozent), den USA (57,9 Prozent) und China (46,0 Prozent). Beim Ausbau der 5G-Sendestationen hat insbesondere Südkorea (319 Einwohner pro 5G-Sendestation) die besten Voraussetzungen für eine leistungsfähige und flächendeckende Infrastruktur geschaffen (Deutschland: 1.609 Einwohner pro 5G-Sendestation).
10. 6G wird die neue Generation ultraschneller mobiler Datenübertragung sein. Im Rahmen eines Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung fördert Deutschland die Entwicklung der 6G-Technologie. Die Bayerische Staatsregierung ist ebenfalls mit eigenen Förderprogrammen aktiv. Dieser Standard soll voraussichtlich 2025 eingeführt werden und 2030 5G ablösen.

# 1 Digitale Infrastruktur im internationalen Vergleich

## Deutschland bleibt bei schnellen Anschlüssen im hinteren Mittelfeld

Festnetzanschlüsse mit einer Geschwindigkeit von mindestens 100 Mbit/s sind in Deutschland nach wie vor wenig verbreitet. Mit 11,5 Verträgen pro 100 Einwohner konnte die Anzahl der Verträge im letzten Jahr nur geringfügig gesteigert werden. Deutschland belegt damit im Vergleich der 36 OECD-Mitgliedsländer weiter nur den 21. Platz. Der Anteil von Glasfaserverträgen (FTTH/B) an allen Breitbandverträgen stieg in Deutschland von 4,1 auf 5,4 Prozent. Auch in anderen Ländern steigt der Anteil der Glasfaserverträge nur langsam. Diese Länder weisen jedoch vielfach ein deutlich höheres Niveau auf. Dies liegt in einem dichteren Glasfasernetz begründet. Abbildung 1 gibt einen aktuellen Überblick über die Verbreitung schneller Anschlüsse in Deutschland und in wichtigen Wettbewerberländern aus dem Kreis der OECD-Mitglieder wieder. Insbesondere Frankreich verzeichnet einen deutlich größeren Zuwachs gegenüber dem im Vorjahr.

Abbildung 1  
Verbreitung schneller Anschlüsse im internationalen Vergleich



\* Daten zur Anzahl der Breitbandverträge für Japan entsprechen der Zahl der Glasfaserverträge.

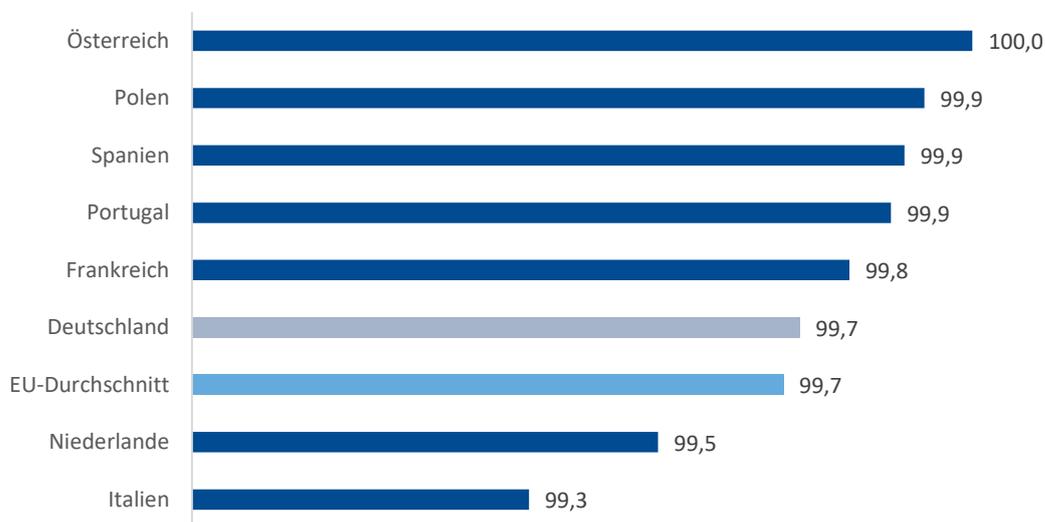
Quellen: OECD (2021), eigene Berechnungen IW Consult (Datenstand: Dezember 2020).

Von den rund 7,5 Millionen bestehenden Glasfaseranschlüssen in Deutschland werden nur 33,3 Prozent genutzt. Damit liegt die Vermarktungsquote bei Glasfaseranschlüssen auf einem ähnlichen Niveau wie in den zwei Jahren zuvor (VATM, 2021). Nach einer aktuellen Studie des FTTH Council Europe (2021) besteht in den kommenden Jahren jedoch Hoffnung auf Besserung. So prognostiziert die Studie für Deutschland eine Verzehnfachung auf

rund 25 Millionen genutzter Anschlüsse bis 2026. Damit würde die Vermarktungsquote in den nächsten fünf Jahren auf rund drei Viertel ansteigen.

Im Bereich Mobilfunk ist die Verfügbarkeit international vergleichbarer Daten zur Versorgungsqualität stark eingeschränkt. Nach Angaben der EU-Kommission lag die LTE-Abdeckung in Deutschland mit 99,7 Prozent etwa im Durchschnitt der EU-Mitgliedsländer (Abbildung 2).

Abbildung 2  
 Verbreitung von LTE – europäischer Vergleich



Prozentualer Anteil der besiedelten Gebiete mit LTE-Abdeckung - gemessen als durchschnittliche Abdeckung der Telekommunikationsbetreiber in jedem Land.  
 Quellen: Digital Scoreboard (2021), Datenstand: November 2021.

Bei der Netzabdeckung im Bereich 5G zählt Deutschland nicht zu den Early Adoptern. Eine Messung von Open Signal (2021) zwischen Anfang Juni und Ende August 2021 zählt Deutschland bei der 5G-Verfügbarkeit in einem internationalen Vergleich nicht zu den Top-15 Ländern. Der Messwert liegt für Deutschland unterhalb der auf Rang 15 gemessenen elf Prozent der Zeit, die Nutzer im Mobilfunknetz verbringen. So konnten im Netz der Deutschen Telekom die Nutzer in rund elf Prozent der Nutzungsdauer auf ein 5G-Netz zugreifen, Vodafone- und O<sub>2</sub>-Nutzer kamen hier jedoch auf jeweils nur rund vier Prozent der gemessenen Zeit. Spitzenreiter in diesem Ranking war Südkorea mit einer 5G-Verfügbarkeit von rund 28 Prozent der Nutzungsdauer. Eine ausführlichere Darstellung und Auswertung der 5G-Ausbauperspektiven erfolgt in Kapitel 4 dieser Studie.

## 2 Versorgungsgrad im terrestrischen Netz

### Bayern hat weiterhin eine überdurchschnittliche Versorgung

Im Folgenden wird die aktuelle Breitbandversorgung von privaten Haushalten und Unternehmen in Bayern und Deutschland untersucht. Basis ist der halbjährlich erscheinende Breitbandatlas. Dieser wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) herausgegeben und dient dem Bund als Monitoring-Instrument. Die aktuell verfügbaren Daten spiegeln die Versorgungssituation Mitte 2021 wider. Analog zu den vorangegangenen Studien von der IW Consult im Auftrag der vbw werden die 2.056 Kommunen in Bayern als kleinste Analyseebene betrachtet.

#### 2.1 Stand und Entwicklung der Versorgung in Bayern

##### 2.1.1 Versorgung nach Bandbreite und Gruppe (Haushalt / Gewerbe)

Die Anforderungen an die Breitbandversorgung werden auch in Zukunft weiter steigen. Eines der Ziele der Europäischen Union bis Ende 2025 ist es, alle Haushalte mit Anschlüssen mit einer Mindestbandbreite von 100 Mbit/s zu versorgen (Europäische Kommission, 2020). Die Versorgung der bayerischen Haushalte mit Anschlüssen mit mindestens 100 Mbit/s wird kontinuierlich besser: 90,7 Prozent der bayerischen Haushalte sind mittlerweile auf diesem Niveau angebunden (Tabelle 1). Das sind 5,0 Prozentpunkte mehr als noch Ende 2019. Damit liegt der Freistaat über dem deutschlandweiten Mittelwert von 89,6 Prozent. Das zeigt auch, dass das bayerische Breitbandförderprogramm besonders stark wirkt, da mittlerweile auch viele ländliche Regionen hohe Versorgungsquoten aufweisen (siehe dazu Kapitel 3.1.2).

Auch im Versorgungsgrad über 1.000 Mbit/s verzeichnet Bayern eine Abdeckung oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts. In dieser Geschwindigkeitsklasse verzeichnet Bayern auch das stärkste Wachstum bei den privaten Haushalten. Im Vergleich zu Ende 2019 beträgt der Zuwachs 9,4 Prozentpunkte. Im Bundesdurchschnitt ist der Zuwachs zwar stärker, Bayern ist jedoch aufgrund der höheren Abdeckung Vorreiter. Ein Grund dafür liegt in der überdurchschnittlichen Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden (Kapitel 2.1.3). Bei den Gewerbestandorten beträgt der Zuwachs 12,6 Prozentpunkte. Damit liegt die Versorgungsquote bei 58,6 Prozent (Bundesdurchschnitt: 50,5 Prozent).

Die Versorgung der bayerischen Haushalte mit Anschlüssen der Grundversorgung hat sich ebenfalls verbessert. 97,7 Prozent der Haushalte verfügten Mitte 2021 über einen Anschluss mit einer Mindestgeschwindigkeit von 30 Mbit/s (Bundesdurchschnitt: 96,0 Prozent). Dies entspricht einem Zuwachs von 1,5 Prozentpunkten gegenüber Ende 2019. Bei einer Mindestgeschwindigkeit von 50 Mbit/s verzeichnete Bayern einen Zuwachs von 2,3 Prozentpunkten auf 96,3 Prozent. Zudem verfügen in Bayern 97,0 Prozent der

Gewerbstandorte über Anschlüsse mit einer Mindestgeschwindigkeit von 30 Mbit/s (Deutschland: 95,3 Prozent) und 96,0 Prozent der Gewerbstandorte über Anschlüsse mit einer Mindestgeschwindigkeit von 50 Mbit/s (Deutschland: 94,2 Prozent).

**Tabelle 1**
**Breitbandversorgung nach Bandbreiten und Kundentyp**

Bayern	Haushalte		Gewerbstandorte	
	Stand	Zuwachs	Stand	Zuwachs
≥1.000 Mbit/s	64,0	9,4	58,6	12,6
≥400 Mbit/s	66,3	5,0	61,7	9,9
≥200 Mbit/s	77,7	4,7	77,1	9,6
≥100 Mbit/s	90,7	5,0	89,9	10,1
≥50 Mbit/s	96,3	2,3	96,0	4,9
≥30 Mbit/s	97,7	1,5	97,0	3,5
≥16 Mbit/s	99,3	1,7	99,5	3,6
<i>Deutschland</i>				
≥1.000 Mbit/s	62,1	18,9	50,5	21,9
≥400 Mbit/s	70,5	4,3	60,1	13,3
≥200 Mbit/s	79,7	4,4	74,6	13,1
≥100 Mbit/s	89,6	5,8	87,3	14,0
≥50 Mbit/s	95,1	3,2	94,2	6,7
≥30 Mbit/s	96,0	2,4	95,3	5,1
≥16 Mbit/s	98,5	3,1	98,7	5,1

Datenstand: Mitte 2021 in Prozent, Zuwachs gegenüber Ende 2019 in Prozentpunkten.

Quellen: BMVI / atene KOM (2021a), BMVI / atene KOM (2020), eigene Berechnungen IW Consult.

## 2.1.2 Versorgung nach Regionstyp

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Breitbandversorgung privater Haushalte in Bayern und Deutschland differenziert nach Regionstyp. Dabei wird zwischen städtischen, halbstädtischen und ländlichen Regionen<sup>1</sup> unterschieden.

<sup>1</sup> Die im Breitbandatlas und den dazugehörigen Veröffentlichungen zugrunde gelegten Regionstypen werden in Anlehnung an Destatis und Eurostat wie folgt definiert: Städtische Regionen haben mindestens 500 Einwohner je Quadratkilometer. Die Einwohnerzahl halbstädtischer Regionen liegt bei mindestens 100 und unter 500 Einwohnern je Quadratkilometer. Ländliche Regionen umfassen Kommunen mit weniger als 100 Einwohnern je Quadratkilometer.

Tabelle 2

## Breitbandversorgung der Haushalte nach Bandbreiten und Regionstyp

Bayern	Städtisch		Halbstädtisch		Ländlich	
	Stand	Zuwachs	Stand	Zuwachs	Stand	Zuwachs
≥1.000 Mbit/s	86,9	4,8	53,3	14,7	27,0	8,3
≥400 Mbit/s	88,3	2,3	56,7	7,3	29,1	5,9
≥200 Mbit/s	94,3	1,3	71,9	6,3	46,4	9,2
≥100 Mbit/s	97,7	0,9	88,5	6,5	77,0	12,3
≥50 Mbit/s	99,1	0,4	95,8	2,8	89,8	5,9
≥30 Mbit/s	99,3	0,3	97,5	1,8	93,7	3,7
≥16 Mbit/s	99,9	0,2	99,2	1,9	97,8	5,0
<i>Deutschland</i>						
≥1.000 Mbit/s	78,4	17,9	47,1	23,0	22,9	10,7
≥400 Mbit/s	86,6	2,4	57,2	6,7	25,6	6,0
≥200 Mbit/s	91,9	2,1	70,9	6,6	43,2	9,9
≥100 Mbit/s	96,4	2,6	84,7	8,1	68,8	15,4
≥50 Mbit/s	98,3	0,9	93,5	4,8	82,8	10,0
≥30 Mbit/s	98,6	0,6	94,8	3,7	85,6	7,9
≥16 Mbit/s	99,5	0,5	98,2	4,5	94,1	12,2

Stand: Mitte 2021 in Prozent, Zuwachs gegenüber Ende 2019 in Prozentpunkten.

Quellen: BMVI / atene KOM (2021a), BMVI / atene KOM (2020), eigene Berechnungen IW Consult.

Auch differenziert nach Regionstypen und Geschwindigkeitsklassen schneidet Bayern stark ab. Bei nahezu allen Kombinationen liegt die Versorgungsquote Mitte 2021 über dem Bundesdurchschnitt. Der Anteil der privaten Haushalte im ländlichen Raum mit Anschlüssen von mindestens 100 Mbit/s beträgt in Bayern 77,0 Prozent, deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 68,8 Prozent. Das verdeutlicht, dass das Breitbandförderprogramm der Landesregierung in dünner besiedelten Regionen eine besonders positive Wirkung entfaltet. Auch der Zuwachs im Vergleich zu Ende 2019 ist mit 12,3 Prozentpunkten in Bayern hoch. Der Zuwachs auf Bundesebene im ländlichen Raum liegt mit 15,4 Prozentpunkten noch etwas höher.

Besonders große Unterschiede in der Versorgung gibt es bei Bandbreiten über 1.000 Mbit/s. Im städtischen Raum erreicht Bayern eine Quote von 86,9 Prozent, im halbstädtischen Raum von 53,3 Prozent und im ländlichen Raum von 27,0 Prozent. Auffällig ist jedoch, dass Bayern auch hier jeweils über dem Bundesdurchschnitt liegt. Bei den städtischen Räumen beträgt der Unterschied zu Deutschland 8,5 Prozentpunkte.

Die Grundversorgung mit niedrigeren Mindestgeschwindigkeiten hebt sich insbesondere in ländlichen Räumen vom Bundesdurchschnitt ab. Während im ländlichen Bayern 93,7 Prozent auf eine Mindestgeschwindigkeit von 30 Mbit/s und 89,8 Prozent von 50 Mbit/s

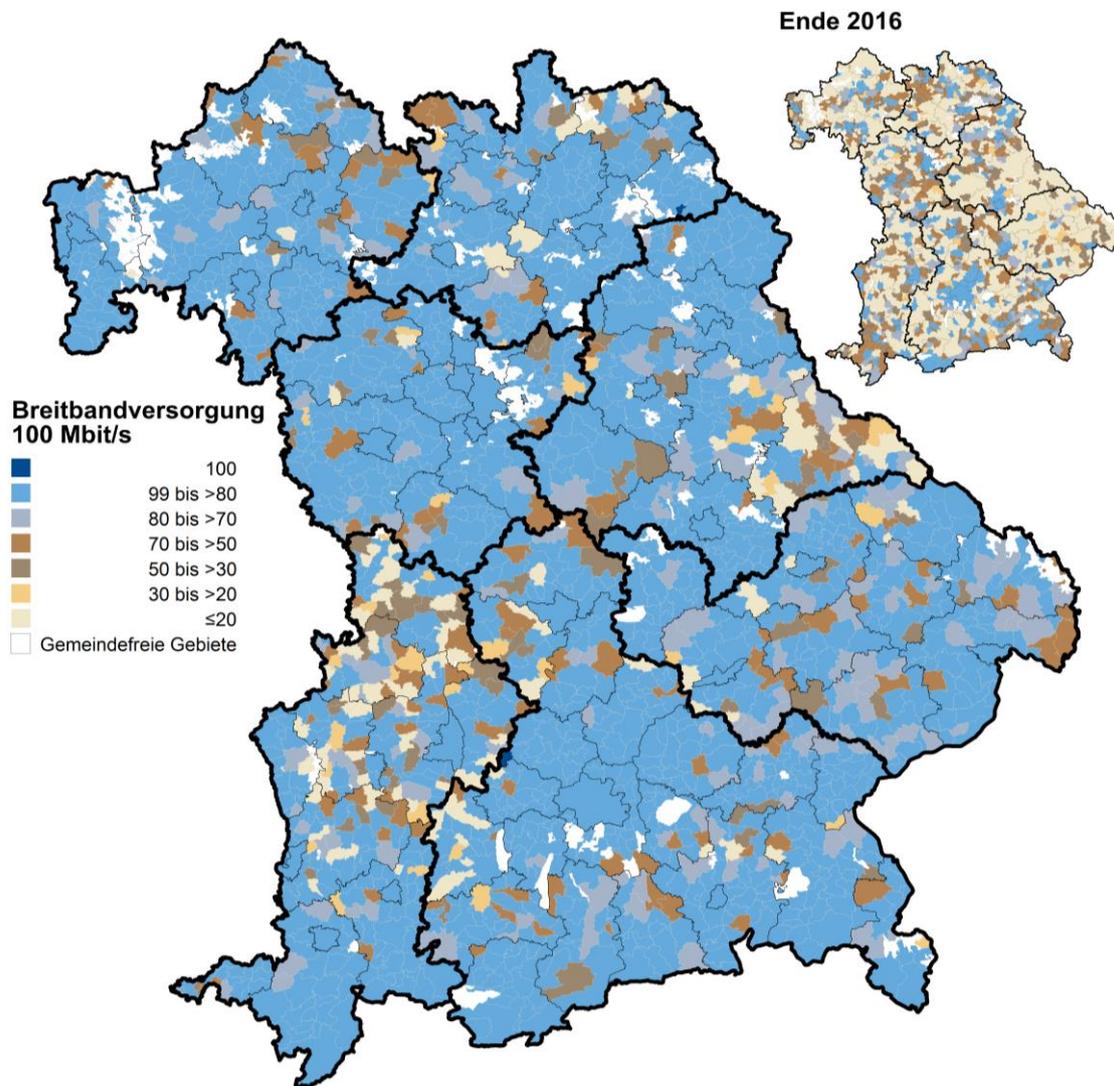
zurückgreifen können, liegen die Durchschnitte auf Bundesebene bei 85,6 und 82,8 Prozent. In den städtischen Räumen sind die Unterschiede weniger groß, Bayern liegt allerdings auch hier über dem Bundesdurchschnitt.

### 2.1.3 Versorgung mit mehr als 100 Mbit/s

1.532 Kommunen in Bayern konnten Mitte 2021 mindestens 80 Prozent ihrer Haushalte mit Geschwindigkeiten von 100 Mbit/s oder mehr versorgen (Abbildung 3), 604 mehr als Ende 2019. Damit liegt der Zuwachs auf dem Niveau der Vorgängerstudie (plus 597 Kommunen). Gleichzeitig hat sich die Anzahl der Kommunen, die weniger als 20 Prozent ihrer Haushalte mit mindestens 100 Mbit/s versorgen können, von 168 Kommunen Ende 2019 auf 122 Kommunen Mitte 2021 verringert.

Der Versorgungsgrad in Bayern entwickelt sich weiter positiv. Mit Pfaffenhofen an der Glonn und Bad Alexandersbad gelang es Mitte 2021 allerdings nach wie vor lediglich zwei Kommunen, ihre Haushalte vollständig mit mindestens 100 Mbit/s zu versorgen. Der Regierungsbezirk Mittelfranken konnte Mitte 2021 93,7 Prozent seiner Haushalte mit mindestens 100 Mbit/s versorgen und schnitt damit auf Bezirksebene am besten ab. Oberbayern folgt mit 93,5 Prozent. Unterfranken folgt mit 91,2 Prozent auf Rang drei.

