

Infrastruktur

Versorgungsgrad der digitalen Infrastruktur in Bayern

vbw

Studie

Stand: September 2020

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

Bayerns digitale Netze: Ausbaufortschritte und weiterer Handlungsbedarf

Die vorliegende Studie zu Bayerns digitalen Netzen belegt beachtliche Erfolge der bayerischen Ausbaupolitik. Im Deutschlandvergleich schneidet Bayerns digitales Festnetz nach einem langen Auf- und Überholprozess in Stadt und Land deutlich überdurchschnittlich ab. Die für den Flächenstaat eminent wichtige Versorgung aller Landesteile mit mehr als 100 Mbit/s hat sich sprunghaft verbessert. Auch die Mobilfunkversorgung auf unseren Autobahnen und Bundesfernstraßen hat sichtlich an Qualität gewonnen. Das bayerische Förderprogramm für den Masten-Zubau wird gut angenommen. Die Aufrüstung auf 5G hat zumindest begonnen. Wie Staatsregierung und Netzbetreiber bleiben auch die Kommunen an den Themen dran. Das ist gut so, denn ohne ihr Engagement liefe die Förderung im Fest- wie im Mobilfunknetz ins Leere.

Gleichzeitig wird deutlich, wie weit es noch bis zu der flächendeckenden Versorgung mit Glasfaser und 5G ist. Dieses Ziel müssen wir spätestens in fünf Jahren, also 2025, erreichen, um wirklich für die digitale Zukunft gerüstet zu sein. Zwar hat Bayern etliche Voraussetzungen für Fortschritte auf diesen Feldern bereits geschaffen, aber andere Länder sind weiter – und zwar sowohl beim Ausbau als auch bei der Nutzung von Bandbreiten im Gigabit-Bereich.

Wir haben allen Grund, das Ausbautempo hoch zu halten. Auch hier sind es wieder die Kommunen, denen eine Schlüsselrolle zukommt. Ohne das Baurecht, das sie vergeben, können Projekte nicht umgesetzt werden. Speziell beim Mobilfunk sind die Hindernisse dabei oft genug nicht fachlicher oder finanzieller Art, sondern politisch begründet. An dieser Stelle kann ein nüchterner Blick auf die lokalen Netzqualitäten hilfreich sein. Auch dazu zeigen wir in unserer Studie Handlungsmöglichkeiten auf.

Bertram Brossardt
28. September 2020

Inhalt

1	Die Studie in neun Punkten	1
2	Digitale Infrastruktur im internationalen Vergleich	3
3	Versorgungsgrad im terrestrischen Netz	5
3.1	Stand und Entwicklung der Versorgung der Haushalte in Bayern	5
3.1.1	Versorgung nach Bandbreite und Gruppe (Haushalt/Gewerbe)	5
3.1.2	Versorgung nach Regionstyp	7
3.1.3	Versorgung mit NGA	8
3.1.4	Versorgung mit mehr als 100 Mbit/s	10
3.1.5	Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden	12
3.2	Aktivitäten der bayerischen Gebietskörperschaften in den aktuellen Förderprogrammen	14
3.2.1	Förderprogramm des Bundes	14
3.2.2	Bayerisches Förderprogramm	15
3.2.3	Gigabit-Förderung in Bayern	18
3.3	Versorgungsprognose für Mitte 2021	20
4	Versorgungsgrad im Mobilfunknetz	23
4.1	Versorgungsgrad der Haushalte in Bayern mit LTE	23
4.2	Empfangsqualität in den bayerischen Mobilfunknetzen	23
4.3	Lokale Verfügbarkeit mobilen Breitbands am Beispiel Schöngeising	35
4.4	Geförderter Ausbau der Mobilfunknetze in Bayern	39
5	Einführung und Verbreitung von 5G	43
5.1	Voraussetzungen für die Verbreitung von 5G	44
5.1.1	Netzinfrastruktur	44
5.1.2	5G-fähige Chipsätze und Endgeräte	48
5.1.3	Frequenzen	50
5.2	Verbreitung von 5G im Ländervergleich	51
5.2.1	Deutschland	51
5.2.2	China	56
5.2.3	Japan	58
5.2.4	Südkorea	59
5.2.5	USA	60