Abbildung 3  
 Breitbandversorgung in Bayern ab 100 Mbit/s Mitte 2021



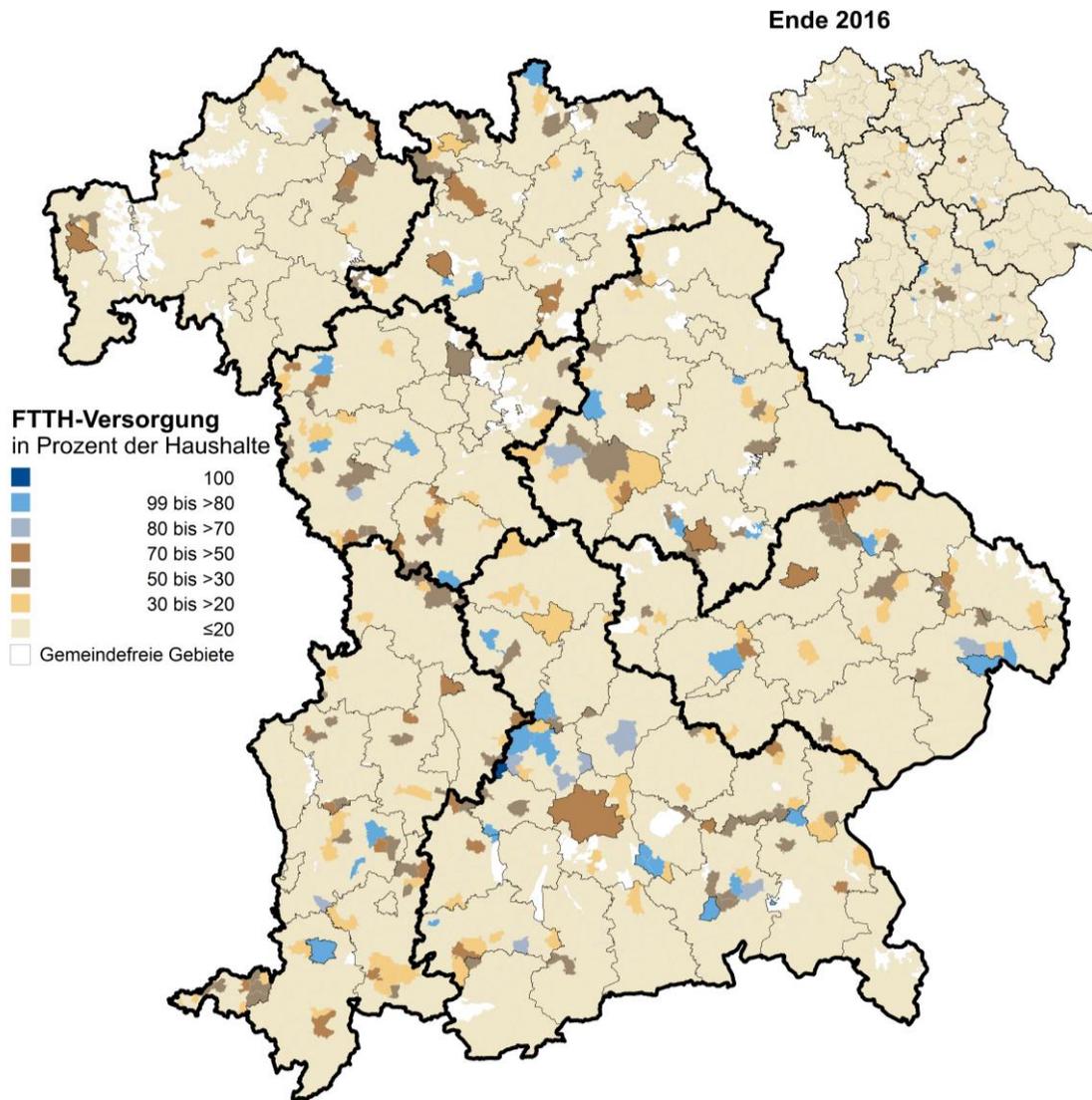
Quellen: BMVI / atene KOM (2021b), eigene Berechnungen IW Consult.

#### 2.1.4 Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden

Die Anforderungen an die Übertragungsgeschwindigkeiten im terrestrischen Netz werden auch in Zukunft weiter steigen. Als zukunftssicher gelten Glasfaseranschlüsse bis zum Endkunden (FTTH/B), da damit besonders hohe symmetrische Übertragungsraten und geringe Latenzen erreicht werden können. Ein Großteil der bayerischen Haushalte war Mitte 2021 noch nicht direkt per FTTH/B an das Netz angebunden (Abbildung 4).

Abbildung 4

Breitbandversorgung in Bayern mit Glasfaser (FTTH/B) Mitte 2021



Quellen: BMVI / atene KOM (2021b), eigene Berechnungen IW Consult.

Der Ausbau des Glasfasernetzes in Bayern ist in den letzten Jahren jedoch deutlich vorangekommen. Rund 18 Prozent der Haushalte verfügten Mitte 2021 über einen FTTH/B-Anschluss.<sup>2</sup> Dies entspricht einem Wachstum von knapp drei Prozentpunkten gegenüber dem Vorjahr. Im Vergleich zum deutschlandweiten Stand (15,8 Prozent) ist der bayerische Wert überdurchschnittlich. Im Rahmen des bayerischen Förderverfahrens sind außerdem bislang 2.216 Verfahren angestoßen worden, in denen bayerische Kommunen zumindest in Teilen des Gemeindegebiets einen Glasfaserausbau bis zum Endkunden realisieren. Zur angestrebten flächendeckenden Versorgung mit Glasfaseranschlüssen ist es jedoch noch ein weiter Weg. Mitte 2021 hatten nur 35 Kommunen<sup>3</sup> mindestens 80 Prozent ihrer Haushalte mit FTTH/B erschlossen (Ende 2019: 25 Kommunen). Davon erreichte nur Pfaffenhofen an der Glonn eine vollständige Glasfaserversorgung der Haushalte. In 1.774 Kommunen waren noch weniger als 20 Prozent aller Haushalte per Glasfaser angebunden. Ende 2019 lag dieser Wert bei 1.865.

## 2.2 Aktivitäten der bayerischen Gebietskörperschaften in den aktuellen Förderprogrammen

### 2.2.1 Förderprogramm des Bundes

Neben den landeseigenen Förderprogrammen können die Gebietskörperschaften in Bayern auch an den Förderprogrammen des Bundes zum Breitbandausbau teilnehmen. Da sowohl das ursprüngliche Breitbandförderprogramm als auch die seit dem April 2021 geltende Förderung von Gigabit-Infrastruktur in grauen Flecken zeitlich erst nach dem bayerischen Landesprogrammen verfügbar waren, entfaltet das Bundesförderprogramm in Bayern vielfach einen ergänzenden Charakter.

So wurden im Bundesförderprogramm den Gebietskörperschaften im Freistaat Bayern nach Angaben des Bundesverkehrsministeriums BMVI (2021) bisher 177,2 Millionen Euro an Fördergeldern für den Breitbandausbau bewilligt (Abbildung 5). Das entspricht rund vier Prozent des gesamten Bundesförderungsprogramms. Eine Differenzierung der Fördergelder nach NGA-Förderung und Gigabit-Ausbau wird nicht angegeben.

Durch die Umstellung des bundesweiten Förderprogramms auf das Gigabit-Förderprogramm sind einige Kommunen von ursprünglichen Ausbauplänen abgewichen. Die Anzahl der Gebietskörperschaften in Bayern mit einer bewilligten Teilnahme am Bundesförderprogramm kann deshalb niedriger ausfallen als vor einem Jahr berichtet. Zum Stand September 2021 waren für 68 bayerische Gebietskörperschaften bewilligte Förderbe-

---

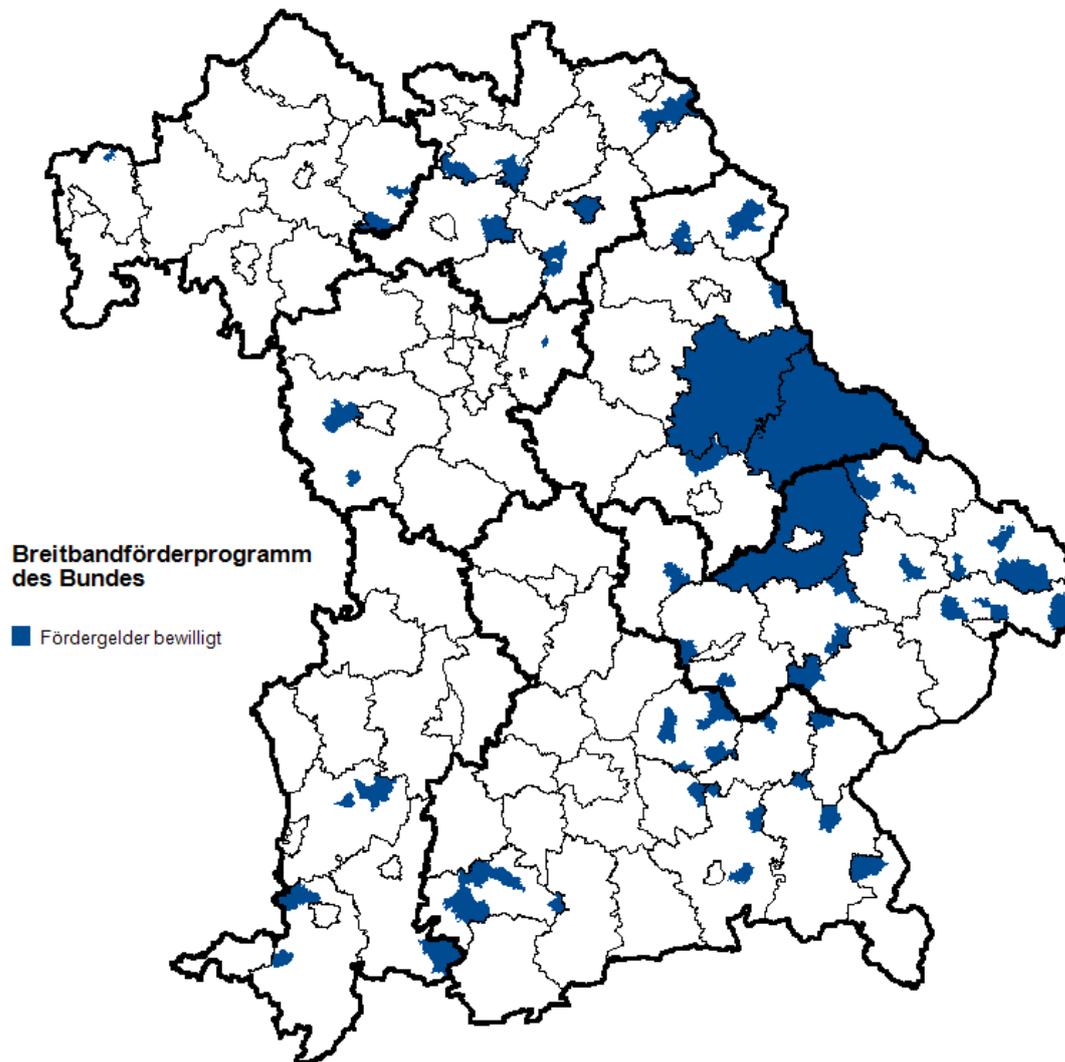
<sup>2</sup> Hochrechnung auf Basis der Daten zur Versorgungsquote in den Gemeinden Mitte 2021 (gewichtet mit Anzahl der Haushalte). Konkrete Werte für die Versorgungsquote auf Bundeslandebene lagen zum Zeitpunkt der Erstellung noch nicht vor.

<sup>3</sup> Achslach, Altendorf, Altendorf, Altomünster, Apfeltrach, Birgland, Buch a. Wald, Buttenheim, Chiemsee, Eching am Ammersee, Egmating, Engelsberg, Essenbach, Gerolsbach, Gleiritsch, Glonn, Guttenberg, Kempten (Allgäu), Langenaltheim, Ludwigsstadt, Markt Indersdorf, Markt Nordheim, Oberhausen, Oberpfraammern, Passau, Petersaurach, Pettendorf, Pettstadt, Pfaffenhofen a.d.Glonn, Rosenheim, Schwabbruck, Söchtenau, Thyrnau, Türkenfeld, Tussenhausen und Wiesent.

scheide im Bundesprogramm dokumentiert. Die folgende Karte zeigt die Regionen mit bewilligten Fördergeldern.

Abbildung 5

Regionen in Bayern mit bewilligten Fördergeldern des Bundesförderprogramms

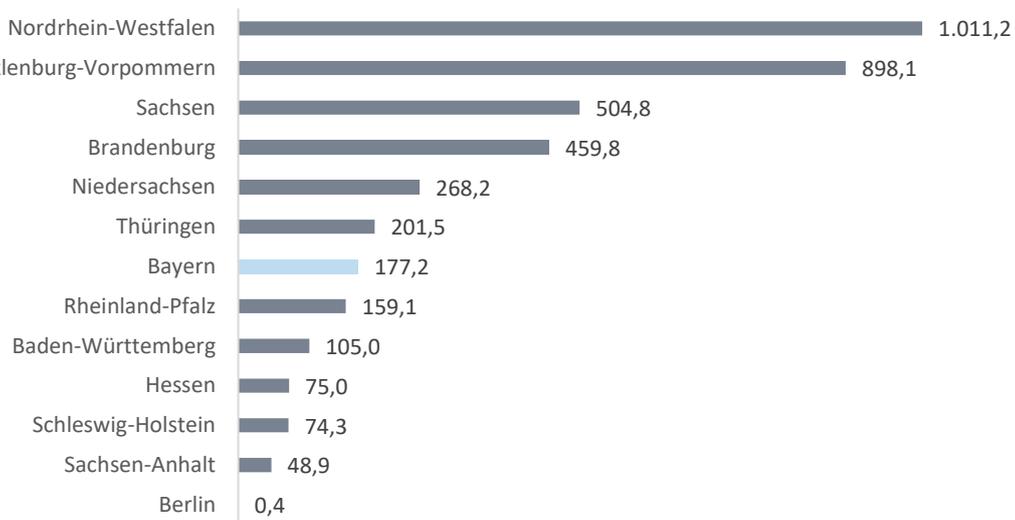


Datenstand: 02. September 2021; Infrastrukturprojekte ohne Fördergeld für Beratungsleistungen. Die Teilnahme kann durch den Rückzug einzelner Kommunen und Kreise aus dem Bundesförderprogramm geringer ausfallen als vor einem Jahr gemeldet.  
Quelle: BMVI (2021b).

Obwohl sich die Anzahl der aktuell teilnehmenden Gebietskörperschaften im Vergleich zum Vorjahr reduziert hat, hat sich die bewilligte Fördersumme in Bayern auf rund 177,2 Millionen Euro nahezu verdoppelt. Einer der Gründe hierfür dürfte die Erhöhung des maximalen Fördervolumens auf bis zu 150 Millionen Euro je Auswahlverfahren sein.

Abbildung 6

Bewilligte Fördergelder aus dem Bundesförderprogramm für den Breitbandausbau in Millionen Euro



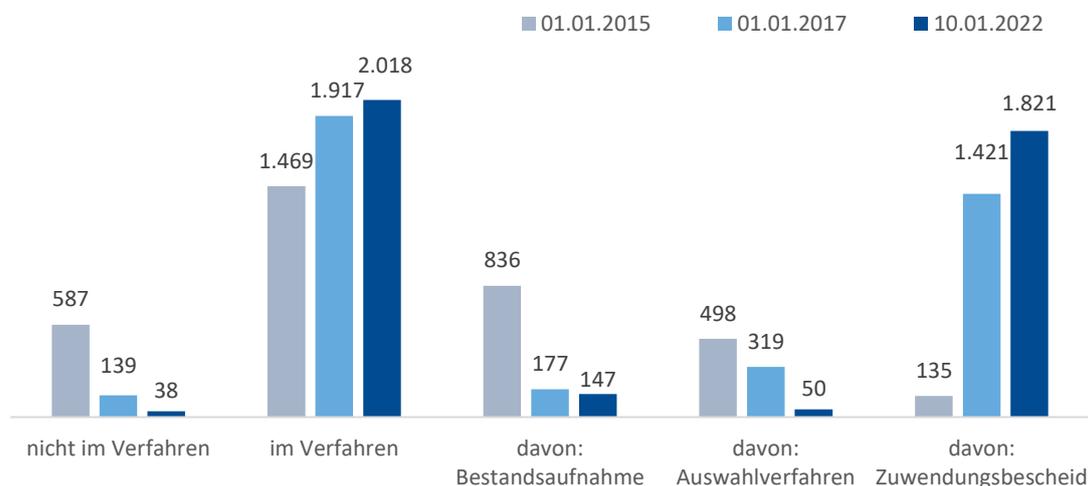
Datenstand: 02. September 2021; Infrastrukturprojekte ohne Fördergelder für Beratungsleistungen.

Quelle: BMVI (2021b).

### 2.2.2 Bayerisches Förderprogramm

Der Großteil des geförderten Breitbandausbaus der letzten Jahre in den bayerischen Kommunen wurde durch das Förderprogramm des Landes Bayern realisiert. Zum Stichtag 12. November 2021 lag die Zahl der Kommunen, die das bayerische Förderverfahren schon genutzt haben oder aktuell entsprechende Projekte durchführen, bei 2.018. Das sind rund 98 Prozent der bayerischen Kommunen und genauso viele wie vor einem Jahr. Die geförderten Projekte sind vielfach weit fortgeschritten (Abbildung 7). Ende 2021 haben im Vergleich zu Anfang 2017 weitere 400 Kommunen ihren ersten Zuwendungsbescheid erhalten. Im letzten Jahr hat sich vor allem die Anzahl der zweiten, dritten und vierten Fördersteckbriefe der Kommunen erhöht, mit denen weitere Ortsteile erschlossen werden. Bei rund 200 Kommunen im Verfahren steht die Veröffentlichung des ersten Zuwendungsbescheides noch aus.

Abbildung 7  
Anzahl der Kommunen in den Phasen des bayerischen Förderprogramms



Datenstand: 10. Januar 2022.

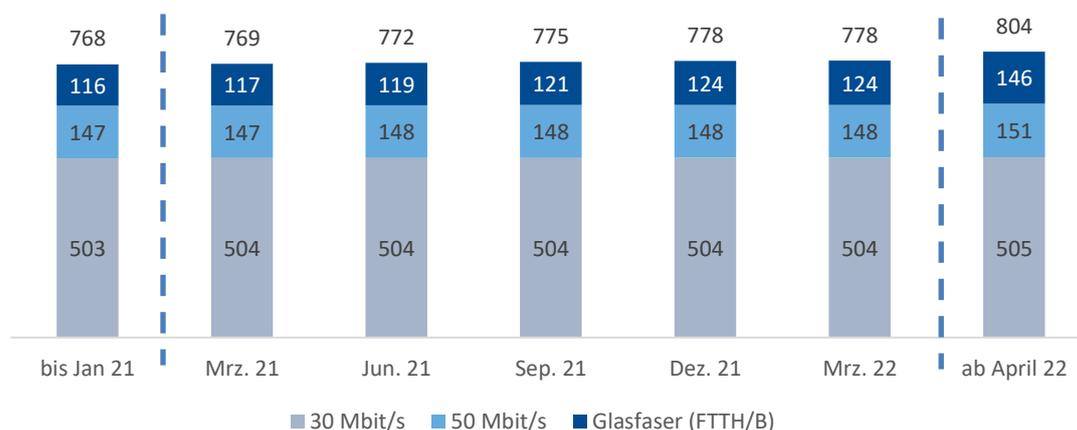
Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2022), eigene Berechnungen IW Consult.

Infolge des bayerischen Förderprogramms hat sich die Breitbandversorgung in Bayern seit dem Jahr 2015 signifikant verbessert. So konnten nach Angaben der veröffentlichten Fördersteckbriefe bis zum Januar 2022 rund 776.000 Haushalte neu mit NGA-Anschlüssen versorgt werden. Bis Januar 2022 konnten im Zuge des bayerischen Förderprogramms insgesamt 2.495 Ausbauverfahren realisiert werden. Dabei wurden mehr als 48.000 Kilometer Glasfaserkabel und Leerrohre mit einer Gesamtlänge von rund 15.000 Kilometern verlegt. Außerdem wurden 17.800 neue Verteilerpunkte gebaut. Bis Mitte 2025 sollen im Zuge der bisher geplanten Verfahren insgesamt rund 804.000 Haushalte mit NGA-Anschlüssen versorgt werden.

Abbildung 8 zeigt die im Rahmen des bayerischen Förderprogramms geplante Versorgung bayerischer Haushalte mit NGA-Anschlüssen und schlüsselt diese nach geforderten Mindestbandbreiten auf. Rund 63 Prozent der geförderten Anschlüsse basieren auf der VDSL-Technik und liefern dementsprechend Bandbreiten von mindestens 30 Mbit/s. Für rund 19 Prozent der Haushalte wurden Anschlüsse mit einer Geschwindigkeit von mindestens 50 Mbit/s eingerichtet. Diese Zahlen berücksichtigen noch nicht die Umstellung auf VDSL-Vectoring. Rund 18 Prozent der Haushalte erhalten besonders leistungsfähige Anschlüsse mit Übertragungsraten von mindestens 100 Mbit/s. Dabei handelt es sich nahezu ausschließlich um reine Glasfaseranschlüsse bis zum Endkunden (FTTH/B). In den aktuell vorliegenden Fördersteckbriefen sind über 145.000 Glasfaseranschlüsse geplant oder bereits realisiert.

Abbildung 8

Durch das bayerische Förderprogramm neu versorgte Haushalte (in 1.000 Haushalten; Zwischenstand)



Datenstand: 10. Januar 2022; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2022), eigene Berechnungen IW Consult.