5.3	Fazit	62
5.4	Perspektive 6G	63
6	Methodische Anmerkungen	64
	Ansprechpartner/Impressum	71

1 Die Studie in neun Punkten

100 Mbit/s-Versorgung kommt voran, 5G-Wettbewerb entbrennt

1. Bayern ist im bundesweiten Vergleich sowohl in den Städten als auch im ländlichen Raum überdurchschnittlich gut mit leistungsfähigen Breitbandanschlüssen versorgt. Ende 2019 waren für 96,2 Prozent der Haushalte Anschlüsse mit mindestens 30 Mbit/s verfügbar.
2. Besonders im ländlichen Raum hat sich die Breitbandversorgung des Freistaats besser entwickelt als im bundesweiten Vergleich. Ende 2019 konnten 90 Prozent der Haushalte auf Verbindungen mit mindestens 30 Mbit/s zurückgreifen. Das sind 4,0 Prozentpunkte mehr als Ende 2018 und 12,3 Prozentpunkte mehr als im Bundesdurchschnitt. Bayern ist damit dem Bund bei der Versorgung der ländlichen Räume um mehr als ein Jahr voraus.
3. Die Versorgung mit mindestens 100 Mbit/s kommt gut voran. Ende 2019 konnten 928 Kommunen mindestens 80 Prozent ihrer Haushalte mit Geschwindigkeiten von 100 Mbit/s oder mehr versorgen. Im Vergleich zu Ende 2018 ist diese Gruppe um 597 Kommunen angewachsen. Damit fällt der Zuwachs wesentlich umfangreicher aus als im Vorjahr (+36 Kommunen). Gleichzeitig hat sich die Anzahl der Kommunen, die weniger als 20 Prozent ihrer Haushalte mit mindestens 100 Mbit/s versorgen können, von 867 Kommunen Ende 2018 auf 168 Kommunen Ende 2019 verringert.
4. Noch weiter ist der Weg beim Glasfaserausbau. Gleichwohl sind in Bayern deutliche Fortschritte zu beobachten. So verfügten 15,3 Prozent der Haushalte Ende 2019 über einen FTTH/B-Anschluss. Dies entspricht einem Wachstum von 3,7 Prozentpunkten gegenüber dem Vorjahr. Damit liegt Bayern bundesweit auf Rang drei der Länder hinter Hamburg und Schleswig-Holstein, aber deutlich vor den Stadtstaaten Berlin und Bremen. Im internationalen Vergleich zeigt Deutschland bei der kabelgebundenen Breitbandversorgung allerdings eher Schwächen. Reine Glasfaserverbindungen sind hier weiter nur gering verbreitet. Das ist allerdings auch ein Nachfrageproblem: Bestehende Glasfaseranschlüsse werden nur zu gut einem Drittel auch tatsächlich genutzt.
5. Die Kommunen Bayerns sind weiterhin sehr aktiv im bayerischen Breitbandförderprogramm: Anfang August 2020 nahmen rund 98 Prozent mit mindestens einem Förderverfahren teil. Insgesamt wurden bisher 3.795 Teilnahmen im Förderverfahren verzeichnet – rund 61 Prozent (2.332 Verfahren) dieser Teilnahmen sollen laut ursprünglichem Plan bis zum September 2020 abgeschlossen sein. Die Ergebnisse der Förderung sind klar sichtbar: Mindestens 788.000 Haushalte werden im Zuge des Verfahrens mit Anschlüssen von mindestens 30 Mbit/s versorgt. Das entspricht rund 13 Prozent der Haushalte Bayerns und 74 Prozent der Haushalte im ländlichen Raum. Die Kommunen setzen sich dabei im Zeitablauf immer ehrgeizigere Ziele. Viele Kommunen sind mehrfach im Verfahren aktiv, um verbliebene weiße Flecken bei der Breitbandversorgung abzudecken. Zudem werden immer häufiger reine Glasfaseranschlüsse verlegt.

Förderanträge, die ein Fertigstellungsdatum nach Mai 2020 angesetzt haben, erschließen 85,4 Prozent der geförderten Haushalte direkt mit Glasfaser. Insgesamt werden mehr als 53.000 Kilometer Glasfaserkabel verlegt. Das bayerische Förderprogramm zeigt auch hier positive Effekte. 1.466 bayerische Kommunen haben einen Glasfaserausbau bis zum Endkunden zumindest in Teilbereichen angestoßen, rund 134.000 Haushalte werden neu mit Glasfaseranschlüssen versorgt. Allein innerhalb des nächsten Jahres dürfte sich durch das bayerische Förderprogramm die Breitbandversorgung in 156 Kommunen Bayerns verbessern.

6. Auch im Breitbandförderprogramm des Bundes sind die bayerischen Kommunen sehr aktiv. Obwohl große Gebiete Bayerns schon durch das Förderprogramm des Freistaates erschlossen und deshalb nicht erneut förderfähig sind, konnten im Rahmen von 44 Projekten in den ersten fünf Vergabeverfahren beim Bund rund 97,4 Millionen Euro zusätzliche Fördergelder für den weiteren Breitbandausbau akquiriert werden.
7. Bei der LTE-Mobilfunkversorgung zeigen die Messergebnisse zur Qualität des Mobilfunkempfangs auf Bayerns Autobahnen und Bundesstraßen Fortschritte. Allerdings weisen immer noch einige Streckenabschnitte eine schlechte Empfangsqualität für LTE und Sprachtelefonie auf – die Ergebnisse variieren recht deutlich nach den drei Betreibern Deutsche Telekom, Vodafone und O₂. Das ist insofern kritisch, als bereits eine überschaubare Menge verbindungsstarker Punkte entlang einer Strecke mobiles Arbeiten und Kommunizieren auf der gesamten Strecke deutlich erschwert.
8. Beim Anteil der mit LTE-Mobilfunk (4G) erschlossenen Haushalte erreicht Deutschland 97 Prozent. Zum internationalen Vergleich konzentrierte sich die Studie auf China, das in den letzten Jahren einen beispiellosen Aufholprozess gestartet hat, Südkorea, die USA und Japan als starke direkte Wettbewerber Deutschlands. Alle vier Länder haben eine deutlich bessere Versorgung als Deutschland. Auch im europäischen Vergleich zeigt Deutschland Schwächen. Ein schneller Abbau von Lücken im LTE (4G)-Netz ist sowohl zu Verbesserung der Mobilfunkversorgung in der Fläche wichtig, als auch weil das 4G-Netz eine entscheidende Basis für die Aufrüstung auf das leistungsfähigere neue 5G-Netz ist.
9. Im internationalen Vergleich stehen alle Länder in den Startlöchern, um möglichst zeitnah ein flächendeckendes 5G-Netz anbieten zu können. Noch ist dies nirgendwo der Fall. Viele Länder haben allerdings die relevanten Frequenzen vergeben und verbessern die 5G-Versorgung kontinuierlich. Die entscheidende Herausforderung besteht nun im Bau und Aufrüsten von Funkstationen, die 5G-Signale senden und empfangen können. Hierbei haben alle vier näher untersuchten Wettbewerbsländer Startvorteile. Zudem sind die Anstrengungen dieser internationalen Konkurrenten, einen flächendeckenden 5G-Ausbau in kurzer Zeit zu realisieren, erheblich. Deshalb liegt Deutschland aktuell in der 5G-Readiness auf dem letzten Rang in diesem Vergleich internationaler Spitzenreiter.

2 Digitale Infrastruktur im internationalen Vergleich

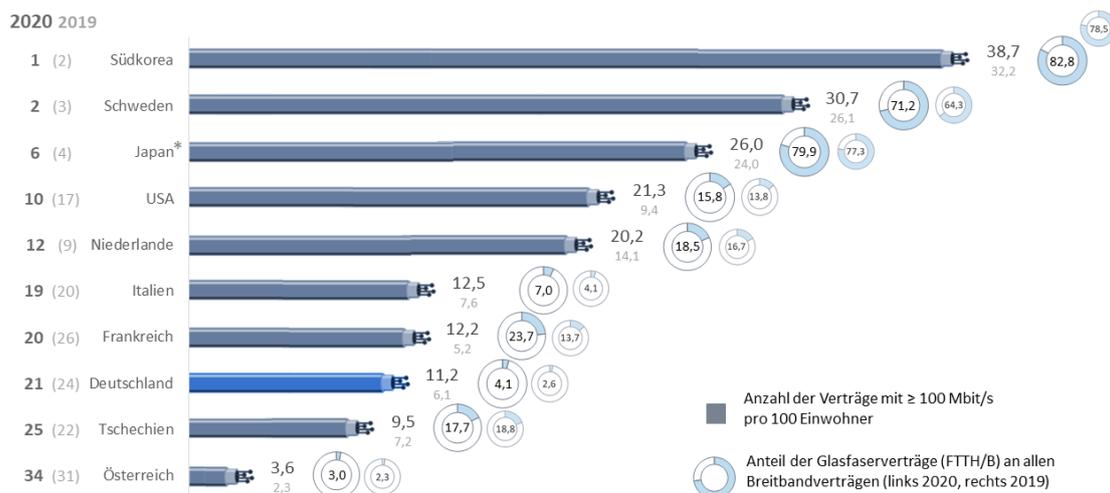
Schnelle Anschlüsse in Deutschland weiterhin wenig verbreitet