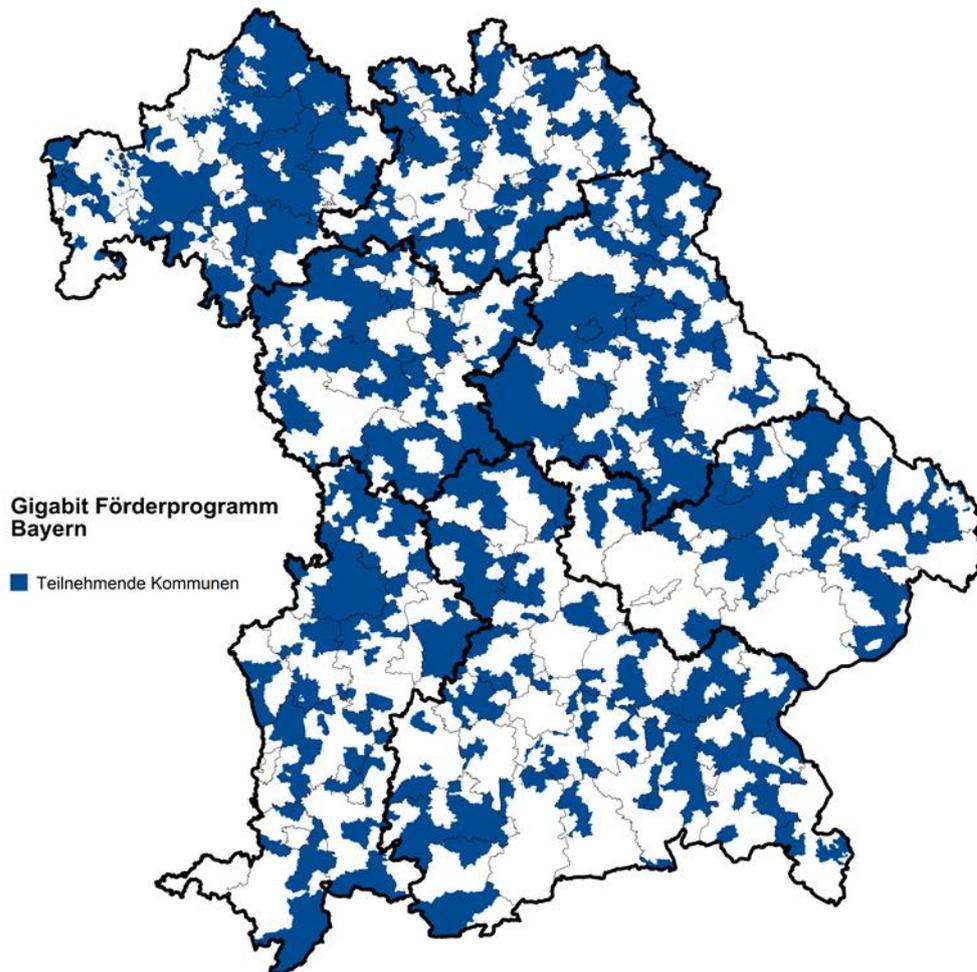
Jüngere geförderte Verfahren setzen besonders stark auf Ausbau durch reine Glasfaserlösungen (FTTH/B). So werden von den rund 36.000 Haushalten, die nach Angaben der Fördersteckbriefe seit Januar 2021 mit NGA-Verbindung erschlossen werden, mehr als 30.000 mit reinen Glasfaseranschlüssen versorgt. Das entspricht einem Anteil von rund 84 Prozent. Zum Vergleich: In den veröffentlichten Fördersteckbriefen Ende Februar 2016 boten noch weniger als 8.000 von 288.000 geförderten Anschlüssen Geschwindigkeiten von mindestens 100 Mbit/s. Dies entsprach einem Anteil von knapp drei Prozent (vbw 2016).

### 2.2.3 Gigabit-Förderung in Bayern

Das Ende 2019 von der Europäischen Kommission genehmigte bayerische Gigabit-Förderprogramm hat im Jahr 2021 deutlich an Dynamik gewonnen. Das Programm ergänzt die bereits bestehenden Landes- und Bundesprogramme zur Förderung des Breitbandausbaus. Gefördert werden können nun auch sogenannte graue Flecken, also Regionen, die bereits über einen Breitbandanschluss mit mindestens 30 Mbit/s verfügen. Die Förderung bezieht sich auf Übertragungsraten von mindestens einem Gbit/s symmetrisch für gewerbliche Anschlüsse und von mindestens 200 Mbit/s symmetrisch für Privatanschlüsse. Mit 1.079 Kommunen sind aktuell knapp die Hälfte der bayerischen Kommunen im Verfahren aktiv (Abbildung 9).

Abbildung 9

## Kommunen im Gigabit-Förderprogramm Bayerns

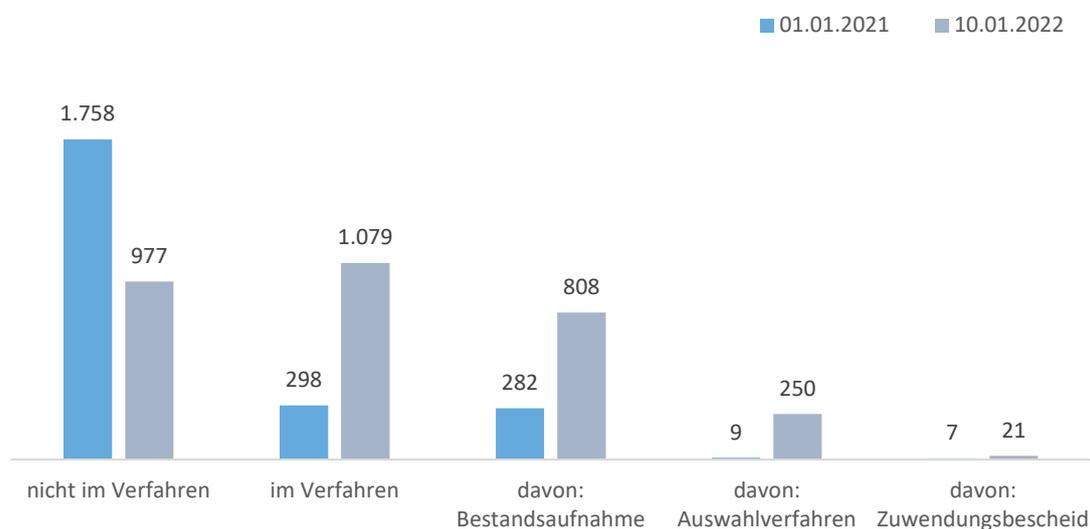


Datenstand: 10 Januar 2022.

Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2022), eigene Darstellung IW Consult.

Anfang 2021 waren erst 299 Kommunen in diesem Programm aktiv (Abbildung 10). Die Anzahl hat sich also bis zum 15. November 2021 mehr als verdreifacht. Die meisten Kommunen befinden sich entsprechend noch in frühen Stufen des Förderprogramms. Aktuell laufen in 808 Kommunen Bestandsaufnahmen und in 250 Kommunen Auswahlverfahren. 21 Kommunen haben bereits den Zuwendungsbescheid für ihr Förderverfahren erhalten.

Abbildung 10  
Fortschritt im Gigabit-Förderprogramm Bayerns



Datenstand: 10. Januar 2022.

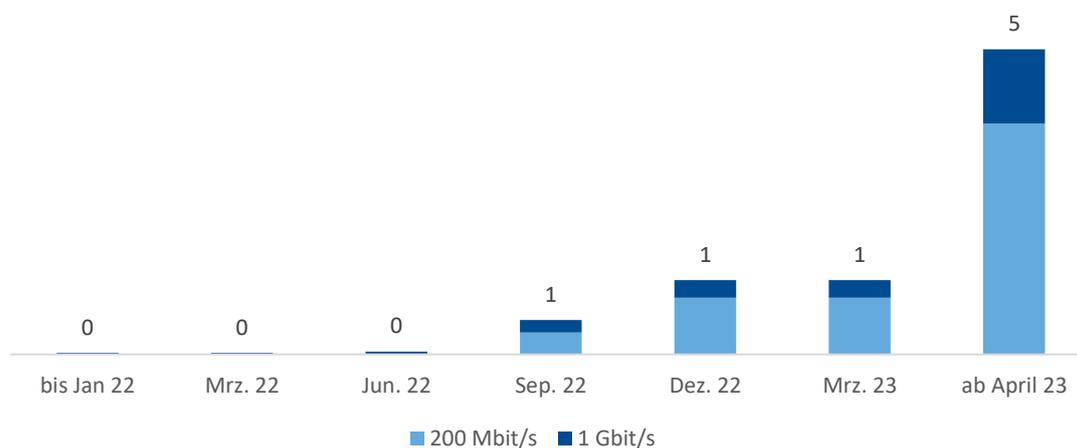
Quelle: Bayerisches Breitbandzentrum (2022), eigene Darstellung IW Consult.

Ein frühzeitiges Engagement der Kommunen im Gigabit-Förderverfahren ist wünschenswert und sinnvoll, da von der Bestandsaufnahme bis zur Fertigstellung des Ausbaus in der Regel mehrere Jahre benötigt werden. So liegen aktuell für 15 Kommunen die Fördersteckbriefe vor, die erst nach dem Zuwendungsbescheid veröffentlicht werden. Allein durch den dort geplanten Ausbau werden rund 4.600 zusätzliche Haushalte in Bayern mit Glasfaseranschlüssen versorgt (Abbildung 11). Das erste Pilotprojekt in Berching wurde bereits abgeschlossen. Mit weiteren Fertigstellungen geförderter Ausbaumaßnahmen ist nach den Fördersteckbriefen ab Mitte 2022 zu rechnen. Die dort genannten Zeitpunkte der Fertigstellung reichen bis in den Sommer 2025. Der Großteil der positiven Effekte des bayerischen Gigabit-Förderprogrammes wird sich demzufolge in den kommenden Jahren ergeben.

Der umfangreichste Ausbau im Rahmen der Gigabit-Förderung in Bayern findet nach aktuellem Stand in der schwäbischen Gemeinde Sontheim statt, wo für 916 Haushalte ein Glasfaseranschluss (FTTH/B) geplant wird. Der Ausbau soll bis Mai 2023 abgeschlossen sein. Der Anschluss von 626 Haushalte an das Glasfasernetz in Oberstreu ist bis Juli 2025 geplant. In der Kommune Heustreu sieht das Gigabit-Förderprogramm Glasfaseranschlüsse für 523 Haushalte vor. Der geplante Ausbau soll dort ebenfalls im Juli 2025 fertig sein und stellt den drittgrößten Ausbauplan im Gigabit-Förderprogramm dar. Die beiden letzten Kommunen liegen beide in Unterfranken.

Abbildung 11

Durch das bayerische Gigabit-Förderprogramm neu versorgte Haushalte (in 1.000 Haushalten, Zwischenstand)



Datenstand: 10. Januar 2022; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2022), eigene Berechnungen IW Consult.

### 2.3 Versorgungsprognose für Ende 2022

In den Vorgängerstudien wurde die Entwicklung von Anschlüssen mit mindestens 30 Mbit/s in Bayern prognostiziert. Der Anteil der Haushalte, die auf einen solchen Anschluss zurückgreifen können, ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und lag Mitte 2021 bei 97,7 Prozent. Bayern ist damit trotz seines überdurchschnittlich hohen Anteils an Haushalten in dünn besiedelten Regionen eines der zwei am besten versorgten Flächenländer Deutschlands. Da die Anforderungen der Unternehmen und Haushalte an Breitbandanschlüsse weiter steigen, wird die Verfügbarkeit besonders leistungsfähiger Anschlüsse immer relevanter. So ist es eines der Ziele der Europäischen Union, bis Ende 2025 alle Haushalte mit Anschlüssen mit einer Mindestbandbreite von 100 Mbit/s zu versorgen (Europäische Kommission 2020). Entsprechend wird in diesem Abschnitt der erwartete Fortschritt der Breitbandversorgung mit Anschlüssen von mindestens 100 Mbit/s in den bayerischen Kommunen bis Ende 2022 untersucht.

Abbildung 12 stellt die prognostizierte Mindestversorgung der Haushalte in den einzelnen Kommunen Bayerns dar. Gemäß der Prognose werden im Vergleich zu Mitte 2021 insgesamt 59 Kommunen in eine höhere Klasse aufsteigen. Dies entspricht etwa 2,8 Prozent aller Kommunen.

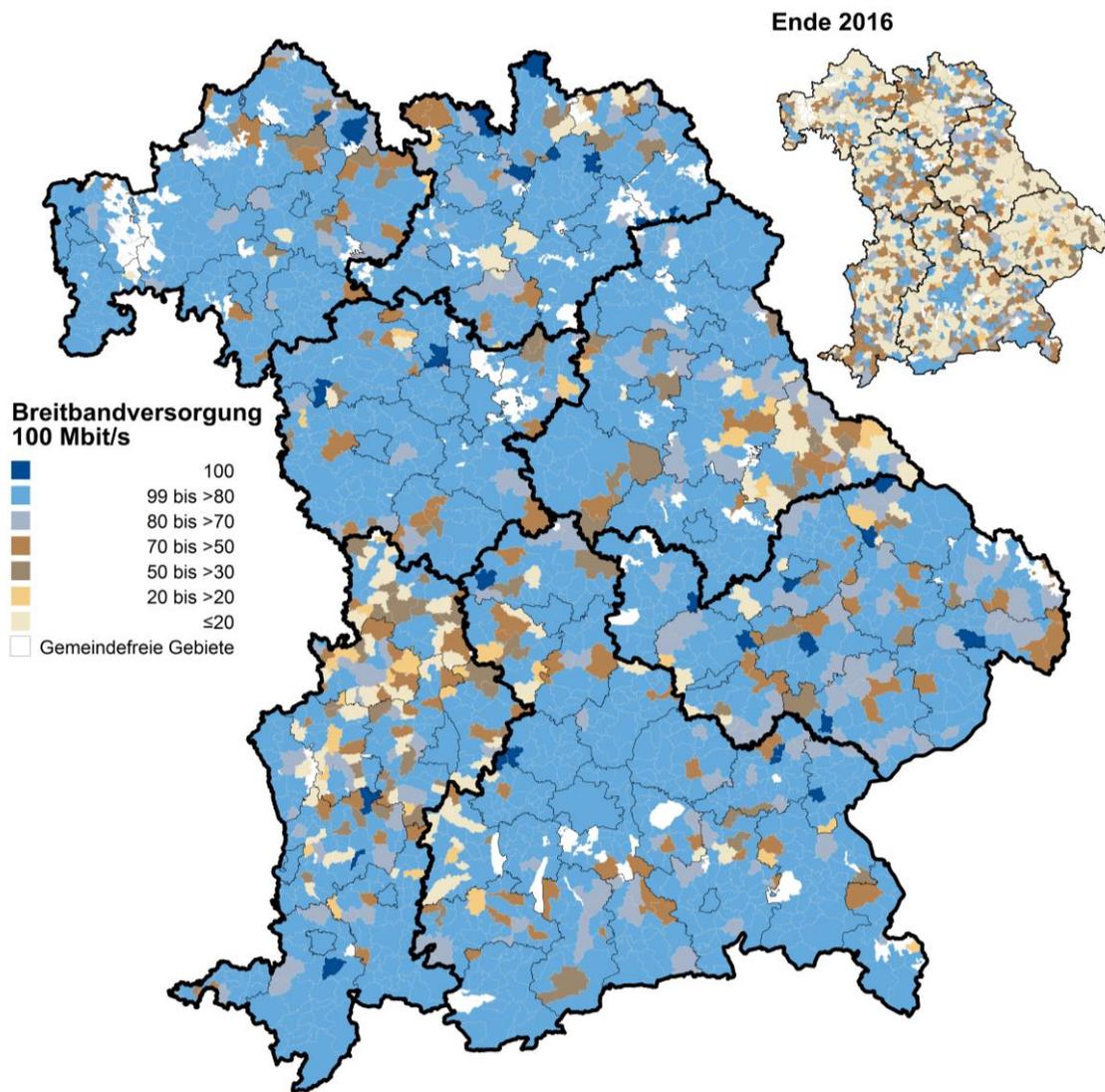
Für die Versorgungsprognose werden zwei Datenquellen kombiniert. Den Ausgangspunkt bilden die Daten von atene KOM zur Versorgung der bayerischen Kommunen mit 100 Mbit/s-Anschlüssen Mitte 2021. Ergänzt wurden diese Daten um Daten zu geplanten

## Versorgungsgrad im terrestrischen Netz

Fördermaßnahmen. Dazu wurden die veröffentlichten Fördersteckbriefe der Kommunen ausgewertet, aus denen unter anderem die Anzahl der neu versorgten Haushalte sowie das geplante Abschlussdatum der jeweiligen Ausbaumaßnahme hervorgehen. Die zusätzliche Versorgung mit Anschlüssen von mindestens 100 Mbit/s, die nach den Fördersteckbriefen bis Dezember 2022 erreicht werden soll, wurde zum Mitte 2021 ermittelten Versorgungsgrad hinzuaddiert. Da sowohl im Zuge der Bauarbeiten als auch bei der freiwilligen Datenweitergabe durch die Netzbetreiber an atene KOM Verzögerungen auftreten können, wurde darüber hinaus überprüft, ob sich die Ausbaumaßnahmen mit einer geplanten Fertigstellung zwischen Ende 2019 und Mitte 2021 tatsächlich im Versorgungsgrad Mitte 2021 niedergeschlagen haben. Wenn kein Anstieg des Versorgungsgrads in der geplanten Größenordnung festgestellt werden konnte, wurden die Daten der offenbar verzögerten Projekte ebenfalls in der Prognose für Ende 2022 berücksichtigt.

Da die Prognose wie beschrieben lediglich die geplanten Ausbaumaßnahmen im Rahmen des bayerischen Förderprogramms berücksichtigt, gibt sie den zu erwartenden Mindestversorgungsgrad wieder. Für den eigenwirtschaftlichen Ausbau der Telekommunikationsunternehmen in Bayern sind keine Plandaten verfügbar. Ähnliches gilt auch für die geplanten Aktivitäten der bayerischen Gebietskörperschaften im Rahmen des Bundesförderprogramms, die aufgrund fehlender Daten zu Anzahl, geplanter Bandbreite und Zeitpunkt der Erschließung nicht in die Prognose einfließen.

Abbildung 12  
 100 Mbit/s-Versorgung in Bayern – Mindestprognose zum geförderten Ausbau Ende 2022



Datenstand: 10. Januar 2022; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.  
 Quellen: BMVI / atene KOM (2021b), Bay. Breitbandzentrum (2022), eigene Berechnungen IW Consult.

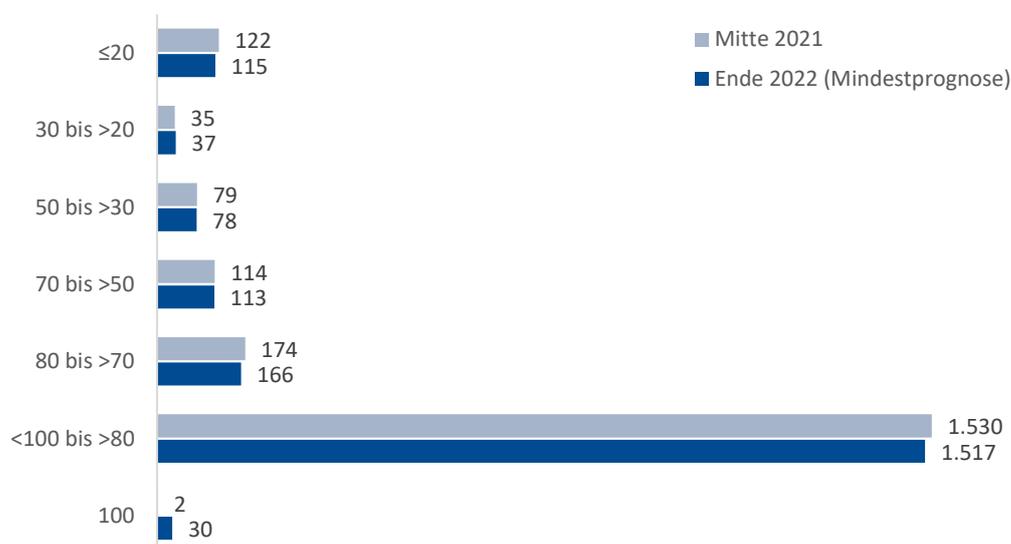
Versorgungsgrad im terrestrischen Netz

Abbildung 13 visualisiert, wie sich auf Basis des geförderten Ausbaus die 100 Mbit/s-Versorgung der bayerischen Kommunen bis Ende 2022 entwickeln wird. Voraussichtlich 30 der 2.056 Kommunen werden eine Vollversorgung (100 Prozent der Haushalte) erreichen. Mitte 2021 erreichten lediglich zwei Kommunen eine Vollversorgung. Die Gruppe der Kommunen mit einer Versorgung von nur bis zu 20 Prozent der Haushalte schrumpft von 122 auf 115 Kommunen. Die Gruppe der Kommunen mit einer Versorgung von mehr als 80 bis weniger als 100 Prozent schrumpft, da weniger Kommunen dorthin nachrücken als zur Vollversorgung herauswachsen.

Noch 230 Kommunen werden Ende 2022 einen 100 Mbit/s-Versorgungsquote von unter 50 Prozent der Haushalte aufweisen. Dies entspricht 11,2 Prozent der Kommunen Bayerns. Ende 2016 lag dieser Anteil jedoch noch bei 67,6 Prozent (1.389 Kommunen). Die Versorgung bayerischer Haushalte konnte als in den letzten Jahren stark verbessert werden. Auch das hier prognostizierte Bild kann sich durch den marktgetriebenen Ausbau noch deutlich aufhellen.