Schnelle Festnetzanschlüsse, die Geschwindigkeiten von mindestens 100 Mbit/s bieten, sind in Deutschland nach wie vor wenig verbreitet. Mit 11,2 Verträgen pro 100 Einwohner belegt Deutschland im Vergleich der 36 OECD-Mitgliedsländer nur den 21. Platz. Der Anteil von Glasfaserverträgen (FTTH/B) an allen Breitbandverträgen liegt in Deutschland lediglich bei 4,1 Prozent. Andere Länder erreichen eine deutlich höhere Durchdringung, was auf ein dichteres Glasfasernetz schließen lässt. Abbildung 1 gibt einen aktuellen Überblick über die Verbreitung schneller Anschlüsse in Deutschland und wichtigen Wettbewerberländern aus dem Kreis der OECD-Mitglieder im Vergleich zum Jahr 2019.

Bestehende Glasfaseranschlüsse werden in Deutschland zudem nur zu gut einem Drittel auch tatsächlich verwendet. Von den rund 4,4 Millionen Anschlüssen in Deutschland, die mit Glasfaser bis zum Endkunden ausgestattet sind, werden nur 33,8 Prozent genutzt. Allerdings ist diese Quote, die zwischen 2015 und 2017 stagniert hatte, mittlerweile angestiegen. 2017 erreichte sie erst 28,1 Prozent (VATM 2019).

Abbildung 1

Verbreitung schneller Anschlüsse im internationalen Vergleich

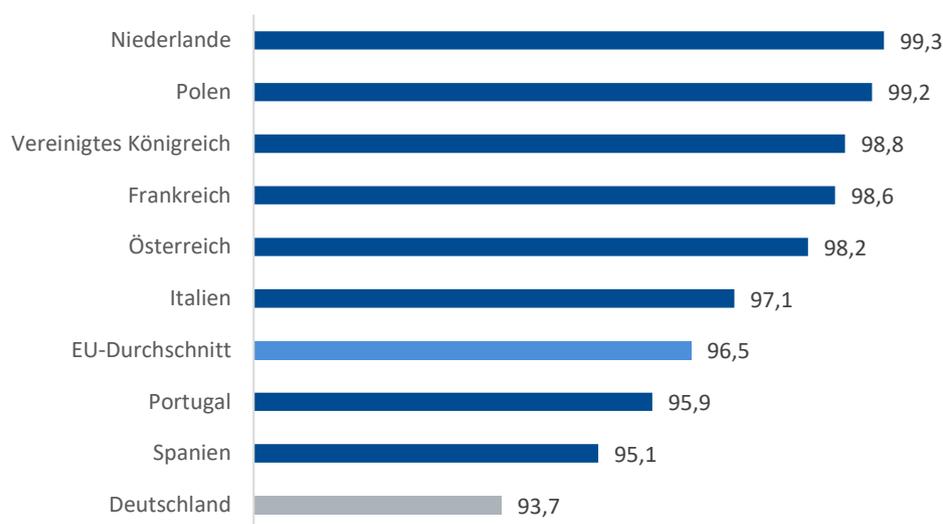


* Die Daten zur Anzahl der Breitbandverträge für Japan entsprechen der Zahl der Glasfaserverträge.

Quellen: OECD (2020), eigene Berechnungen IW Consult (Datenstand: Juni 2019)

Im Bereich Mobilfunk ist die Verfügbarkeit international vergleichbarer Daten zur Versorgungsqualität stark eingeschränkt. Open Signal (2020) sieht Deutschland bei der 4G-Datenrate nur auf einem Mittelfeldplatz (Platz 23/100, Stand Mai 2020). Bei der Versorgung mit LTE liegt Deutschland mit einer durchschnittlichen Abdeckung von 93,7 Prozent der besiedelten Gebiete sogar nur auf Rang 26 von 28 Ländern der EU (Europäische Kommission 2020).

Abbildung 2
 Verbreitung von LTE – europäischer Vergleich



Prozentualer Anteil der besiedelten Gebiete mit 4G-Abdeckung - gemessen als durchschnittliche Abdeckung der Telekommunikationsbetreiber in jedem Land

Quellen: EU Kommission (2020), Digital Scoreboard (Datenstand: August 2020)

3 Versorgungsgrad im terrestrischen Netz

NGA-Versorgung in Bayern weiter über dem Bundesdurchschnitt

Im Folgenden wird die aktuelle Breitbandversorgung von privaten Haushalten und Unternehmen in Bayern und Deutschland untersucht. Die Basis bilden dabei die Daten des halbjährlich erscheinenden Breitbandatlas, der vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) herausgegeben wird und dem Bund als Monitoring-Instrument dient. Die aktuell verfügbaren Daten bilden die Versorgungssituation Ende 2019 ab. Analog zu den vorangegangenen Studien von IW Consult im Auftrag der vbw werden die 2.056 Kommunen in Bayern als kleinste Analyseebene betrachtet.

3.1 Stand und Entwicklung der Versorgung der Haushalte in Bayern

3.1.1 Versorgung nach Bandbreite und Gruppe (Haushalt/Gewerbe)

Die Versorgung der bayerischen Haushalte mit NGA-Anschlüssen (NGA: Next Generation Access), die per Definition eine Mindestgeschwindigkeit von 30 Mbit/s bieten müssen (siehe Erläuterung auf Seite 8), hat sich erneut verbessert. Ende 2019 verfügten 96,2 Prozent der bayerischen Haushalte über einen NGA-Anschluss (Abbildung 3). Dies entspricht einem Zuwachs von 2,5 Prozentpunkten gegenüber dem Vorjahr. Obwohl der Netzausbau in

Bayern aufgrund der ländlicheren Siedlungsstruktur kosten- und zeitintensiver ist als in anderen Ländern, liegt die NGA-Abdeckung in Bayern über dem Bundesdurchschnitt von 93,6 Prozent. Auch bei der NGA-Versorgung von Gewerbestandorten ist Bayern überdurchschnittlich erfolgreich. So verfügen in Bayern 93,5 Prozent der Gewerbestandorte über Anschlüsse mit einer Mindestgeschwindigkeit von 30 Mbit/s (Deutschland: 90,2 Prozent).

Auch bei der Versorgung bayerischer Haushalte und Gewerbestandorte mit einer Mindestgeschwindigkeit von 50 Mbit/s ist die Entwicklung positiv. Im Bereich der privaten Haushalte verzeichnete Bayern einen Zuwachs von 5,3 Prozentpunkten, während das bundesweite Wachstum lediglich 4,1 Prozentpunkte betrug. Sowohl bei den privaten Haushalten als auch den Gewerbestandorten erreichte Bayern Ende 2019 im Bundesvergleich eine überdurchschnittliche Abdeckung. Dies gilt auch für Gigabit-Anschlüsse, die Geschwindigkeiten von 1.000 Mbit/s und mehr ermöglichen.

Die Versorgung von 100 Mbit/s wurde in den letzten Jahren stark verbessert: Mittlerweile sind 85,7 Prozent der bayerischen Haushalte auf diesem Niveau angeschlossen. Damit liegt der Freistaat über dem deutschlandweiten Mittelwert von 83,8 Prozent, obwohl in Bayern die Siedlungsdichte deutlich geringer ist und damit der Netzausbau höheren

Wirtschaftlichkeitslücken ausgesetzt ist. Hier wirkt das bayerische Breitbandförderprogramm besonders stark.

Auch in den Versorgungsgraden über 1.000 Mbit/s verzeichnet Bayern eine Abdeckung deutlich oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts. Das gilt sowohl für Haushalte (54,6 gegenüber 43,2 Prozent) als auch für Gewerbestandorte (46,0 gegenüber 28,6 Prozent). Ein Grund dafür liegt in der überdurchschnittlichen Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden (s. Kapitel 3.1.4).