Abbildung 13

Planentwicklung der 100 Mbit/s-Versorgung für die bayerischen Kommunen



Angabe der Klassen in Prozent.

Datenstand: 10. Januar 2022; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

Quellen: BMVI / atene KOM (2021b), Bay. Breitbandzentrum (2022), eigene Berechnungen IW Consult.

## 3 Versorgungsgrad im Mobilfunknetz

Messwerte zeigen größtenteils gute Versorgung entlang zentraler Verkehrswege – große Unterschiede bei 5G.

### 3.1 Versorgungsgrad der Haushalte in Bayern mit LTE

Nach Angaben der Bundesregierung (2021a) sind die bayerischen Haushalte mit Ausnahme der Grenzregionen nahezu flächendeckend mit LTE versorgt. Je nach Netzbetreiber lag die Abdeckung der Haushalte in Bayern mit LTE an ihrem Wohnort Ende 2020 zwischen 98,7 und 99,9 Prozent. In 34.000 beziehungsweise drei Prozent von insgesamt 1.132.000 Rasterzellen von 100-mal-100 Metern konnte keine Mobilfunkversorgung gemessen werden. Die größte Anzahl unterversorgter Mobilfunkflächen lag dabei mit rund 3.000 Rasterzellen im Landkreis Berchtesgadener Land. Auf den Verkehrswegen gab es nach Angaben der Bundesregierung (2021b) in Bayern Ende 2020 noch 39,9 Kilometer Straßen des Bundes und 21 Kilometer Schienenwege, die nicht mit LTE-Anbindung versorgt waren.

Die Daten zu der Mobilfunkanbindung basieren nach Angaben des BMVI auf „einem komplexen, mathematischen, praxiserprobten Modell der jeweiligen Mobilfunkanbieter“. Da sich die Berechnungsmethoden der Mobilfunkanbieter unterscheiden, weicht auch die Vergleichbarkeit der gelieferten Daten laut Experten aus der Mobilfunkbranche ab. Von öffentlicher Seite werden keine realen Messdaten zur Mobilfunkversorgung in Bayern zur Verfügung gestellt. Laut Bundesnetzagentur (2019) werden durch den Prüf- und Messdienst zwar stichprobenartige Messungen in verschiedenen Referenzregionen durchgeführt, sie dienen jedoch lediglich der Überprüfung, ob die Mobilfunkanbieter ihre Versorgungspflichten erfüllen.

### 3.2 Empfangsqualität in den bayerischen Mobilfunknetzen

Für diese Studie hat der Mobilfunkdienstleister und Datenanbieter BREUER Nachrichtentechnik Mobilfunkdaten auf allen Autobahnen und Bundesstraßen Bayerns erhoben. Dabei wurden zur Quantifizierung der Netzqualität drei Indikatoren gemessen: Die Qualität bei LTE-Verbindungen, die sowohl Datenübertragungen als auch Telefonie ermöglichen, die Qualität der Sprachtelefonie über alle verfügbaren Mobilfunkstandards hinweg und die Qualität der 5G-Verbindungen. Ziel ist es, die Versorgungssituation der bayerischen Mobilfunknetze realistisch abzubilden und regionale und netzspezifische Versorgungsunterschiede zu identifizieren. Der Mobilfunkstandard der dritten Generation wurde nicht erfasst, da die 3G-Netze zum Großteil schon abgeschaltet wurden und diese Technologie in Deutschland Ende 2021 komplett ausläuft.

Die Messungen wurden zwischen dem 17. August 2021 und dem 24. September 2021 durchgeführt und sind die Grundlage, um die Versorgungssituation in Bayern realitätsnah zu analysieren. Auf einer Gesamtstrecke von rund 13.000 Kilometern führten die

Messfahrzeuge alle zwei Sekunden Messungen parallel über alle verfügbaren LTE- und 5G-Frequenzen durch. Die verwendeten Endgeräte wählten dabei freilaufend das beste zur Verfügung stehende Netz des jeweiligen Anbieters. Damit wird die optimierte Frequenzwahl mobiler Endgeräte realistisch dargestellt. Der Datensatz beinhaltet über 700.000 Messzeitpunkte.

Mit kontinuierlichen Sprachanrufen wurde die Empfangsqualität der Sprachtelefonie gemessen. Falls eine erfolgreiche Verbindung aufgebaut werden konnte, wurde der Anruf bis zu 120 Sekunden gehalten. Dabei wurde registriert, ob bei den Anrufen innerhalb von 15 Sekunden eine Verbindung aufgebaut werden konnte und ob es einen vorzeitigen Verbindungsverlust innerhalb der 120 Sekunden gab. Zu den möglichen Ursachen für eine Störung zählen ein dauerhaft zu schwacher Signalempfang, zu geringe Netzkapazitäten oder temporäre Netzstörungen.

Um die erhobenen Daten zur Verbindungsqualität qualitativ einordnen zu können, werden sie drei Kategorien zugewiesen. Dabei wird zur Bestimmung der LTE-Empfangsqualität die Signalstärke – Reference Signals Received Power (RSRP) – gemessen, während die Telefonie-Sprachqualität mittels einer Active Queue Management (AQM) Kennzahl erfasst wird. Für die Bestimmung der 5G-Empfangsqualität wird ähnlich wie bei LTE die Signalstärke – Synchronization Signal RSRP – gemessen. Die definierten Grenzwerte und Wertebereiche sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

### Definierte Grenzwerte für die Empfangsqualität

	Gute Qualität	Mittlere Qualität	Schlechte Qualität
LTE (4G) Empfangs- qualität	RSRP > -100 	$-100 \geq \text{RSRP} \geq -120$ 	RSRP < -120 
Telefonie Sprach- qualität	AQM > 3,8 	$3,8 \geq \text{AQM} \geq 3,0$ 	AQM < 3,0 
5G Empfangs- qualität	SS RSRP > -100 	$-100 \geq \text{SS RSRP} \geq -120$ 	SS RSRP < -120 

Die Farbquadrate verweisen auf die nachfolgenden Karten.

Quelle: BREUER Nachrichtentechnik.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Messergebnisse für die verschiedenen Netzbetreiber entsprechend der farblichen Zuordnung der Qualitätskategorien dargestellt. Die Straßenabschnitte, an denen kein Empfang gemessen werden konnte, werden der vierten und niedrigsten Qualitätsstufe zugeordnet. Des Weiteren werden in den Abbildungen regionale Verbindungsprobleme illustriert. Dazu gehören ein erfolgloser Verbindungsaufbau oder ein frühzeitiger Verbindungsabbruch.

Somit werden Faktoren berücksichtigt, die aus Sicht der Nutzer maßgeblich die wahrgenommene Qualität von Telefondiensten beeinflussen.

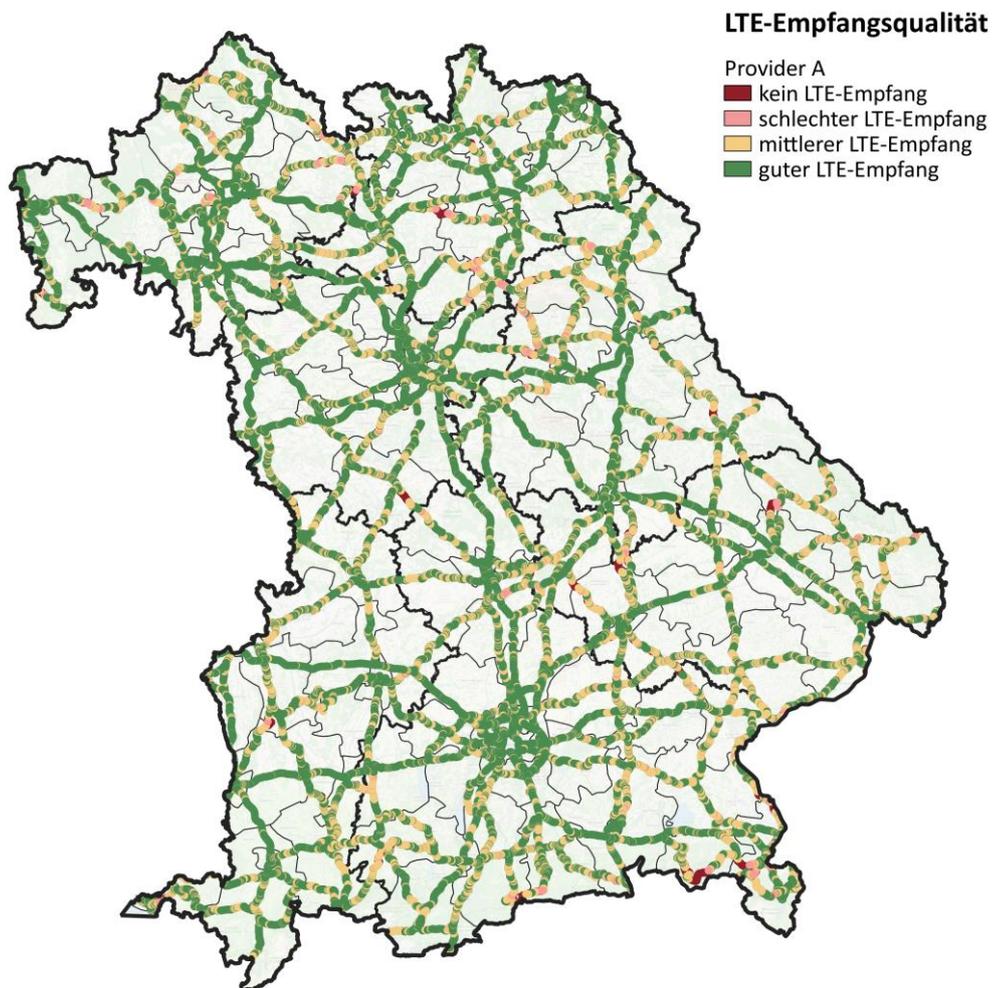
Wie in den Vorgängerstudien werden regionale Unterschiede und Besonderheiten zwischen den drei großen Mobilfunkanbietern betrachtet, wobei jedem Anbieter vier Abbildungen zugeordnet sind. Die Abbildungen werden anonymisiert und lassen sich damit nicht einem bestimmten Provider zuordnen. Sie visualisieren erstens die LTE-Empfangsqualität und zweitens die gemessene Verbindungsqualität bei Sprachanrufen innerhalb des gesamten bayerischen Staatsgebietes. Drittens wird exemplarisch mit einer regional begrenzten Detailansicht auf Orte mit kritischer Empfangsqualität hingewiesen. Viertens wird die 5G-Empfangsqualität dargestellt. Für die Darstellungen der Sprachqualität wird statt der LTE-Signalstärke die konkrete Sprachqualität gemessen. Während des Verbindungsaufbaus des Gespräches werden keine Daten zur Sprachqualität erfasst. Entsprechend sind für die Zeitpunkte des Einwahlvorgangs auf der Karte keine AQM Werte dargestellt. Diese Lücken stellen keine Netzlücken dar, sondern stehen nur für die Abschnitte, die das Messfahrzeug zurückgelegt hat, bis die Verbindungen initialisiert wurden. Probleme mit dem Mobilfunknetz, die zu einem Gesprächsabbruch geführt haben oder einen Anruf unmöglich machten, sind mit den entsprechenden dunkelroten Symbolen extra gekennzeichnet.

Die Mobilfunkversorgung der drei Anbieter auf den bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen erreicht meist ein mittleres bis gutes Niveau. Streckenabschnitte mit einer ungenügenden Empfangsqualität für Sprachtelefonie und LTE-Empfang kamen dabei vor allem auf Bundesstraßen vor. Beim 5G-Empfang sind die Unterschiede der drei Anbieter groß.

Die folgenden vier Abbildungen stellen die ermittelten Messwerte im Mobilfunknetz von Provider A dar. Auf einem Großteil der Streckenkilometer der bayerischen Bundesstraßen und Autobahnen wurde eine gute LTE-Verbindung gemessen werden (Abbildung 14). Vereinzelte Abschnitte bieten lediglich mittlere Empfangsqualität. Provider A bietet auf bayerischen Bundesstraßen und Autobahnen aktuell die höchste 5G-Verfügbarkeit der drei Anbieter.

Im LTE-Netz von Provider A gibt es auf zentralen Verkehrswegen in Bayern weiterhin Streckenabschnitte, in denen kein LTE-Empfang oder nur schwache LTE-Signalstärken gemessen werden konnten. So konnten etwa auf der B15 und der B15n nördlich von Landshut teilweise kein oder nur ein schlechtes LTE-Signal ermittelt werden. Empfangslücken gibt es auch auf der B305 nahe der österreichischen Grenze. Weiterhin wurden auch auf der B307 nahe der Grenze zu Österreich Netzlücken oder nur schlechte bis mittlere Empfangsqualität ermittelt.

Abbildung 14  
 Verteilung der LTE-Empfangsqualität – Provider A



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Die gemessene Sprachqualität im Netz von Provider A ist wie bei der Messung der LTE-Empfangsqualität meistens in einem guten Messbereich (Abbildung 15). Für die Messung der Gesprächsqualität werden dabei alle verfügbaren Mobilfunknetze von Provider A genutzt, wie dies auch bei einem normalen, modernen Mobiltelefon der Fall wäre. Vermehrte Gesprächsabbrüche traten wie bei der LTE-Empfangsqualität beispielsweise auf der B305 und der B307 nahe der österreichischen Grenze in Oberbayern auf. Vereinzelt Abbrüche und nicht zustande gekommene Anrufe gab es auch in oder um Städte wie München und Nürnberg.

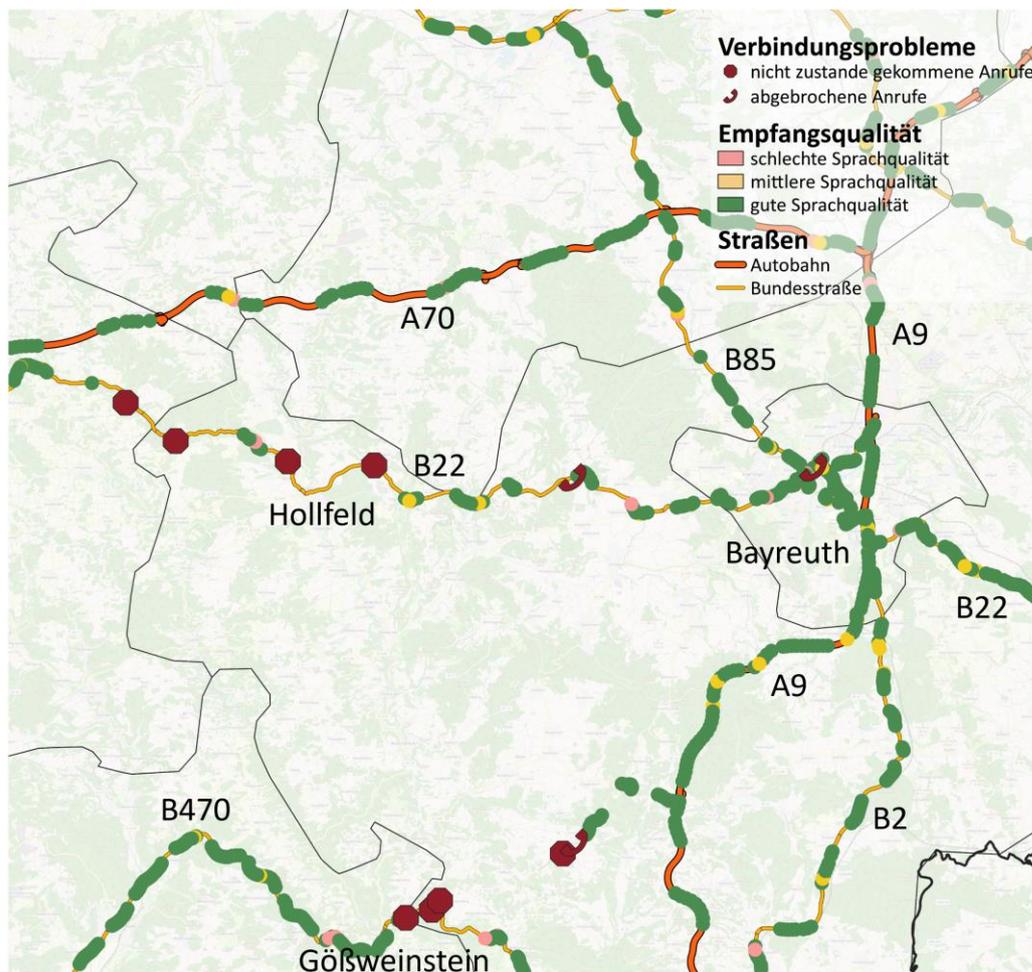
Abbildung 15  
 Problemstellen für Sprachtelefonie – Provider A



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Lokale Probleme, die sich in den Netzen aller Wettbewerber identifizieren lassen, können im Format dieser Studie nur exemplarisch aufgezeigt werden. Abbildung 16 zeigt für das Netz von Provider A die Messung zur Sprachtelefonie rund um Bayreuth in Oberfranken. Am Ende des zweiminütigen Anrufs auf der B22 zwischen Hollfeld und Bayreuth kam es zu einem netzbedingten Abbruch des Gesprächs. Auch in Bayreuth selbst brach ein Gespräch ab. Ebenso kamen mehrere Anrufe auf der B22 rund um Hollfeld nicht zustande. Bei Gößweinstein (B470) konnten mehrere Gespräche nicht aufgebaut werden. Dort bestehen aufgrund der anspruchsvollen topografischen Lage ungünstige Voraussetzungen für den Aufbau eines flächendeckenden Mobilfunknetzes.

Abbildung 16  
 Detaildarstellung der Empfangsqualität – Provider A



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende, ArcGIS Hub (2021).

Die 5G-Empfangsqualität wird im Rahmen dieser Studie das erste Mal separat ausgewiesen. Die Empfangsqualität im Netz von Provider A schwankt noch sehr stark (Abbildung 17). In den Ballungsgebieten rund um München und Nürnberg ist die Empfangsqualität zumeist auf einem mittleren bis guten Niveau. Auf vielen bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen ist jedoch noch kein 5G-Empfang möglich. Verglichen mit dem LTE-Netz ist die 5G-Netzabdeckung noch sehr lückenhaft. Im Vergleich der Wettbewerber ist das 5G-Netz von Provider A auf bayerischen Straßen nach aktuellen Messungen aber am besten ausgebaut.

Abbildung 17

Verteilung der 5G-Empfangsqualität – Provider A



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.

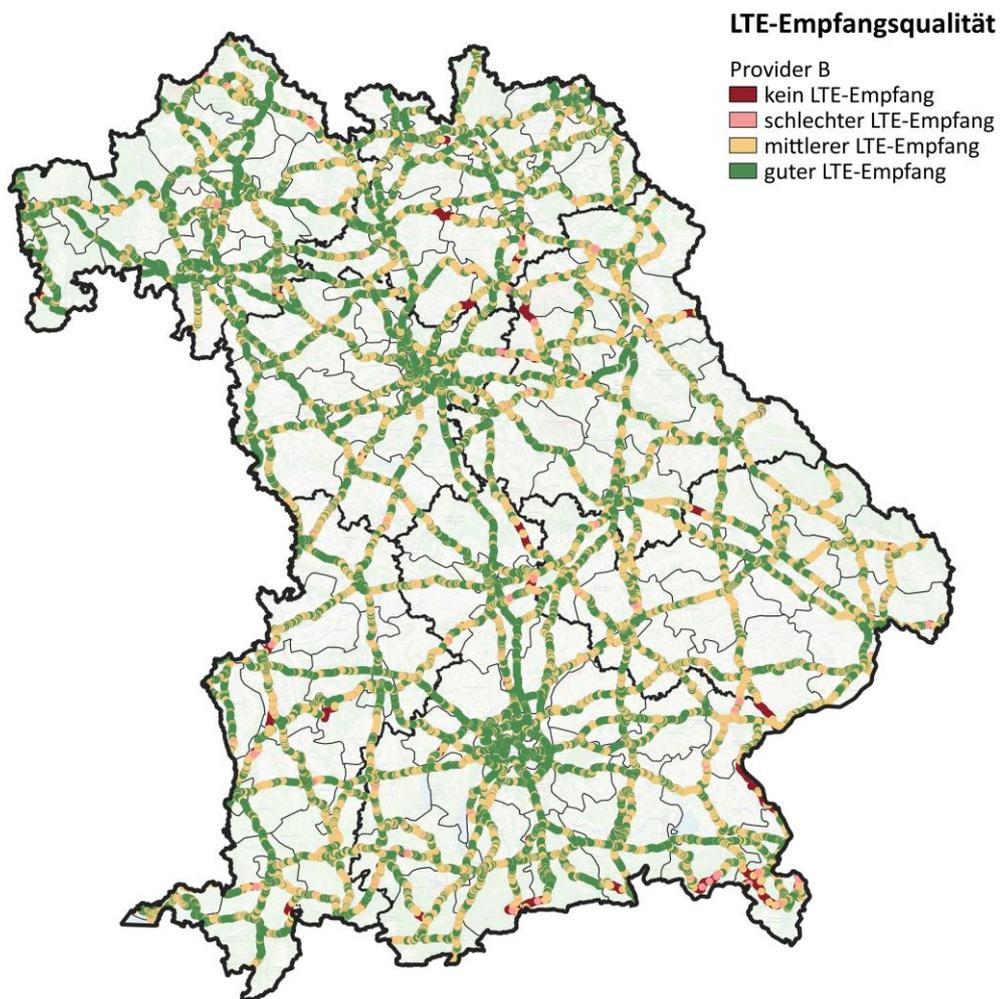
Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Das Netz von Provider B in Bayern zeigte in den Messungen im Jahr 2021 meistens eine gute LTE-Empfangsqualität auf den zentralen Verkehrswegen in Bayern (Abbildung 18). Auf einigen Straßenabschnitten kann jedoch gehäuft nur eine mittlere Empfangsqualität im LTE-Netz ermittelt werden. Weiterhin war im Jahr 2021 noch an mehreren Punkten in Bayern kein LTE-Empfang aufzeichnenbar. Dazu zählen vor allem die Verkehrswege dicht an der Grenze zu Österreich in Oberbayern sowie einzelne Abschnitte von Bundesstraßen bei Bayreuth und Pegnitz in Oberfranken (B2) und der Oberpfalz (B85).