Tabelle 1

Breitbandversorgung nach Bandbreiten und Kundentyp

<i>Bayern</i>	<i>Haushalte</i>		<i>Gewerbestandorte</i>	
	<i>Stand</i>	<i>Zuwachs</i>	<i>Stand</i>	<i>Zuwachs</i>
≥1.000 Mbit/s	54,6	6,7	46,0	n.V.
≥400 Mbit/s	61,3	6,3	51,8	n.V.
≥200 Mbit/s	73,0	7,1	67,5	n.V.
≥100 Mbit/s	85,7	n.V.	79,8	n.V.
≥50 Mbit/s	94,0	5,3	91,1	n.V.
≥30 Mbit/s	96,2	2,5	93,5	n.V.
≥16 Mbit/s	97,6	1,1	95,9	n.V.
<i>Deutschland</i>				
≥1.000 Mbit/s	43,2	15,9	28,6	n.V.
≥400 Mbit/s	66,2	6,5	46,8	n.V.
≥200 Mbit/s	75,3	7,1	61,5	n.V.
≥100 Mbit/s	83,8	n.V.	73,3	n.V.
≥50 Mbit/s	91,9	4,1	87,5	n.V.
≥30 Mbit/s	93,6	2,8	90,2	n.V.
≥16 Mbit/s	95,4	1,5	93,6	n.V.

Stand Ende 2019, Zuwachs gegenüber Ende 2018 in Prozentpunkten.

100 Mbit/s: Keine Daten für Ende 2018 vorhanden

Gewerbestandorte: Zuwachs im Vergleich zu Ende 2018 nicht vergleichbar

Quellen: BMVI / atene KOM (2020a, 2019), eigene Berechnungen IW Consult

3.1.2 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 Regionen¹ unterschieden.

Tabelle 2

Breitbandversorgung der Haushalte nach Bandbreiten und Regionstyp

Bayern	Städtisch		Halbstädtisch		Ländlich	
	Stand	Zuwachs	Stand	Zuwachs	Stand	Zuwachs
≥1.000 Mbit/s	82,1	8,3	38,6	5,9	18,7	4,6
≥400 Mbit/s	86,0	6,6	49,4	6,2	23,2	4,8
≥200 Mbit/s	93,0	4,9	65,6	8,5	37,2	9,8
≥100 Mbit/s	96,8	n.V.	82,0	n.V.	64,7	n.V.
≥50 Mbit/s	98,7	2,3	93,0	6,8	83,9	9,1
≥30 Mbit/s	99,0	1,2	95,7	3,2	90,0	4,0
≥16 Mbit/s	99,7	0,2	97,3	1,5	92,8	2,5
<i>Deutschland</i>						
≥1.000 Mbit/s	60,5	21,7	24,1	9,5	12,2	4,5
≥400 Mbit/s	84,2	6,9	50,5	6,0	19,6	4,0
≥200 Mbit/s	89,8	5,8	64,3	8,3	33,3	9,5
≥100 Mbit/s	93,8	n.V.	76,6	n.V.	53,4	n.V.
≥50 Mbit/s	97,4	2,2	88,7	5,8	72,8	8,7
≥30 Mbit/s	98,0	1,4	91,1	3,9	77,7	6,0
≥16 Mbit/s	99,0	0,4	93,7	2,4	81,9	4,4

Stand Ende 2019, Zuwachs gegenüber Ende 2018 in Prozentpunkten.

100 Mbit/s: Keine Daten für Ende 2018 vorhanden

Quellen: BMVI / atene KOM (2020a, 2019), eigene Berechnungen IW Consult

In den ländlichen Kommunen Bayerns verfügen aktuell 90,0 Prozent der Haushalte über einen NGA-Anschluss (mindestens 30 Mbit/s). Die bundesweite NGA-Versorgungsrate im ländlichen Raum fällt mit 77,7 Prozent deutlich geringer aus.

¹ 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.

Auch bei Anschlüssen mit Mindestgeschwindigkeiten von 50 Mbit/s erreicht Bayern in allen Regionstypen überdurchschnittliche Ergebnisse. Die relativ hohe Versorgungsrate von 83,9 Prozent in den ländlichen Räumen (Deutschland: 72,8 Prozent) sowie der leicht überdurchschnittliche Zuwachs gegenüber dem Vorjahr unterstreichen, dass das bereits erwähnte Breitbandförderprogramm der Landesregierung in dünner besiedelten Regionen eine besonders positive Wirkung entfaltet.

Die Versorgung mit Bandbreiten zwischen 50 Mbit/s und 200 Mbit/s wurde in halbstädtischen und ländlichen Räumen Bayerns im Vergleich zum Vorjahr besonders stark verbessert. Mittlerweile können knapp zwei Drittel aller Haushalte in Bayerns ländlichen Räumen auf Geschwindigkeiten mit mindestens 100 Mbit/s zugreifen. In Deutschland liegt der Anteil lediglich bei gut der Hälfte der Haushalte.