Abbildung 18

Verteilung der LTE-Empfangsqualität – Provider B



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im 17.08.2021 bis 24.10.2021.

Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Die Messungen im Netz von Provider B in Bayern ergaben zu einem Großteil eine gute Sprachqualität (Abbildung 19). An verschiedenen Messpunkten kam es zu Verbindungsproblemen in Form von nicht zustande gekommenen Sprachanrufen. Das Problem trat zum Beispiel auf der A8 südlich von München auf. Abgebrochene Anrufe waren eher selten. Diese kamen etwa im Grenzgebiet zu Österreich vor.

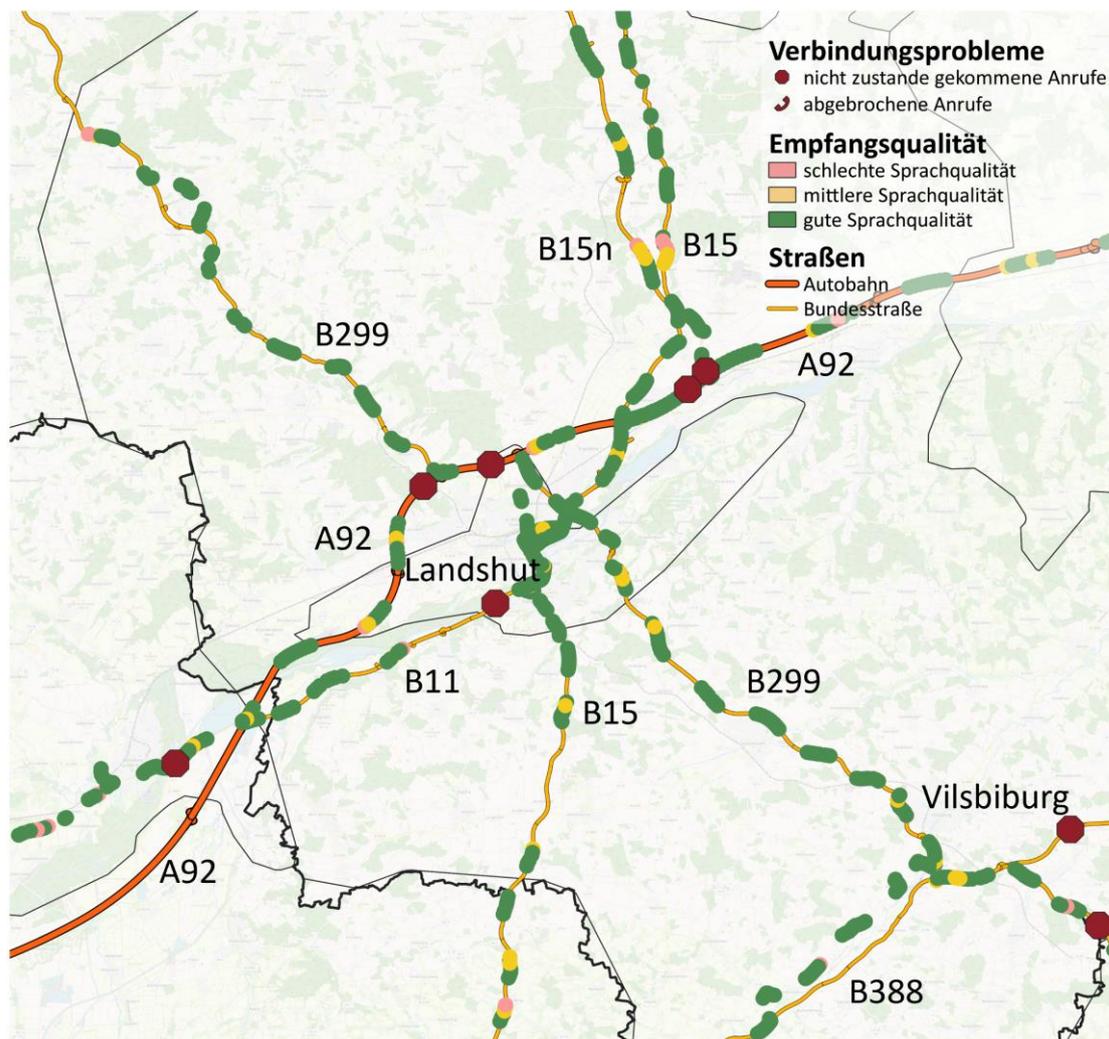
Abbildung 19  
 Problemstellen für Sprachtelefonie – Provider B



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Abbildung 20 zeigt als exemplarischen Blick auf lokale Probleme im Netz von Provider B die Messungen zur Sprachtelefonie rund um Landshut in Niederbayern. Auf der A92 konnten insgesamt vier Anrufe nicht realisiert werden. Das gleiche Problem trat auf der B11 im Stadtgebiet von Landshut auf. Vereinzelte Messwerte auf den Strecken um Landshut zeigen zudem eine verringerte Sprachqualität.

Abbildung 20  
 Detaildarstellung der Empfangsqualität – Provider B



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende, ArcGIS Hub (2021).

Bei den Messfahrten konnten erst wenige Punkte auf bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen identifiziert werden, auf denen im Netz von Provider B 5G-Empfang möglich ist (siehe Abbildung 21). Die Empfangsqualität ist meistens im mittleren Bereich. Der Ausbau

von 5G ist vor allem rund um Nürnberg weiter fortgeschritten. Auch bei weiteren Städten wie München, Bamberg und Würzburg ist ein 5G-Empfang teilweise schon öfters möglich. In Niederbayern gibt es hingegen kaum Verkehrswege, auf denen 5G genutzt werden kann.

Abbildung 21

Verteilung der 5G-Empfangsqualität – Provider B

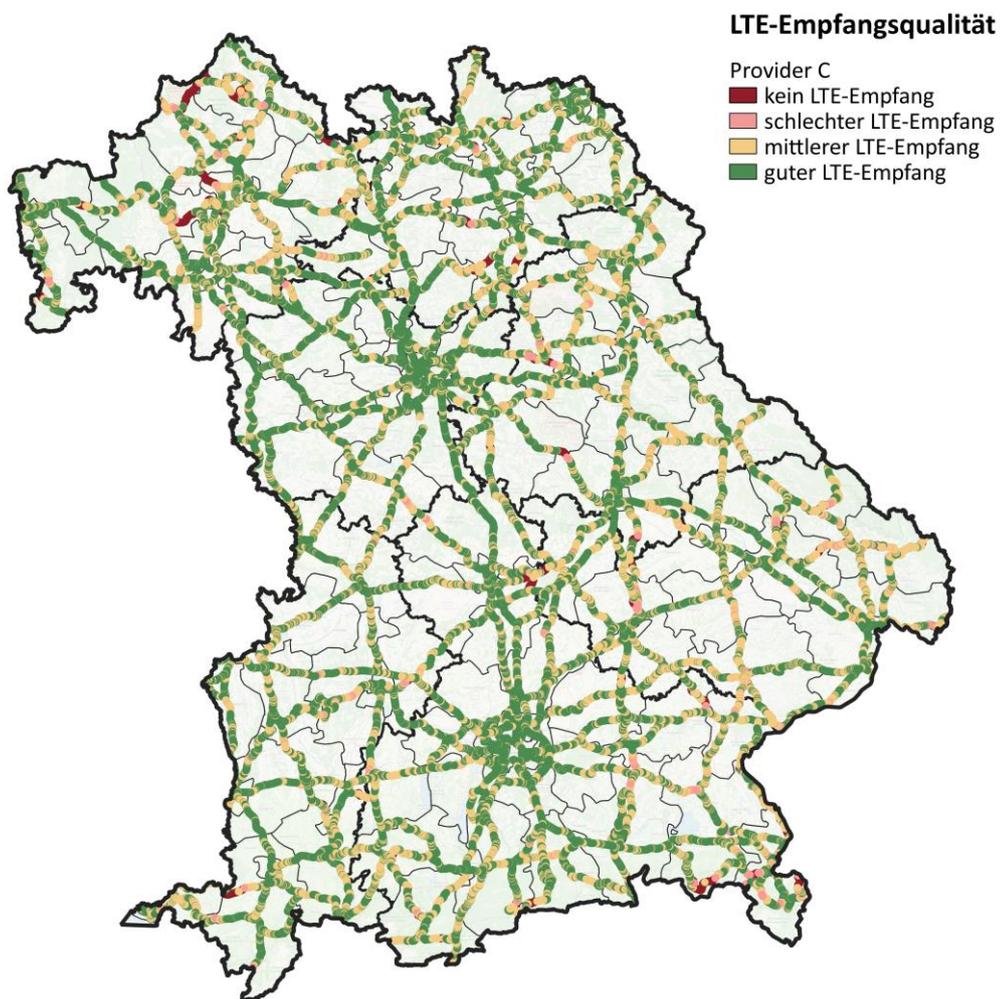


Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Im Netz von Provider C wurde an der Mehrzahl der Messpunkte eine gute LTE-Empfangsqualität ermittelt (Abbildung 22). Die LTE-Empfangsqualität im Netz von Provider C hat sich derjenigen der Wettbewerber angenähert. Trotzdem bestehen noch einige Schwächen – beispielsweise auf den Verkehrswegen Niederbayerns, wo auf vielen Strecken die LTE-Empfangsqualität häufig nur mittelmäßig ist. In Unterfranken ist auf mehreren Streckenabschnitten zudem kein LTE-Empfang möglich.

Abbildung 22

Verteilung der LTE-Empfangsqualität – Provider C



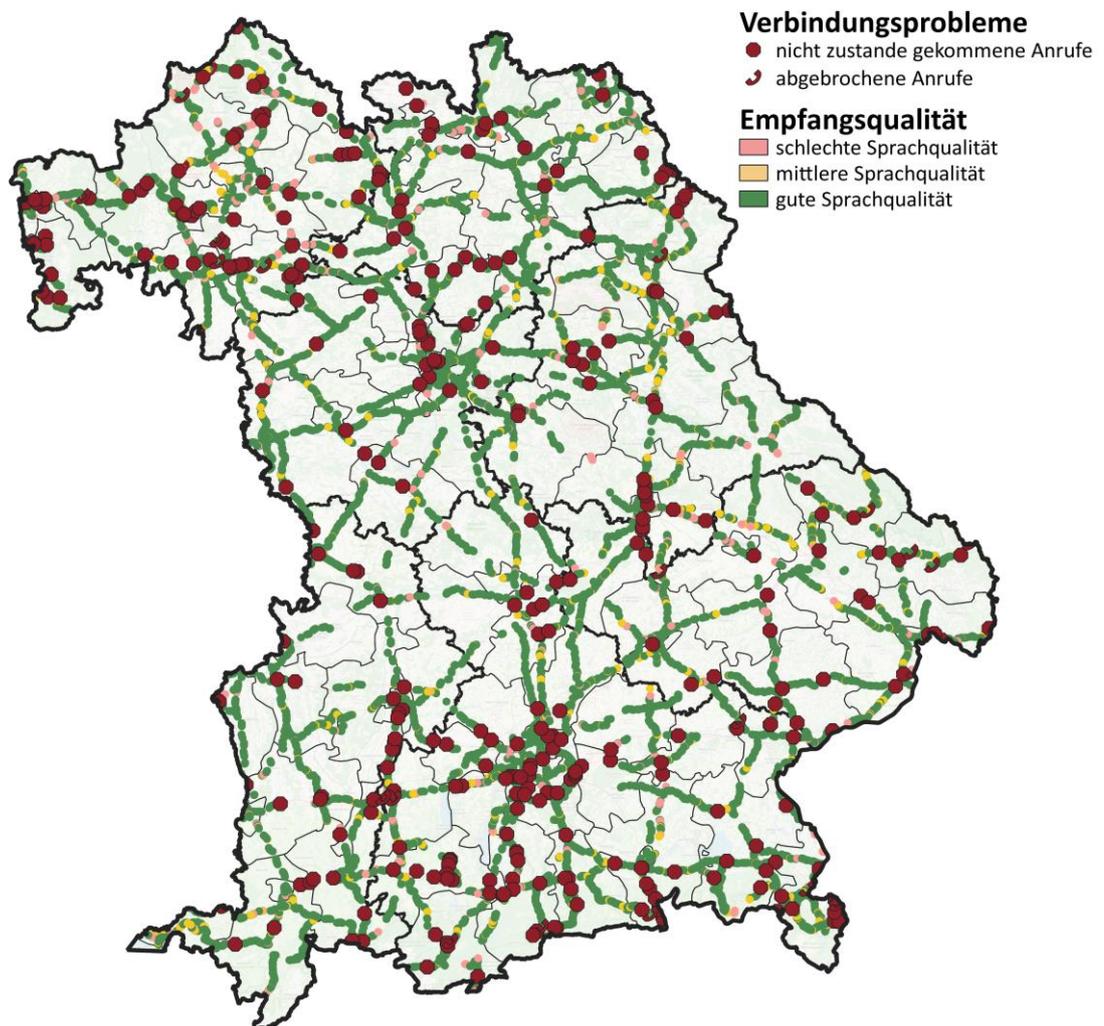
Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.

Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Auch bei der Sprachqualität im Mobilfunknetz von Provider C (Abbildung 23) ist bei einem Großteil der Messpunkte eine gute Sprachqualität ermittelt worden. Jedoch gibt es in diesem Netz vergleichsweise viele Verbindungsprobleme. Häufig kommen Anrufe nicht zustande. Das Problem tritt auch um Metropolen wie München auf. Ursache könnte etwa eine Netzüberlastung sein.

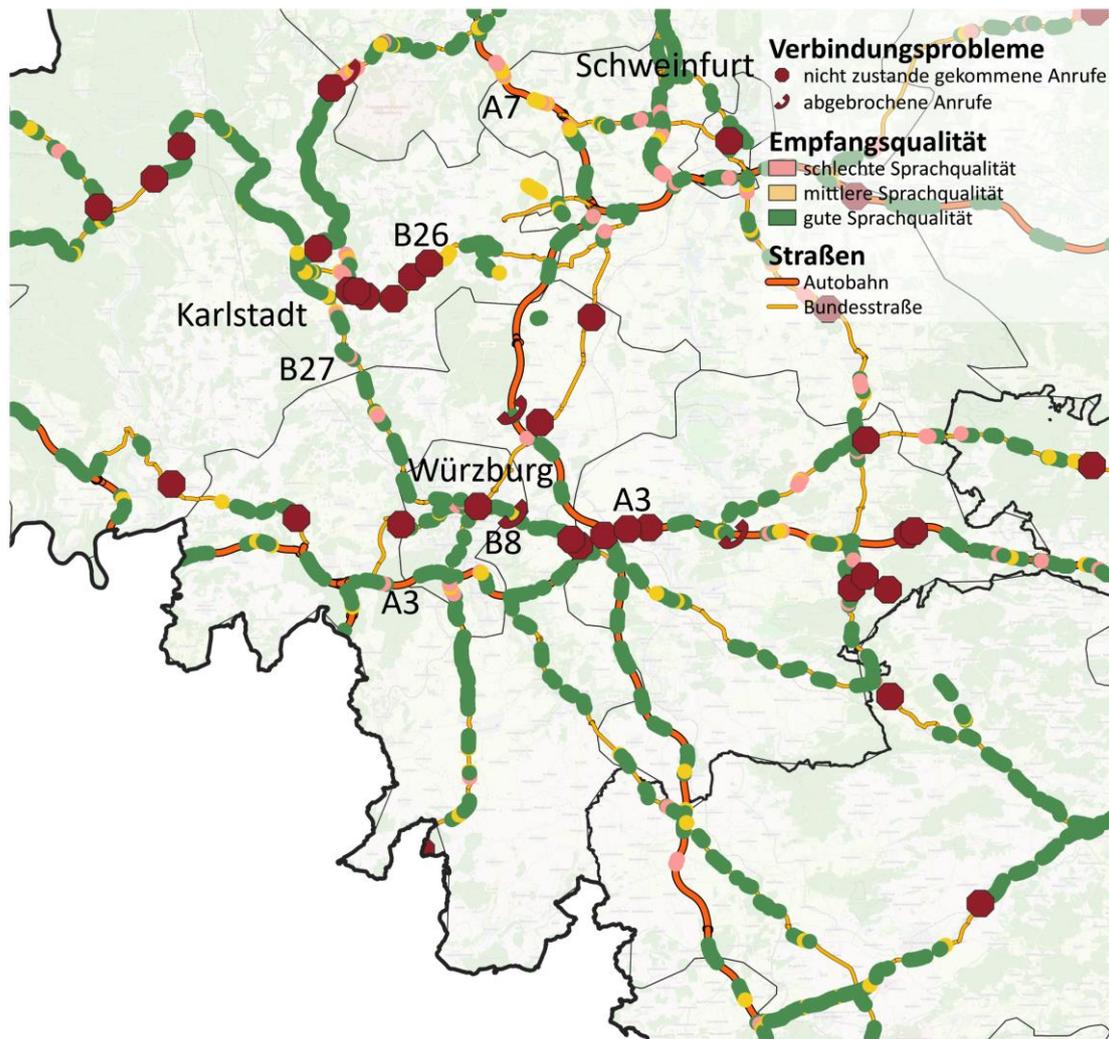
Abbildung 23  
 Problemstellen für Sprachtelefonie – Provider C



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

Lokale Probleme im Mobilfunknetz von Provider C treten etwa in der Region Würzburg auf (siehe Abbildung 24). Auf der A3 östlich von Würzburg konnten mehrere Anrufe nicht aufgebaut werden. Auf der B8 am Stadtrand von Würzburg brach ein Gespräch ab. Nicht zustande gekommene Anrufe wurden auch auf der B26 bei Karlstadt aufgezeichnet. Um Schweinfurt ist die Sprachqualität auf der A7 nur schlecht bis mittel.

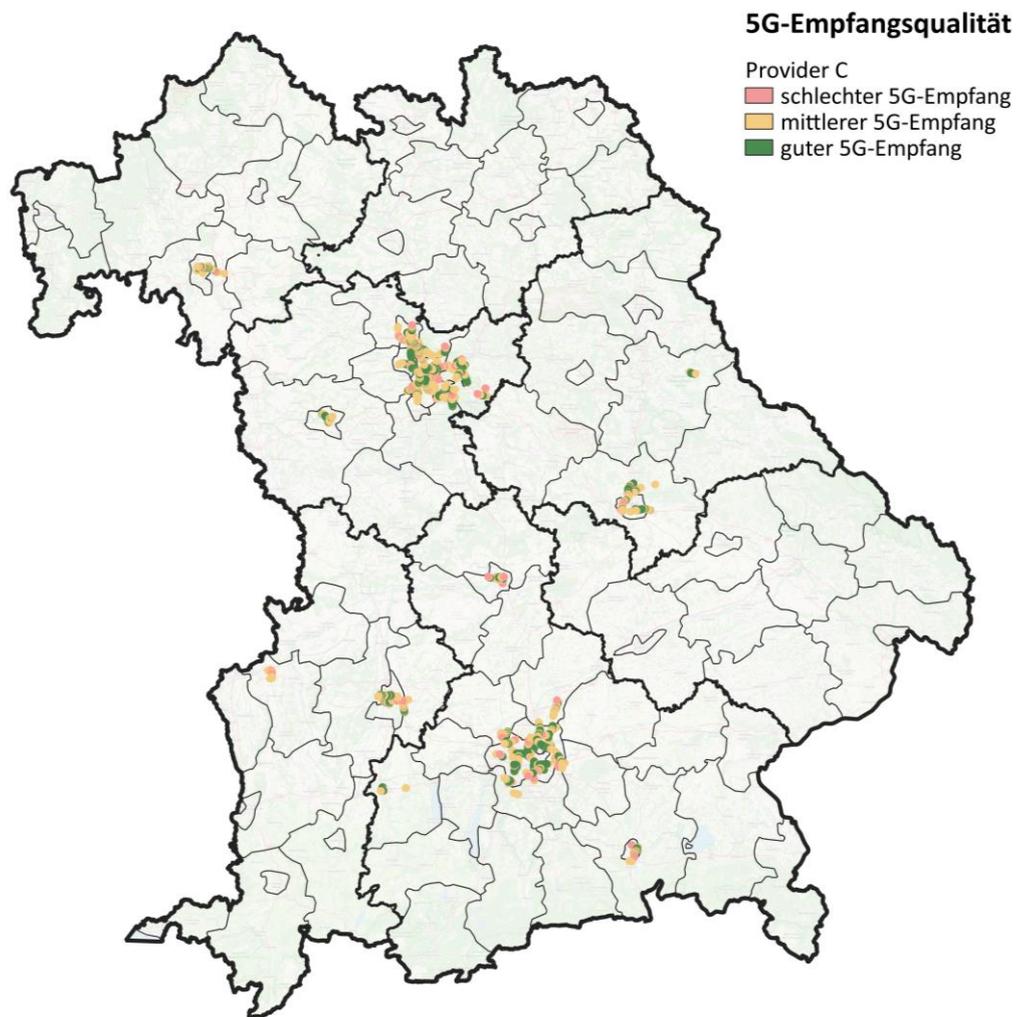
Abbildung 24  
 Detaildarstellung der Empfangsqualität – Provider C



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende, ArcGIS Hub (2021).

5G-Empfang ist im Netz von Provider C auf einige wenige Städte beschränkt (siehe Abbildung 25). Die Empfangsqualität bei München und Nürnberg ist meistens mittelmäßig. 5G-Empfang ist zudem auch in Regensburg, Augsburg, Würzburg, Ingolstadt, Rosenheim und Ansbach möglich. Auf bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen außerhalb der Städte konnte in diesem Netz noch kein 5G-Empfang gemessen werden.

Abbildung 25  
 Verteilung der 5G-Empfangsqualität – Provider C



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.  
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2021), eigene Berechnungen IW Consult.  
 Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende.

### 3.3 Geförderter Ausbau der Mobilfunknetze in Bayern

Das bayerische Mobilfunkförderprogramm ermöglicht es Kommunen, in denen aus mangelnder Wirtschaftlichkeit bislang keine hinreichende Versorgung besteht, die Netzbetreiber beim Ausbau des Mobilfunknetzes zu unterstützen. Seit dem 01. Dezember 2018 können die Kommunen in Bayern am bayerischen Mobilfunk-Förderprogramm teilnehmen. Das Programm mit einem Fördervolumen von insgesamt 80 Millionen Euro richtet sich damit vor allem an ländliche Regionen mit einer geringen Bevölkerungsdichte. Diese können bis 2022 so den Netzausbau vor Ort fördern. Des Weiteren wurde ein großangelegter Ausbau des Mobilfunks in Bayern mit den drei Mobilfunkanbietern vereinbart, der die gesetzlichen Verpflichtungen der Netzbetreiber übersteigt.

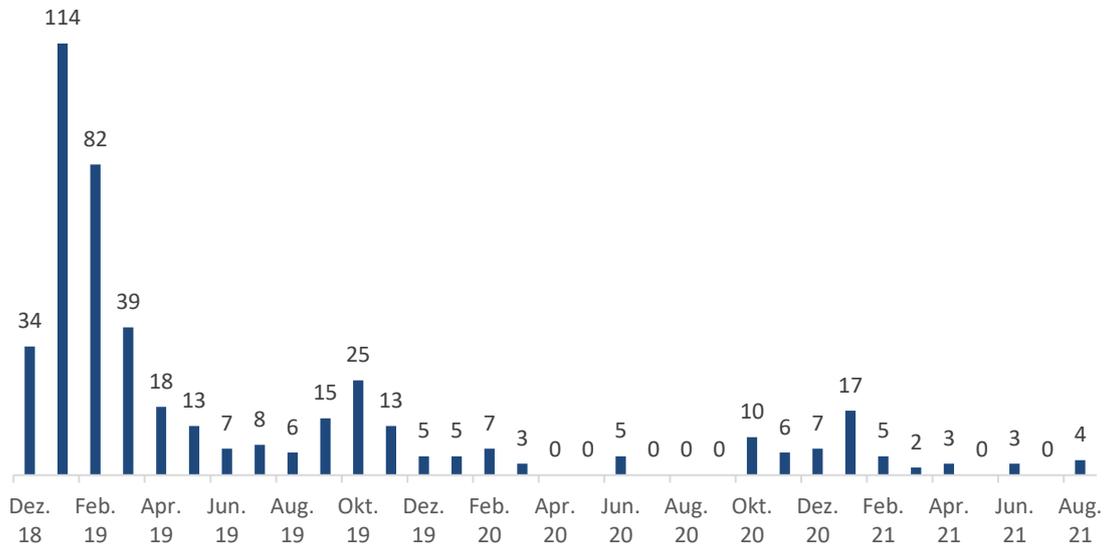
Das Förderprogramm unterstützt zwei Modelle des Netzausbaus: das Mietmodell und das BOS Modell. Im Rahmen des Mietmodells werden Kommunen beim Aufbau passiver Infrastruktur für Mobilfunkstandorte gefördert, welche anschließend durch die Netzbetreiber genutzt werden. Dabei können die Gemeinden den Mobilfunkmasten selbst errichten oder das an einen Konzessionär vergeben. Der neue Mobilfunkstandort wird anschließend an einen oder mehrere Netzbetreiber vermietet. Durch eine vorherige Markterkundung wird sichergestellt, dass der Bau neuer Funkmasten nur an Standorten gefördert wird, die nicht innerhalb der nächsten drei Jahre durch einen Netzbetreiber eigenwirtschaftlich erschlossen werden, oder an denen Netzbetreiber durch Versorgungsauflagen zu einem Ausbau verpflichtet sind. Der Fördersatz beträgt grundsätzlich bis zu 80 Prozent der förderfähigen Kosten. Für Gemeinden in Räumen mit besonderem Handlungsbedarf kann der Fördersatz auf 90 Prozent steigen. Die Obergrenze des Förderbetrags liegt bei jedem Projekt bei 500.000 Euro. Kooperieren mehrere Gemeinden, erhöht sich die Maximalförderung um 50.000 Euro für jede beteiligte Gemeinde.

Das BOS Modell stellt die zweite Fördervariante dar. Hierbei werden die Netzbetreiber für die Ertüchtigung bestehender Digitalfunk-Standorte des staatlichen Behördenfunks BOS gefördert. Die Förderung umfasst dabei auch einen etwaigen Austausch oder Neubau von Masten. Auch hier liegt der Fördersatz bei maximal 80 Prozent, bei einer maximalen Fördersumme von 500.000 Euro.

Abbildung 26 zeigt die Markterkundungsverfahren, die nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie seit Beginn des Förderprogramms eingeleitet wurden. Seit Dezember 2018 wurden knapp 460 Verfahren eingeleitet, was auf ein großes Interesse der Kommunen am Förderprogramm hinweist. Die Mehrheit der Markterkundungsverfahren erfolgte Anfang des Jahres 2019, unmittelbar nach Programmstart. Jedoch kamen auch 2021 noch 34 Kommunen hinzu.

Abbildung 26

Eingeleitete Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern



Datenstand: 01. September 2021.

Quelle: StMWi (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Die Nachfrage der Kommunen ist entsprechend der Versorgungssituation insbesondere außerhalb der Ballungsräume hoch. Fast jede vierte Kommune in Bayern war Mitte 2021 im Mobilfunkförderprogramm aktiv (Tabelle 4). Insbesondere in Niederbayern und der Oberpfalz war die Nachfrage bzgl. des Förderprogramms hoch. Rund 39 Prozent der Kommunen in den beiden Regierungsbezirken sind aktuell im Programm aktiv.

Tabelle 4

## Regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau nach Regierungsbezirken

Regierungsbezirk	Anzahl Kommunen mit gestarteten Markterkundungsverfahren bis Ende Juni 2020	Anteil Kommunen mit gestarteten Markterkundungsverfahren an allen Kommunen des Regierungsbezirks
Oberbayern	73	14,6%
Niederbayern	100	38,8%
Oberpfalz	88	38,9%
Oberfranken	54	25,2%
Mittelfranken	55	26,2%
Unterfranken	47	15,3%
Schwaben	39	11,5%
<b>Bayern insgesamt</b>	<b>456</b>	<b>22,2%</b>

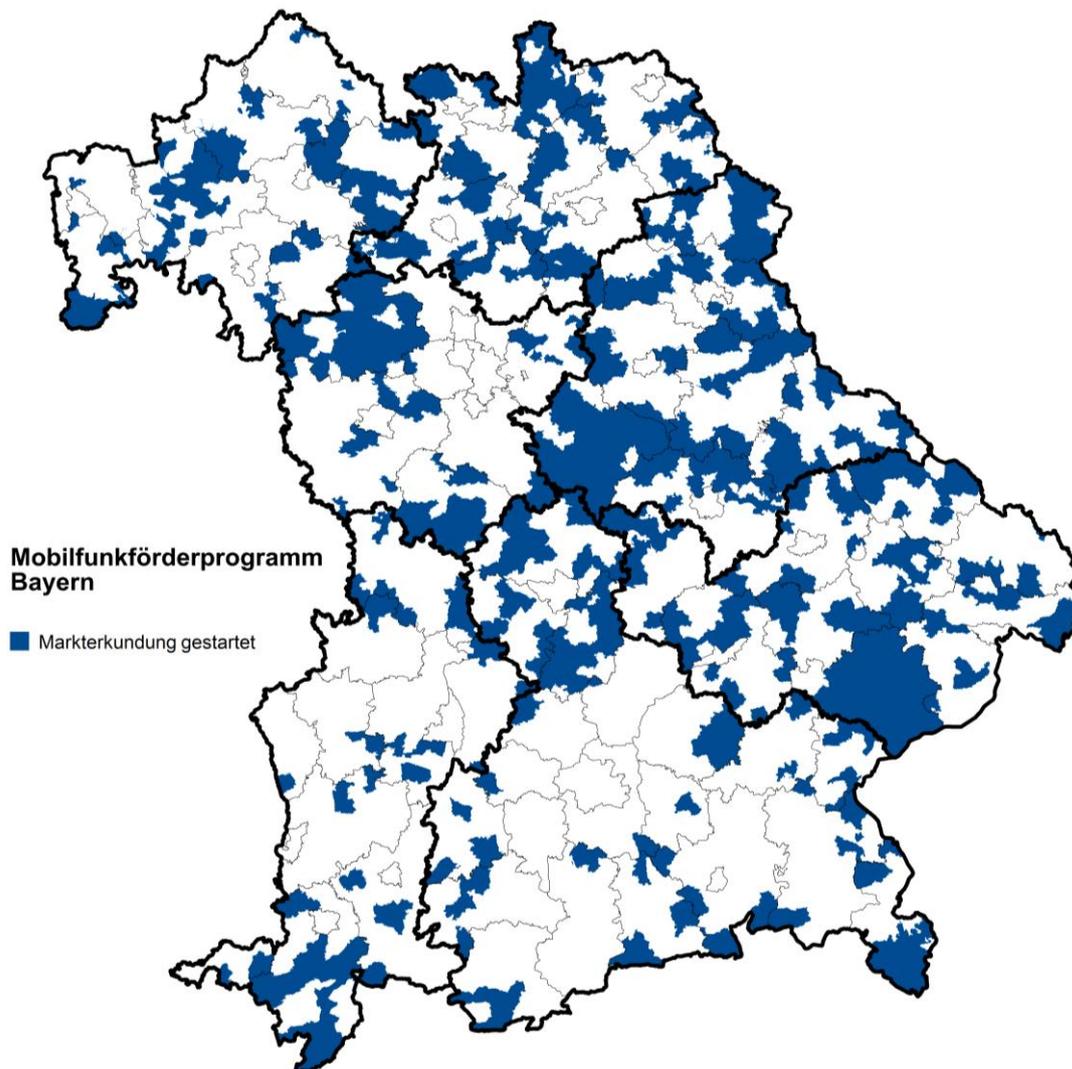
Datenstand: 01. September 2021.

Quelle: StMWi (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Abbildung 27 zeigt die regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern. Hier lässt sich die hohe Nachfrage des Mobilfunkförderprogramms in Bayern optisch nachvollziehen.

Abbildung 27

## Regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern



Datenstand: 01. September 2021.

Quelle: StMWi (2021), eigene Berechnungen IW Consult.

Zum Stand 01. September 2021 wurden insgesamt 91 Förderbescheide im Wert von zusammen 45,6 Millionen Euro bewilligt. In zwei Verfahren griff der maximale Fördersatz von 500.000 Euro zzgl. des Kooperationszuschlags. Bei rund zwei Drittel der Kommunen lag der Fördersatz bei 90 Prozent, bei dem restlichen Drittel bei 80 Prozent. 16 Kommunen haben mit der Ausschreibung des Mobilfunkstandortes begonnen. 14 Kommunen nutzen dafür das Konzessions-Modell, zwei die Ausschreibung eines Bauauftrags.

## 4 Ausbauperspektiven im 5G und 6G-Mobilfunknetz

### Deutschland im internationalen Vergleich mit Nachholbedarf

#### 4.1 Verbreitung von 5G-Netzen in Deutschland

Am 12. Juni 2019 endete die 5G-Frequenzauktion, die Netzbetreibern zusätzliche Frequenzen für den Ausbau der 5. Mobilfunkgeneration bot (Bundesregierung, 2019). Für insgesamt rund 6,5 Milliarden Euro erhielten vier Mobilfunkanbieter den Zuschlag. Der Erlös diente dem Ausbau der digitalen Infrastruktur in Deutschland. Ein flächendeckendes Netz soll unter Aufsicht der Bundesnetzagentur ausgebaut werden. Auflagen sollen Sorge tragen, dass neben Metropolen auch ländliche Räume in den Genuss schnellen Mobilfunkempfangs kommen. Allein um Funklöcher zu schließen, ist ein Aufbau von 5.000 Mobilfunkmasten notwendig (Bundesregierung, 2021b). Die Bundesregierung investiert etwa 1,1 Milliarden Euro, damit auch unwirtschaftliche Standorte zügig ausgebaut werden.

2,5 Jahre nach der Versteigerung der Frequenzen ist der Prozess noch nicht abgeschlossen. Die Bundesregierung hat daher als Teil der Mobilfunkstrategie eine Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft gegründet, die milliardenschwere Förderprogramme zum Netzausbau dort umsetzen soll, wo nicht privat ausgebaut wird und keine Versorgungsauflagen bestehen. Dazu sollen Genehmigungsverfahren zur Aufstellung entsprechender Mobilfunkmasten beschleunigt werden. Im Januar 2021 nahm die Gesellschaft mit Sitz in Naumburg in Sachsen-Anhalt die Arbeit auf. Sie wird Kommunen bei der Suche nach Standorten und bei der Bewältigung bürokratischer Hürden im Genehmigungsverfahren unterstützen.

Die Diskussionen um den Ausbau hat stellenweise auch eine gesellschaftliche Diskussion hinsichtlich des Ausbaus an Mobilfunkmasten und deren potenziellen Auswirkungen ausgelöst. Kommunen und Netzbetreiber sind zunehmend mit kritischen Stellungnahmen aus der Bevölkerung und Bürgerbegehren konfrontiert. Dahinter stehen insbesondere Unsicherheiten über gesundheitliche Langzeitfolgen elektromagnetischer Strahlung. Die Bundesregierung hat darauf mit der Dialoginitiative „Deutschland spricht über 5G“ reagiert, um niederschwellig in den Austausch mit besorgten Bürgerinnen und Bürgern zu kommen. Die Initiative möchte wiederkehrende Fragen erläutern und Bedenken entgegenreten (Bundesregierung, 2020). Dabei soll faktenbasiert, sachlich und transparent über das Thema 5G informiert werden. Bürger erhalten Informationen, wie sie beispielsweise hinsichtlich ihrer eigenen Gesundheitsvorsorge oder individuellen Mobilität unmittelbar von der 5G-Technologie profitieren.

Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der 5G-Technologie sind heute schon an vielen Stellen Bayerns erlebbar. Die Bandbreite reicht dabei vom industriellen Nutzen bis zum Entertainment, wie drei konkrete Beispiele zeigen (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2021):

- *Audi*: In Ingolstadt hat der bayerische Automobilhersteller ein 5G-Pilotprojekt initiiert. Ein industrieller Roboter baut Airbags in Lenkräder ein. Dank der schnellen Reaktionszeit von 5G stoppt die Sicherheitssensorik des Roboters, beispielsweise wenn sich ein Mensch nähert und Gefahr droht. Ericsson begleitet dieses Projekt, das als eine der ersten 5G Automatisierungs-Anwendungen in Bezug auf Personensicherheit gilt.
- *BMW*: Der Automobilhersteller testet mit einem 5G-Campus-Netz (siehe Kapitel 5.1.3) die Automatisierung von Produktionsabläufen auf dem Werksgelände in Dingolfing. Dort werden mit drei bayerischen Partnerunternehmen autonome, vernetzte und intelligente Logistiklösungen erforscht. Auch das bayerische Wirtschaftsministerium beteiligt sich an diesem Projekt. Ziel ist es, eine vollvernetzte Produktion mit autonomen Transportsystemen so aufzubauen, dass Logistikroboter und mobile Geräte sowohl miteinander als auch mit dem Leitsystem kommunizieren.
- *FC Bayern München*: Mit insgesamt elf 5G-Antennen soll den Zuschauern in der Allianz Arena ein außergewöhnliches Stadionerlebnis ermöglicht werden. Der bayerische Rekordmeister bietet seinen Besuchern in Kooperation mit der Deutschen Telekom nicht nur eine schnelle Datenübertragung in Echtzeit. Fans können auch Virtual-Reality-Anwendungen nutzen und Selfies mit den Avataren der Spieler machen.

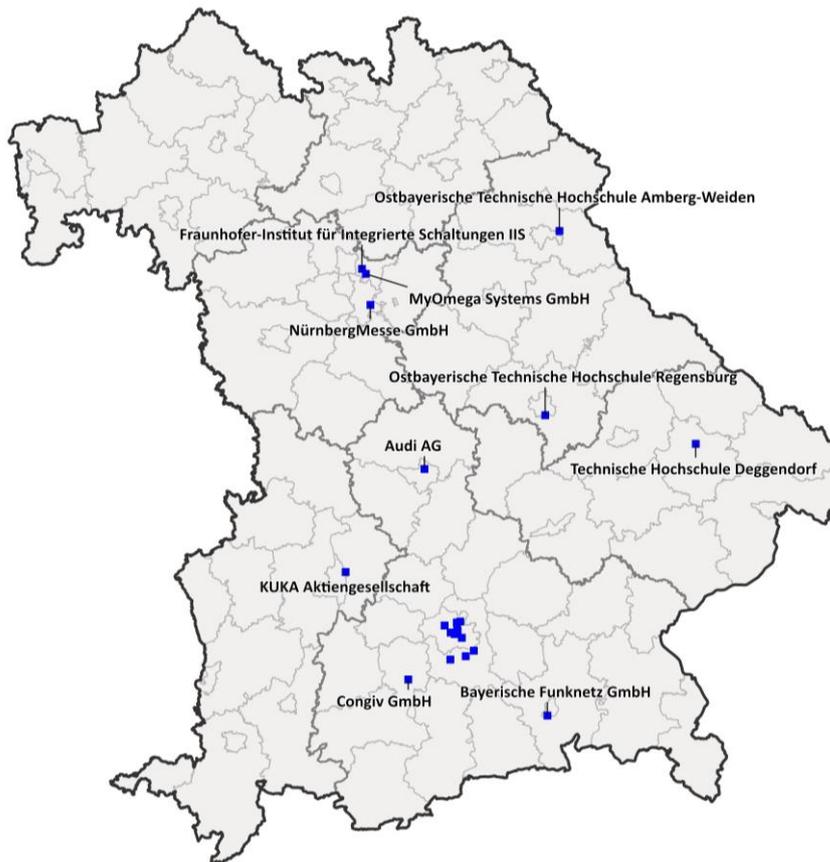
#### 4.1.1 Campus-Netze

Campus-Netze sind begrenzte und leistungsstarke nicht-öffentliche Funknetze. Unternehmen und öffentliche Institutionen (zum Beispiel Universitäten) bieten dabei ausgewählten Nutzern einen schnellen, zuverlässigen und latenzarmen mobilen Datenverkehr. Insbesondere der Industrie bietet das Campus-Netz beziehungsweise Non-Public Network (NPN) eine verlässliche, exklusive und sichere Datenübertragung. Diese Eigenschaften sind unverzichtbar für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen der Industrie 4.0. Einige Unternehmen beabsichtigen zur Verbesserung ihrer Geschäftsprozesse diese Netze zeitnah aufzubauen. Insbesondere für die Automobil- und die Zulieferindustrie in Bayern verspricht die Entwicklung Wettbewerbsvorteile aufgrund des großen Preis- und Qualitätsdrucks.

5G-Lizenzen für Campus-Netze können seit 2019 bei der Bundesnetzagentur erworben werden. Diese Netze können eigenverantwortlich oder durch einen Telekommunikationsdienstleister betrieben werden. Vorab ist die Beantragung für die Frequenzuteilungen für lokale Frequenznutzungen im Bereich 3.700 bis 3.800 MHz erforderlich (Bundesnetzagentur, 2021). Bisher wurden 158 Anträge auf Zuteilung von Frequenzen für lokale 5G-Netze gestellt (Stand 15.10.2021). 87 der 158 Zuteilungsnehmer haben der Veröffentlichung zugestimmt. Davon sind 21 Campus-Netze (Hochschulen, Institutionen und Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen) in Bayern zu verorten. Acht befinden sich in der Landeshauptstadt, drei weitere im Landkreis München (Abbildung 28).

Abbildung 28

## Lokalisierung ausgewählter 5G-Campus-Netze in Bayern



Stand 15.10.2021.

Quelle: Bundesnetzagentur (2021), eigene Darstellung IW Consult.

Die 5G-Campus-Netze im Raum München sind folgenden Organisationen zuzuordnen:

Bayerischer Rundfunk, Bavaria Studio & Produktion Services GmbH, Becon GmbH, BMW AG, MRK Media AG, NTT DATA Deutschland GmbH, Opticon GmbH, Siemens AG, Telefónica GmbH & Co. OHG, Universität der Bundeswehr München.