Die größten Unterschiede bestehen in der Versorgung mit Bandbreiten über 1.000 Mbit/s. Hier sind die städtischen Räume Bayerns deutlich besser positioniert. Dort können 82,1 Prozent der Haushalte auf Gigabitanschlüsse zurückgreifen, in ländlichen Räumen liegt dieser Anteil bei 18,7 Prozent. Gleichwohl haben die ländlichen Räume in Bayern bezüglich Gigabitanschlüssen mit 6,5 Prozentpunkten einen wesentlichen Vorsprung vor dem Durchschnitt Deutschlands – die Städte liegen sogar mehr als 20 Prozentpunkte vorne.

3.1.3 Versorgung mit NGA

Zur Analyse der Breitbandversorgung in den bayerischen Kommunen wird wie in den Vorgängerstudien der von IW Consult entwickelte NGA-Index verwendet. Dieser fasst den Abdeckungsgrad der Haushalte einer Kommune mit verschiedenen Übertragungsgeschwindigkeiten zu einer gemeinsamen Kennzahl zusammen und ermöglicht einen interkommunalen Vergleich der Breitbandversorgung.

Der NGA-Index

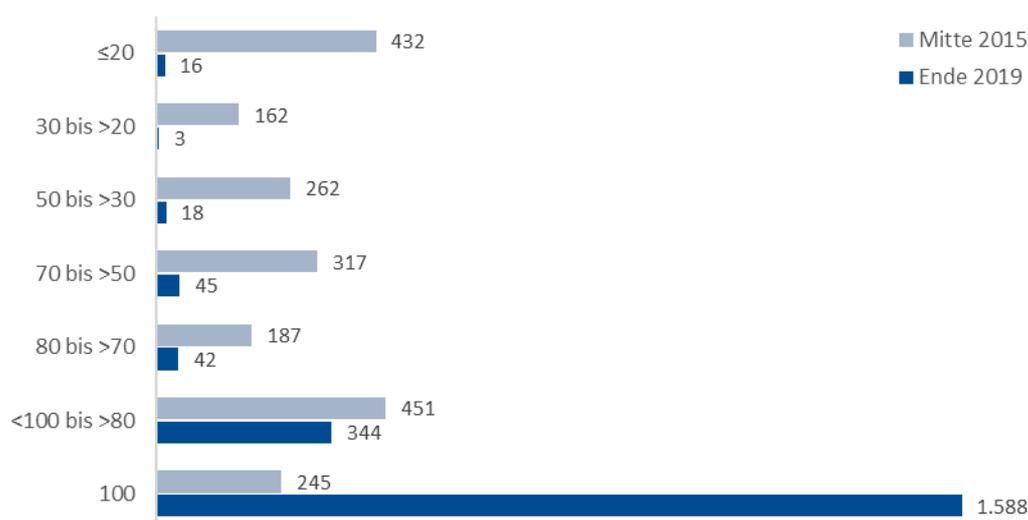
Der NGA-Index umfasst einen Wertebereich von 0 bis 100 Punkten. Kommunen, in denen kein Haushalt mit mindestens 30 Mbit/s versorgt werden kann, erhalten einen NGA-Indexwert von null Punkten. Kommunen, in denen mindestens 75 Prozent aller Haushalte mit Bandbreiten von 50 Mbit/s und mindestens 90 Prozent mit 30 Mbit/s versorgt werden können, erzielen einen NGA-Indexwert von 100 Punkten. Kommunen, die 90 Prozent der Haushalte mit 30 Mbit/s versorgen, aber keine Bandbreiten von mindestens 50 Mbit/s bereitstellen können, wird ein NGA-Indexwert von 67,5 Punkten zugewiesen.

Der Index wächst linear mit einer Verbesserung der Versorgungsgrade in den beiden Bandbreitenklassen. Die Gewichtung der Versorgung mit mindestens 50 Mbit/s nimmt mit dem vorhandenen Versorgungsgrad mit mindestens 30 Mbit/s zu. Damit honoriert der NGA-Index die flächendeckende Versorgung der Haushalte und Unternehmen mit NGA-Anschlüssen stärker als ein Upgrade einzelner Anschlüsse von 30 auf 50 Mbit/s.