Hervorzuheben ist der 5G-Campus des Fraunhofer IIS in Erlangen. Dort steht eine offene Testumgebung zur Verfügung, in der kundenspezifische Anwendungsszenarien aus dem Bereich Industrie und Logistik unter realistischen Bedingungen mit neuester Mobilfunktechnik in einem eigenständigen 5G-Campusnetz getestet werden können.

#### 4.1.2 Exkurs: Perspektive Open RAN

Obwohl die Anwendungsmöglichkeiten von 5G noch nicht voll erschlossen sind und die 6G-Forschung (Kapitel 5.3) erst anläuft, rückt bereits ein weiterer Entwicklungsschritt in Sichtweite. Open RAN (Radio Access Network, RAN) entkoppelt Hard- und Software durch die Definition von Standards für offene Schnittstellen. Damit sollen Abhängigkeiten von den Herstellern der bislang geschlossenen Systeme abgebaut werden. Zudem soll das Netz preiswerter und flexibler werden, da an Stelle der Runderneuerung technischer Systeme und Komponenten neue Mobilfunkgenerationen per Softwareupdate eingeführt werden können.

Die Bundesregierung will bei Open RAN eine Führungsrolle gewinnen (BMVI, 2021a). Dazu sollen Unternehmen bei der Entwicklung und Erprobung von Open RAN unterstützt, Akteure vernetzt und durch Teststrukturen konkrete Anwendungen für unterschiedliche Geschäftsmodelle erprobt werden. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat hierfür ein Förderprogramm ins Leben gerufen und 300 Millionen Euro zur Verfügung gestellt. Die ersten Förderprojekte sind bereits gestartet (BMVI, 2021c).

Tabelle 5

#### OpenRan-Förderprojekte

<b>Open RAN Lab</b>	
Beschreibung	Eine frei zugängliche Plattform, die unterschiedliche Akteure (beispielsweise Netzbetreiber, Netzwerklieferanten, Start-Ups, KMUs) vernetzt und technische Entwicklungen beschleunigt. Das soll übergreifendes Lernen, Erproben und Forschen angestoßen und die Entwicklung neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen im Hinblick auf ihre Markttauglichkeit zu ergründen.
Empfänger	Deutsche Telekom AG (Konsortialführer), Altran Deutschland SAS/Capgemini Engineering, BISDN GmbH, EANTC AG, Fraunhofer-Heinrich Hertz Institut, highstreet technologies GmbH, Nokia, Telefónica, TU Berlin
Fördermittel	ca. 17 Millionen Euro
<b>Protopolis</b>	
Beschreibung	Im sächsischen Plauen errichtet Vodafone den Prototyp eines auf Open RAN basierenden Netzes. Die Technologie wird auf bestehenden LTE- und 5G-Basistationen errichtet, um die Integration in das bestehende Mobilfunknetz unter Realbedingungen zu erproben.
Empfänger	Vodafone GmbH
Fördermittel	ca. 1,5 Millionen Euro

---

**O-RAN Town**


---

Beschreibung	In Neubrandenburg plant die Deutsche Telekom Open RAN in einer Pilotstadt aufzubauen. Dabei soll der reale Wirkbetrieb unter Beteiligung deutscher und europäischer Hersteller erforscht werden. Die Ergebnisse des Realbetriebs dienen als Grundlage für zahlreiche weitere Projekte.
Empfänger	Deutsche Telekom AG
Fördermittel	ca. 10,5 Millionen Euro

---

**O-RAN Ecosystem Enabler**


---

Beschreibung	Nokia errichtet in Ulm ein Testcenter, um Open RAN unter Realbedingungen zu testen. Hier soll die Interoperabilität von Produkten und Lösungen mehrerer Anbieter erprobt werden. Darüber hinaus sollen Optimierungsmöglichkeiten zur Effizienzsteigerung des RAN-Netzes hinsichtlich der Qualität und des Energieverbrauchs erforscht werden. Ziel ist es ein Open Ran-Ökosystem aufzubauen und Grundlagen für weitere Open RAN-Lab- und Open Ran-City-Projekte zu schaffen.
Empfänger	Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG
Fördermittel	ca. 2,5 Millionen Euro

---

Die Entwicklung der Open RAN Technologie steht noch am Anfang. Dementsprechend kritisch wird die Diskussion in der Fachwelt geführt. Hauptkritikpunkte sind vor allem eine nachlassende Performance bei zunehmender Nutzung sowie der relativ hohe Energieverbrauch. Entgegen der Erwartung der Bundesregierung, mit den aufgeführten Forschungsprojekten mehr Unabhängigkeit von außereuropäischen Netzbetreibern zu erzielen und sich von geschlossenen Systemen zu lösen, gehen aktuelle Einschätzungen von Experten eher davon aus, dass Open RAN die Marktstellung US-amerikanischer und asiatischer Hersteller aufgrund aktueller technologischer Vorsprünge weiter festigen wird.

## 4.2 Der nationale 5G-Ausbau im internationalen Vergleich

Im internationalen Wettbewerb wird der 5G-Ausbau intensiv vorangetrieben. Die Ergebnisse des vergangenen Jahres dokumentierten, dass Deutschland im Vergleich mit den wichtigen Wettbewerbern Japan, Südkorea, China und USA deutlich schlechtere Voraussetzungen für den Ausbau von 5G hatte und die Wettbewerber dadurch vorne lagen. Mit der 5G-Frequenzaktion im Jahr 2019 wurden zumindest die Voraussetzungen dafür geschaffen, die Infrastruktur in Deutschland adäquat auszustatten und den Anschluss nicht zu verlieren.

Anschließend an die letztjährige Analyse zu den Ausbauplänen relevanter Wettbewerber werden nachfolgend für diesen Ausbau relevante Indikatoren im Vergleich Deutschlands mit den genannten Wettbewerbern ausgewertet. Wieder wurden die drei Kategorien Märkte, Netze und Frequenzen gebildet, um die drei wesentlichen Faktoren zur Beschreibung des Mobilfunkausbaus zu analysieren. Innerhalb dieser drei Kategorien wurden im Vergleich zum letzten Jahr neue Indikatoren verwendet, die Aussagen über die Entwicklung im 5G-Netz ermöglichen.

- Berücksichtigt wurden Unterschiede sowohl bei der mit 5G versorgten Bevölkerung als auch bei der Anzahl der Sendestationen pro Einwohner.
- Mit aufgenommen wurden Latenzen in den Mobilfunknetzen, um Unterschiede mit Blick auf das industrielle Mobilfunknetz festzustellen.
- Die unterschiedliche Netzabdeckung mit 5G hat Auswirkungen auf die Möglichkeiten der Nutzer, neue digitale Angebote wahrzunehmen. Dementsprechend werden die Anzahl der Mobilverträge, der Umsatz der mobilen Daten- und Sprachkommunikation und der monatliche Datenverbrauch pro Vertrag als neue Indikatoren berücksichtigt.

Die Indikatorenwerte können den nachfolgenden Dashboards für die vier mit Deutschland verglichenen Länder entnommen werden. In Klammern ist für jeden Indikator die jeweilige Platzierung im Ländervergleich dargestellt.

### 4.2.1 Deutschland

Tabelle 6  
Mobilfunk-Dashboard für Deutschland

 Märkte		 Netze		 Frequenzen	
Mobilfunkverträge je 100 Einwohner (2020)	<b>128</b> (4.)	Anteil der Bevölkerung, der mit 5G versorgt wird (2021)	<b>21,5%</b> (4.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation am BNE (2020)	<b>0,9%</b> (2.)	Einwohner pro 5G-Sendestation (2020)	<b>1.607</b> (3.)	Mittlere Frequenzen (1-6 GHz)	✓
Mtl. mobiler Datenverbrauch pro Vertrag in MB (2020)	<b>4.356</b> (4.)	Erfüllungsgrade Latenzen: Klasse OTT Sprachdienste (bis 100 ms) (2021)	<b>97,3%</b> (3.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	✓

Ursprungsdaten: ITU (2021); Europäische Kommission (2021); Rügheimer (2021).

Tabelle 6 zeigt, dass Deutschland in den Status quo des Mobilfunkausbaus beschreibenden Indikatoren im Vergleich zu wichtigen Wettbewerbsländern im Mittelfeld rangiert.

Deutschland und die USA sind indes die einzigen Länder in dem Vergleich, in denen alle relevanten Frequenzen genutzt werden können.

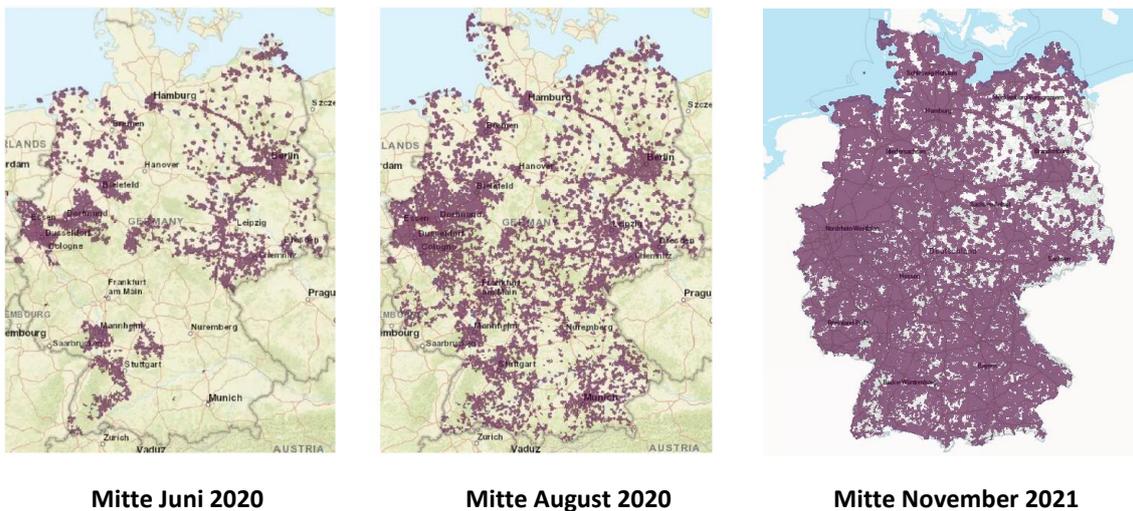
So liegt Stand heute der Umsatz mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation höher als in anderen Ländern mit vergleichbarer Wirtschaftskraft, doch zeigt zum einen die geringere Anzahl der mobilen Handyverträge (128 pro 100 Einwohner, Japan: 152) sowie auch der deutlich geringe monatliche Datenverbrauch pro Vertrag mit knapp 4,4 Gigabyte (Südkorea: 10,4 Gigabyte), dass die Mobilfunknutzung im privaten Bereich bislang eher gering ausfällt. Hinsichtlich der Netze schneidet Deutschland ebenfalls eher unterdurchschnittlich ab. Mit einer 5G-Abdeckung von 21,5 Prozent ist der Anteil der 5G-Verbindungen geringer als in Südkorea (67,6 Prozent), USA (57,9 Prozent) und China (46,0 Prozent).

Die Entwicklung der 5G-Abdeckung der Deutschen Telekom (Abbildung 29) zeigt gleichwohl, dass ein dynamischer Aufholprozess stattfindet. Dies liegt in der Nutzung von Dynamic Spectrum Sharing (DSS) begründet. Bestehende Antennen werden softwareseitig ertüchtigt, dadurch erhöht sich aber die Bandbreite nicht signifikant. 5G-Geschwindigkeit benötigen auch Hardware-Updates, die erst sukzessive erfolgen.

Die Akzeptanz von 5G in der Bevölkerung ist in Deutschland mehrheitlich vorhanden. Knapp ein Viertel der Bevölkerung hat jedoch Vorbehalte gegenüber dem neuen Mobilfunkstandard. Der Anteil ist in etwa so hoch wie in den USA. In China haben rund 41 Prozent Sorgen, wenn sie auf 5G angesprochen werden (YouGov, 2021).

Abbildung 29

5G-Mobilfunkabdeckung im Netz der deutschen Telekom



Abruf: 15. November 2021. Dunkel eingefärbte Bereiche: Abdeckung mit 5G.  
 Quelle: Deutsche Telekom (2021), vbw (2020).

## 4.2.2 Japan

Tabelle 7

### Mobilfunk-Dashboard für Japan

Märkte		Netze		Frequenzen	
Mobilfunkverträge je 100 Einwohner (2019)	<b>152 (1.)</b>	Anteil der Bevölkerung, der mit 5G versorgt wird (2021)	<b>16,6% (5.)</b>	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	
Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation am BNE (2020)	<b>1,2% (1.)</b>	Einwohner pro 5G-Sendestation	<b>2.516 (4.)</b>	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	
Mtl. mobiler Datenverbrauch pro Vertrag in MB (2020)	<b>4.973 (3.)</b>	Erfüllungsgrade Latenzen: Klasse OTT Sprachdienste (bis 100 ms) (2021)	<b>98,4% (1.)</b>	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	

Ursprungsdaten: ITU (2021); Europäische Kommission (2021); Rügheimer (2021).

Japan ist im weltweiten Vergleich eine der führenden Nationen im Bereich der Telekommunikation (Germany Trade & Invest, 2021b). Auch hinsichtlich der 5G Entwicklung wurde frühzeitig der Nutzen sowohl für die produzierende Industrie als auch für die innovationsaffine Bevölkerung erkannt und in einen schnellen Aufbau von 5G-Infrastruktur umgesetzt. Den 4G-Trend hatte Japan noch unterschätzt, nachdem es noch in der vorherigen Generation zu den Weltmarktführern gehörte.

Platz 1 im Ländervergleich bei der Anzahl der abgeschlossenen Verträge sowie beim Umsatz im Mobilfunkbereich dokumentieren, dass es großes Potential für technologische Fortschritte und viel Akzeptanz für zukünftige technische Entwicklungen gibt. Der vermeintlich schlechte Wert hinsichtlich der Einwohner pro 5G-Sendemast ist weniger mit dem Ausbau als vielmehr mit der hohen Konzentrierung der Bevölkerung auf engem Raum zu begründen.

Japans Regierung wird dem 5G-Ausbau weiterhin eine hohe prioritäre Bedeutung beimessen. Investitionen in zweistelliger Milliardenhöhe hat die Regierung für den Ausbau der Infrastruktur vorgesehen. Darüber hinaus wurden steuerliche Vorteile für Investitionen in 5G-Ausrüstungen geschaffen.

### 4.2.3 Südkorea

Tabelle 8

#### Mobilfunk-Dashboard für Südkorea

 Märkte		 Netze		 Frequenzen	
Mobilfunkverträge je 100 Einwohner (2019)	<b>138 (2.)</b>	Anteil der Bevölkerung, der mit 5G versorgt wird (2021)	<b>67,6% (1.)</b>	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	
Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation am BNE (2020)	<b>0,8% (3.)</b>	Einwohner pro 5G-Sendestation	<b>319 (1.)</b>	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	
Mtl. mobiler Datenverbrauch pro Vertrag in MB (2020)	<b>10.387 (1.)</b>	Erfüllungsgrade Latenzen: Klasse OTT Sprachdienste (bis 100 ms) (2021)	<b>98,2% (2.)</b>	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	

Ursprungsdaten: ITU (2021); Europäische Kommission (2021); Rügheimer (2021).

Südkorea bietet die besten Grundvoraussetzungen für einen zügigen 5G-Ausbau. Zum einen verfügt das Land seit mehr als fünf Jahren über eine 4G-Abdeckung von annähernd 100 Prozent, zum anderen erfolgte die 5G-Frequenzvergabe bereits frühzeitig im Sommer 2018. Dementsprechend ist Südkorea im Ländervergleich führend hinsichtlich der Dichte der 5G-Sendestationen sowie mit einem bereits mit 67,6 Prozent versorgten Bevölkerungsanteil. Schätzungsweise 162.000 Sendestationen tragen zu dieser engmaschigen flächendeckenden Versorgung bei.

Der monatliche mobile Datenverbrauch von ca. 10,4 GB pro Einwohner dokumentiert die hohe Smartphone-Affinität der Bevölkerung. Insgesamt verfügt Südkorea damit über sehr gute Voraussetzungen, den digitalen Transformationsprozess des Landes fortzusetzen.

## 4.2.4 China

Tabelle 9  
Mobilfunk-Dashboard für China

 Märkte		 Netze		 Frequenzen	
Mobilfunkverträge je 100 Einwohner (2020)	<b>118</b> (5.)	Anteil der Bevölkerung, der mit 5G versorgt wird (2021)	<b>46,0%</b> (3.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation am BNE (2020)	<b>0,6%</b> (5.)	Einwohner pro 5G-Sendestation	<b>1.531</b> (2.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	✓
Mtl. mobiler Datenverbrauch pro Vertrag in MB (2020)	<b>9.952</b> (2.)	Erfüllungsgrade Latenzen: Klasse OTT Sprachdienste (bis 100 ms) (2021)	<b>15,5%</b> (5.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	⌚

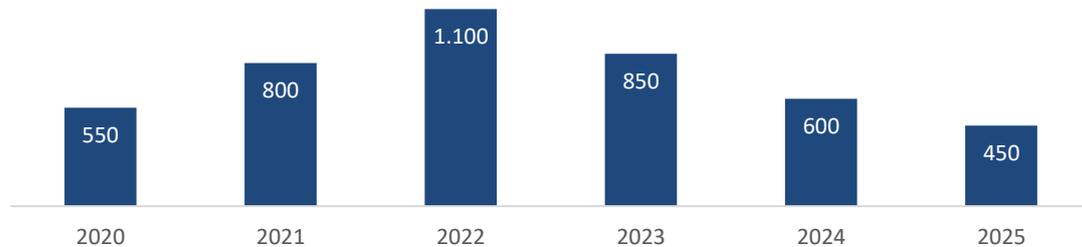
Ursprungsdaten: ITU (2021); Europäische Kommission (2021); Rügheimer (2021).

In China wurden bereits rund 916.000 5G-Sendestationen errichtet. Das sind etwa 70 Prozent aller Stationen weltweit (China Daily, 2021b). Bei den Einwohnern pro 5G-Sendestation liegt China mit 1.531 Einwohnern pro Mast dennoch nur knapp vor Deutschland. Etwas weniger als die Hälfte der Einwohner (rund 46 Prozent) hat Zugang zu 5G. Das ist Rang 3 nach den USA und Südkorea. Der mobile Datenverbrauch pro Vertrag liegt deutlich über dem deutschen Durchschnitt. Nur in Südkorea wird noch etwas mehr verbraucht. Schlusslicht ist China bei der Anzahl der Mobilfunkverträge, dem Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation sowie mit großem Rückstand beim Erfüllungsgrad Latenzen in der Klasse OTT-Sprachdienste (Over-the-top). Die Übermittlung von Video- und Audioinhalten über Internetzugänge ist dementsprechend mit deutlich größeren Verzögerungen verbunden als in anderen Ländern. Rund 41 Prozent der Bevölkerung haben Vorbehalte gegenüber 5G (YouGov, 2021). Der Anteil ist deutlich höher als in den USA (23 Prozent) und Deutschland (24 Prozent).

China hat insgesamt starke Ausgangsbedingungen für den weiteren 5G-Ausbau, da der Mobilfunk auch als Ersatz für das eher schwache Festnetz gilt. Für das Jahr 2021 rechnet die China Academy of Information and Communications Technology (CAICT) mit etwa 200 Millionen 5G-Nutzern. 2026 sollen es rund eine Milliarde Nutzer sein (Germany Trade & Invest, 2020). Nach dem chinesischen Qianzhan Institute wird diese Zahl bereits 2024 erreicht (Germany Trade & Invest, 2021a). In China wird bereits am 5G-Ausbau im ländlichen Raum gearbeitet (China Daily, 2021a). Zum Ende des 5-Jahresplans 2025 möchte China eine volle Netzabdeckung in urbanen und ländlichen Räumen erzielen (China Daily, 2021b). Dafür ist eine erhebliche Anzahl neuer Sendestationen nötig. Das Qianzhan-Institut rechnet allein im Jahr 2022 mit etwa 1,1 Millionen neuen 5G-Stationen (Abbildung 30). Der Netzausbau soll in den nächsten sieben Jahren rund 210 Milliarden US-Dollar kosten.

Abbildung 30

Neue 5G-Sendestationen in China in 1.000 Einheiten (Prognose)



Quelle: Germany Trade & Invest (2021a), Qianzhan-Institut.

4.2.5 USA

Tabelle 10

Mobilfunk-Dashboard für die USA

Märkte		Netze		Frequenzen	
Mobilfunkverträge je 100 Einwohner (2020)	<b>134</b> (3.)	Anteil der Bevölkerung, der mit 5G versorgt wird (2021)	<b>57,9%</b> (2.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Anteil des Umsatzes mit mobiler Daten- und Sprachkommunikation am BNE (2020)	<b>0,8%</b> (3.)	Einwohner pro 5G-Sendestation	<b>6.590</b> (5.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	✓
Mtl. mobiler Datenverbrauch pro Vertrag in MB (2020)	<b>N.A.</b> (-.)	Erfüllungsgrade Latenzen: Klasse OTT Sprachdienste (bis 100 ms) (2021)	<b>93,5%</b> (4.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	✓

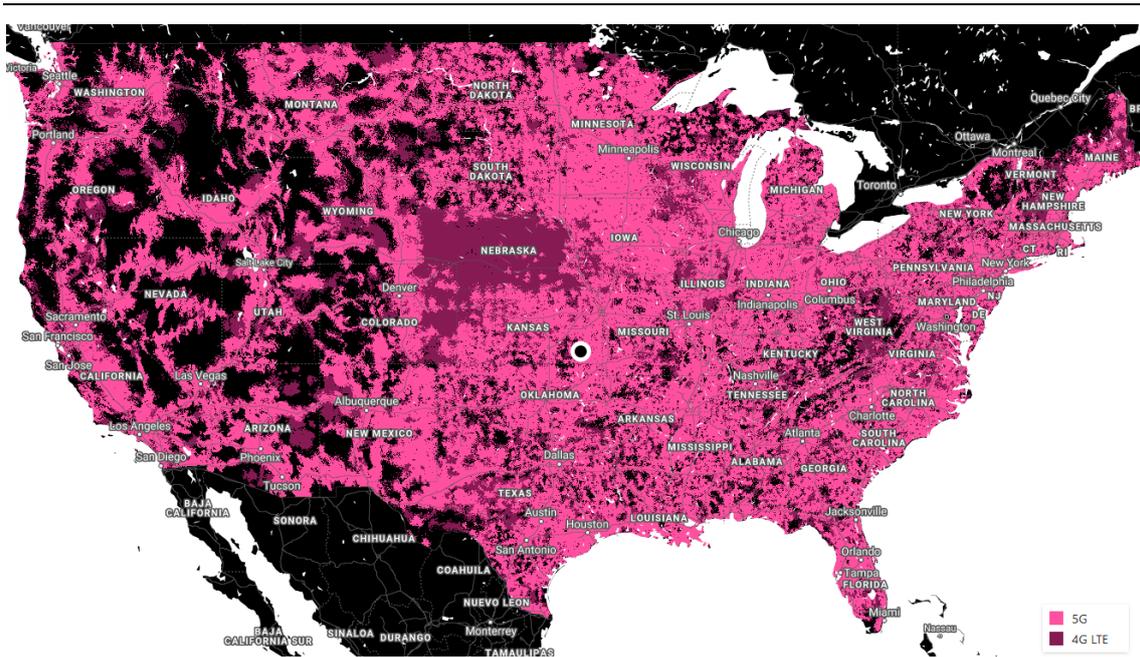
Ursprungsdaten: ITU (2021); Europäische Kommission (2021); Rügheimer (2021).

Der Mobilfunkmarkt in den USA ist nicht nur aufgrund der schieren Größe besonders attraktiv. Die USA sind auch Sitz von wichtigen Technologieunternehmen, die Anwendungszwecke für 5G oder 6G haben.

In den Vereinigten Staaten wird bereits weit über die Hälfte der Einwohner (57,9 Prozent) mit dem Mobilfunkstandard 5G versorgt. Im Vergleich der fünf ausgewählten Länder ist das Platz 2 nach Südkorea. Es gibt etwas mehr Mobilfunkverträge je 100 Einwohner als in Deutschland. Exemplarisch zeigt Abbildung 31 die Versorgung mit 5G im Mobilfunknetz

von T-Mobile USA. In großen Teilen des Netzes ist 5G nach Angaben des Betreibers verfügbar. Dazu tragen auch früh vergebene Frequenzen im Niedrig-, Mittel- und Hochfrequenzbereich bei. Im Vergleich mit Deutschland (Kapitel 5.2.1) zeigt sich nach wie vor ein leichter Vorsprung von T-Mobile USA. Das 5G-Netz der Deutschen Telekom konnte jedoch im vergangenen Jahr stark aufholen.

Abbildung 31  
 Mobilfunkabdeckung im Netz von T-Mobile USA



Abruf: 15. November 2021  
 Hell eingefärbte Bereiche: Abdeckung mit 5G; dunkel eingefärbte Bereiche: Abdeckung mit LTE (4G).  
 Quelle: T-Mobile USA (2021).

### 4.3 6G: Stand und Ausblick

Mit 6G steht die nächste Generation der Mobilkommunikation in den Startlöchern. Antriebsfeder ist neben neuen Anwendungen auch der internationale Wettlauf um die Marktvorherrschaft. Europa, Deutschland und Bayern investieren schon heute in Forschung und Entwicklung, um den Marktstart bestmöglich vorzubereiten.

#### 4.3.1 Chancen von 6G

6G gilt schon heute als Revolution. Zu Beginn des nächsten Jahrzehnts werden Daten 100-mal schneller übertragen als mit 5G. Die Datenrate kann auf bis zu 400 Gigabit pro

Sekunde steigen. Chinesische Forscher gehen sogar von bis zu 1 TB/s aus. Darüber hinaus werden die Energieeffizienz optimiert und die Ausfallsicherheit erhöht.

Die Entwicklung eröffnet und erweitert das Anwendungsfeld für neue Technologien exponentiell. Die Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise für Industrie 4.0, Medizin, Mobilität, Smart City und Entertainment, können aktuell nur skizziert werden. Zwei praktische Beispiele können dies verdeutlichen:

- *Autonomes Fahren*: In der Fachwelt wird diskutiert, inwiefern autonomes Fahren bereits mit 5G möglich ist und ob nicht erst mit 6G Dynamik in diese Entwicklung kommt, denn die maximale 5G-Datenrate von ca. 20 Gigabit/Sekunde könnte nicht ausreichen, um die Positionen aller Verkehrsteilnehmer in Echtzeit zuverlässig zu vermitteln. Zudem ist dafür eine sehr geringe Latenz erforderlich, die erst 6G mit sich bringen kann.
- *Extended Reality (XR)*: Über XR können im Gesundheitswesen beispielsweise Operationen remote, also aus der Ferne durchgeführt werden. Auch digitale Treffen werden durch die sogenannte „Telepresence“ realer dargestellt. Die Technik ermöglicht es, Menschen in 3D, Echtzeit und höchster Auflösung zu projizieren. Geschäftsreisen könnten so nochmals unwichtiger werden, die ländlichen Räume an Attraktivität gewinnen.

#### 4.3.2 Aktueller Stand

Bereits 2019 fanden sich auf der ersten 6G Wireless Summit in Finnland 25 Unternehmen ein, um das Entwicklungsprojekt Hexa-X zu gründen. Nokia führt dieses Konsortium an. Ericsson übernimmt die technische Leitung. Auch Telefónica, Orange, Atos, Intel und Apple haben sich angeschlossen. Huawei ist zwar nicht vertreten, jedoch das China Mobile Institut. Deutschland ist mit Siemens sowie der TU Dresden und der TU Kaiserslautern dabei. Mitfinanziert wird das Projekt aus dem europäischen Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020. Mit der Festlegung des 6G-Standards ist bis 2025 zu rechnen. 2030 wird die Markteinführung erwartet.

#### 4.3.3 Perspektive in Deutschland

Die Bundesregierung hat für 6G für die nächsten fünf Jahren 700 Millionen Euro bereitgestellt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat in diesem Jahr eine Förderrichtlinie veröffentlicht, um ein Innovationsökosystem für Kommunikationstechnologien rund um den Mobilfunkstandard 6G anzustoßen (BMBF 2021). Mit 250 Millionen Euro fördert das Ministerium den Aufbau von insgesamt vier Forschungs-Hubs, an denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Forschung der neuen Mobilfunkgeneration vorantreiben. Insgesamt beiliegen sich rund 50 Forschungspartner aus Wissenschaft und Wirtschaft. Weitere Maßnahmen befinden sich bereits in der Planung. Ziel ist es, mit Forschungsprojekten den technologischen Wandel innovativ mitzugestalten. Eine 6G-Plattform wird als Dachprojekt zur Entwicklung weiterer Projekte aufgebaut. Zudem werden

vier Forschungs-Hubs gefördert, in denen neue Erkenntnisse zu unterschiedlichen Schwerpunkten gewonnen werden sollen:

Die Bayerische Staatsregierung und die Sächsische Staatsregierung beauftragen das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie beziehungsweise die Sächsischen Staatsministerien für Wissenschaft, Kultur und Tourismus sowie für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr ihre umfassende Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich 6G weiter konsequent und bedarfsorientiert fortzusetzen (Bayerische Staatsregierung 2021). Ein Forschungsprojekt, in dem bayerische Akteure aktiv sind, ist 6G-life (s. Tabelle 11).

Um alle relevanten Akteure in Bayern frühzeitig in die Forschung und Entwicklung von 6G einzubinden, hat das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie das Thinknet 6G gegründet, um ein Innovationsökosystem aus Branchenakteuren, Forschungseinrichtungen, Verbänden, Innovatoren, Start-ups und Inkubatoren zu etablieren. Thinknet 6G ist sowohl ein Think Tank als auch eine Community für alle Organisationen und Interessengruppen, die an der 6G-Entwicklung interessiert sind. Thinknet 6G wird vom Zentrum für Digitalisierung.Bayern (ZD.B) bei Bayern Innovativ betrieben.

**Tabelle 11**

### 6G-Forschungsprojekte

<b>6G-life – Digitale Transformation und Souveränität künftiger Kommunikationsnetze</b>	
Beschreibung	Im 6G-life soll Spitzenforschung für Kommunikationsnetze vorangetrieben werden, die vor allem die Mensch-Maschine Kollaboration in den Fokus nimmt. Hierbei sollen unter anderem gemeinsame Projekte zwischen der Industrie und der Start-Up-Szene angestoßen werden.
Koordination	Technische Universität Dresden/ Technische Universität München
<b>6G-RIC – 6G Research and Innovation Cluster</b>	
Beschreibung	Im 6G-RIC sollen Mobilfunksysteme mit offenen Schnittstellen über alle Technologiegrenzen hinweg entwickelt werden. Zudem sollen mit dem Aufbau einer Testinfrastruktur neue Technologiekomponenten erprobt werden.
Koordination	Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI

---

### **6GEM – 6G-Forschungs-Hub für offene, effiziente und sichere Mobilfunksysteme**

---

Beschreibung	Im 6GEM wird ein ganzheitliches 6G-System (Hardware und Software) entwickelt, das eine flexible Netzwerkinfrastruktur bietet. Ziel ist es, ein System mit niedriger Latenz und hoher Zuverlässigkeit zu garantieren.
--------------	--

Koordination	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
--------------	---

---

### **Open6GHub**

---

Beschreibung	Das Open6GHub designt ein holistisches 6-System, das die Anforderungen der Anwender und der Gesellschaft nach 2030 entspricht. Dabei soll die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft ebenso wie die Interessen der Gesellschaft berücksichtigt werden.
--------------	---

Koordination	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)
--------------	--

---

Das Förderprogramm zum Aufbau der Forschungs-Hubs kann als Resultat dessen gewertet werden, dass im internationalen Wettbewerb weitere Abhängigkeit zu außereuropäischen Netzdienstleistern und Hardwareherstellern möglichst vermieden werden sollen.

## 5 Methodische Anmerkungen

### Angaben zur Informationsgewinnung

#### Daten von atene KOM

Von 2009 bis 2018 wurde der Breitbandatlas vom TÜV Rheinland erstellt. Im Jahr 2019 hat atene KOM das übernommen. In den Berichten wird der Versorgungsgrad der privaten Haushalte mit verschiedenen Bandbreiten ( $\geq 1$  Mbit/s,  $\geq 2$  Mbit/s,  $\geq 6$  Mbit/s,  $\geq 16$  Mbit/s,  $\geq 50$  Mbit/s) ausgewiesen, seit Datenstand Ende 2013 auch  $\geq 30$  Mbit/s, die Abdeckung mit FTTH/B -Anschlüssen und unterschiedlichen Technologien (leitungsgebunden und drahtlos). Seit Mitte 2016 werden die Versorgungsgrade  $\geq 100$  Mbit/s (mit Ausnahme Ende 2018) dokumentiert. Die Datengrundlage wird ausschließlich aus freiwilligen Angaben der Netzbetreiber generiert. Deshalb wird der tatsächliche Ausbaustand leicht unterschätzt.

#### Daten von BREUER Nachrichtentechnik

Der zur Bewertung der LTE-Empfangsqualität herangezogene RSRP-Wert (Reference Signals Received Power) ist ein Maß für die Empfangsfeldstärke am Endgerät und wird in Dezibel Milliwatt (dBm) angegeben. Der Wertebereich liegt zwischen minus 140 und minus 50 dBm. Je näher der RSRP-Wert an minus 50 dBm liegt, desto höher ist die Empfangsqualität. Mobile Endgeräte wählen die Funkzelle anhand des RSRP-Wertes aus. Das Gerät misst den RSRP-Wert und wählt sich dann in die Funkzelle mit dem höchsten Wert ein. Nach Angaben der Experten von BREUER Nachrichtentechnik ermöglicht LTE bis ca. minus 115 dBm Datendienste. Telefonie ist aufgrund der niedrigeren benötigten Bitrate von Voice over LTE (VoLTE) mit akzeptabler Sprachqualität bis minus 120 dBm möglich. Für die Bewertung der gemessenen LTE-Empfangsqualitäten wird ein Schema verwendet, das drei Qualitätsstufen unterscheidet. Eine Verbindung gilt als gut, wenn der RSRP-Wert über minus 100 liegt. Werte unterhalb von minus 120 Punkten gelten als schlecht. Werte zwischen diesen Grenzwerten stehen für eine mittlere Empfangsqualität.

Für die Bewertung der 5G-Empfangsqualität wird der SS RSRP-Wert (Synchronization Signal RSRP) herangezogen. Laut BREUER Nachrichtentechnik sind die Wertebereiche mit denen von LTE vergleichbar. Die gemessene 5G-Versorgung ist eine 5G NonStandalone-Nutzung. Das bedeutet, dass die Signalisierung nach wie vor über das LTE-Netz stattfindet. 5G wird als Datenturbo herangezogen. Die Mobilfunkanbieter beginnen oder planen gerade erst damit ihre Netze für den Standalone-Betrieb freizuschalten.

#### Konsultation von Branchenexperten

Im Rahmen der Studie wurden mit Udo Harbers (Deutsche Telekom), Thomas Konschak (Deutsche Telekom) und Dr. Christoph Bach (Ericsson) Expertengespräche geführt. Die Autoren der Studie danken den Gesprächspartnern herzlich für ihre Unterstützung.

## Literaturverzeichnis

---

ArcGIS Hub (2021): BAYSIS Straßennetz nach ASB als Esri Feature Service. Letzte Datenaktualisierung: 11. August 2021. Online verfügbar unter [https://hub.arcgis.com/data-sets/44fe5cb0b33a4b9c93afe9aec65c196b\\_4/about](https://hub.arcgis.com/data-sets/44fe5cb0b33a4b9c93afe9aec65c196b_4/about), zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Bayerisches Breitbandzentrum (2021): Förderfortschritt. Online verfügbar unter [https://www.schnelles-internet-in-bayern.de/ext\\_data/BBZ\\_Veroff\\_Links\\_Table\\_new.html](https://www.schnelles-internet-in-bayern.de/ext_data/BBZ_Veroff_Links_Table_new.html), zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2021): Neuer Mobilfunkstandard 5G. Vom neuen Mobilfunkstandard 5G wird nicht nur die Wirtschaft profitieren, sondern jeder einzelne von uns. Online verfügbar unter <https://www.stmwi.bayern.de/wirtschaft/5g/>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

Bayerische Staatsregierung (2021): Bericht aus der gemeinsamen Kabinettsitzung von Bayern und Sachsen, Pressemitteilung vom 14. Dezember 2021

BMBF (2021): Karliczek: Wir wollen bei 6G an der Spitze sein. BMBF fördert den Aufbau von vier Forschung-Hubs zur Erforschung der Zukunftstechnologie 6G mit bis zu 250 Millionen Euro. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/karliczek-wir-wollen-bei-6g-an-der-spitze-sein.html>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

BMVI (2021a): BMVI startet Open Ran-Förderung. 126/2021. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/126-bmvi-startet-open-ran-foerderung.html?nn=13326>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

BMVI (2021b): Förderlandkarte des BMVI. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/foerderlandkarte-bmvi-iframe.html>.

BMVI (2021c): Startschuss für die Förderung von Open RAN – Fokus zunächst auf öffentlichen Mobilfunknetzen. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/startschuss-foerderung-open-ran.html>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

BMVI / atene KOM (2020): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Ende 2019). Erhebung der atene KOM im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

BMVI / atene KOM (2021a): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Mitte 2021). Erhebung der atene KOM im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

BMVI / atene KOM (2021b): Breitbandversorgung bayerischer Gemeinden Mitte 2021. Sonderbestellung.

BREUER Nachrichtentechnik (2021): Erfassung der Mobilfunkempfangsqualität auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 17.08.2021 bis 24.10.2021.

Bundesnetzagentur (2019): Tätigkeitsbericht Telekommunikation 2018/2019. Stand Dezember 2019. Hg. v. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen.

Bundesnetzagentur (2021): Regionale und lokale Netzwerke. Frequenzen für das Betreiben regionaler und lokaler drahtloser Netze zum Angebot von Telekommunikationsdiensten. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html), zuletzt geprüft am 15.10.2021.

## Literaturverzeichnis

Bundesregierung (2019): 5G-Frequenzauktion ist beendet. Fragen und Antworten zur neuen Mobilfunkgeneration. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/5g-auktion-beendet-1637030>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

Bundesregierung (2020): Deutschland spricht über 5G. Dialoginitiative gestartet. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutschland-5g-dialog-1823664>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

Bundesregierung (2021a): Drucksache 19/31762 und Drucksache 19/31438. Berlin.

Bundesregierung (2021b): So will die Bundesregierung Funklöcher schließen. Deutschland spricht über 5G. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/funkloecher-und-5g-1841896>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

China Daily (2021a): China Mobile eyes 5G expansion in rural areas. Online verfügbar unter <http://www.chinadaily.com.cn/a/202111/03/WS6181e943a310cdd39bc72fd4.html>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

China Daily (2021b): Goal for 2023: 560 million 5G users in nation. Online verfügbar unter <https://global.chinadaily.com.cn/a/202107/14/WS60ee3f13a310efa1bd661b44.html>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Deutsche Telekom (2021): Telekom Mobilfunk-Netzausbau. Online verfügbar unter <https://www.telekom.de/netz/mobilfunk-netzausbau>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Digital Scoreboard (2021): Digital Economy and Society Index (DESI). Datenstand: November 2021. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Europäische Kommission (2020): Europas digitale Zukunft gestalten. Connectivity benefits & goals. Online verfügbar unter <https://wayback.archive-it.org/12090/20201129073228/https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/connectivity-european-gigabit-society>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Europäische Kommission (2021): 5G Observatory Quarterly Report 12. Up to June 2021. Online verfügbar unter <https://5gobservatory.eu/observatory-overview/observatory-reports/>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

FTTH Council Europe (2021): FTTH Forecast for EUROPE. Market forecast 2021-2026. FTTH Virtual Conference 2021 – September 15-16, 2021.

Germany Trade & Invest (2020): China forciert Ausbau der 5G-Mobilfunknetze. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchenbericht/china/china-forciert-ausbau-der-5g-mobilfunknetze-241204>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Germany Trade & Invest (2021a): 5G-Mobilfunk in China bringt nicht erhoffte Geschwindigkeit. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchenbericht/china/5g-mobilfunk-in-china-bringt-nicht-erhoffte-geschwindigkeit-596288>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Germany Trade & Invest (2021b): Japans 5G-Ausbau wird 2020 Tempo aufnehmen. Online verfügbar unter <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchenbericht/japan/japans-5g-ausbau-wird-2020-tempo-aufnehmen-206580>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

ITU (2021): World Telecommunication / ICT Indicators Database. International Telecommunication Union.

## Literaturverzeichnis

OECD (2021): Broadband Statistics. Online verfügbar unter <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics-update.htm>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Open Signal (2021): Benchmarking the Global 5G Experience - September 2021. Online verfügbar unter <https://www.opensignal.com/2021/09/09/benchmarking-the-global-5g-experience-september-2021>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Rügheimer, Hannes (2021): Report: 5G-Ausbau weltweit. 5G-Abdeckung weltweit: Unterschiedliche Schwerpunkte. Online verfügbar unter <https://www.connect.de/ratgeber/5g-abdeckung-international-vergleich-reichweite-datendurchsatz-latenzen-3201631-9094.html>, zuletzt geprüft am 10.12.2021.

StMWi (2021): Markterkundungen. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Online verfügbar unter <https://www.mobilfunk.bayern/foerderprogramm/markterkundungen/>.

T-Mobile USA (2021): 5G & 4G Coverage Map. Online verfügbar unter <https://www.t-mobile.com/business/coverage/5g-coverage-map>, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

VATM (2021): 23. TK-Marktanalyse Deutschland 2021. Ergebnisse einer Befragung der Mitgliedsunternehmen im Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten e. V. im dritten Quartal 2021.

vbw (2016): Versorgungsgrad der digitalen Infrastruktur in Bayern. Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft.

vbw (2020): Versorgungsgrad der digitalen Infrastruktur in Bayern. Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft.

YouGov (2021): International Telco Report 2021.

---

## Ansprechpartner / Impressum

---

### Dr. Benedikt Röchardt

Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-252  
[benedikt.ruechardt@vbw-bayern.de](mailto:benedikt.ruechardt@vbw-bayern.de)

### Volker M. Schilling

Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-268  
[volker.schilling@vbw-bayern.de](mailto:volker.schilling@vbw-bayern.de)

## Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich ohne jede Diskriminierungsabsicht grundsätzlich auf alle Geschlechter.

### Herausgeber

**vbw**  
Vereinigung der Bayerischen  
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5  
80333 München

[www.vbw-bayern.de](http://www.vbw-bayern.de)

© vbw Januar 2022

### Weiterer Beteiligter

IW Consult GmbH

Hanno Kempermann  
Manuel Fritsch  
Johannes Ewald  
Thomas Okos