Ende 2019 erreichten etwa drei Viertel der bayerischen Kommunen den maximalen Indexwert von 100 Punkten (Abbildung 3). Mit 1.588 Kommunen (76,6 Prozent von allen) hat sich dieser Wert im Vergleich zu Mitte 2015 mehr als versechsfacht. Besonders hervorzuheben ist, dass 1.932 Kommunen – 94 Prozent von allen – einen Indexwert von mindestens 80 aufwiesen. Mitte 2015 erreichten nur etwa ein Drittel der bayerischen Kommunen dieses Niveau. Während Mitte 2015 die besonders schlecht versorgten Kommunen mit einem Indexwert von höchstens 20 Punkten noch die zweitgrößte Gruppe bildeten (432 Kommunen), fielen Ende 2019 lediglich 16 Kommunen in diese Klasse.

Abbildung 3

Entwicklung des NGA-Index in den bayerischen Kommunen

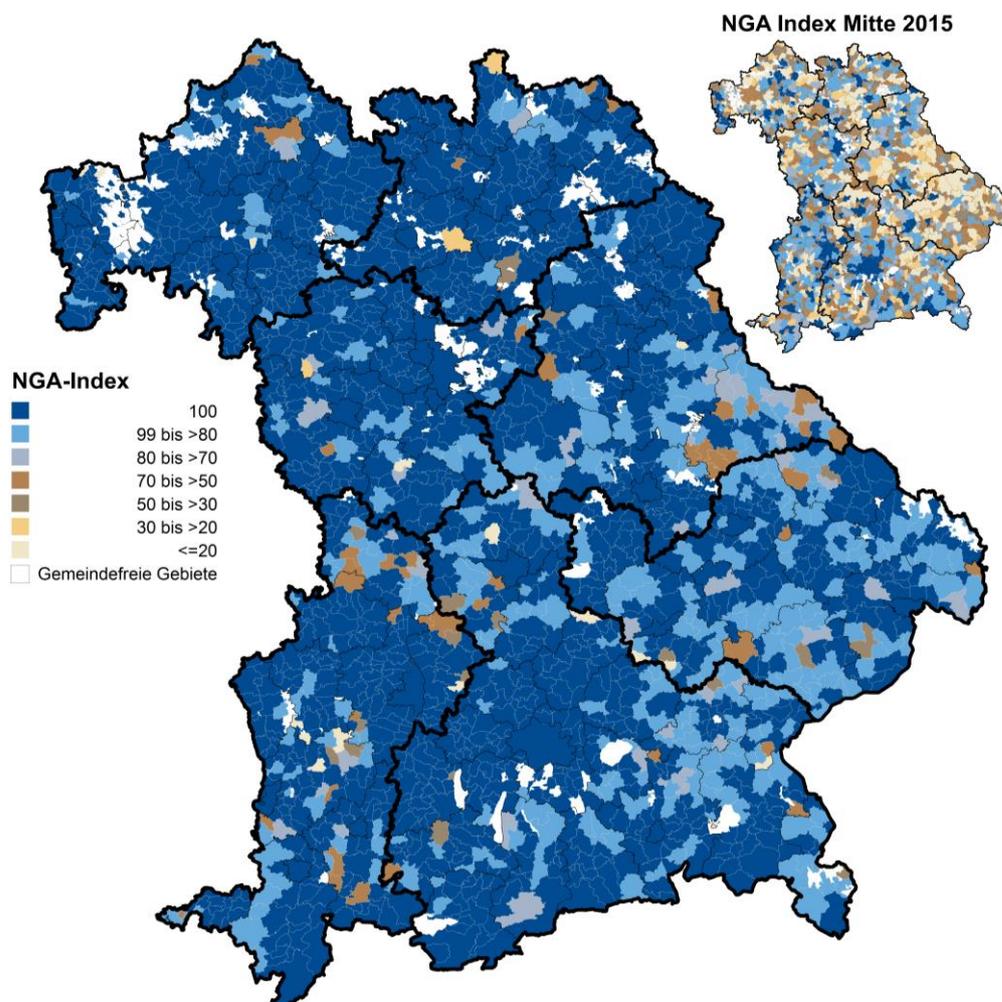


Die Abbildung zeigt die Anzahl der Kommunen in den verschiedenen NGA-Indexklassen.

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

Abbildung 4 zeigt die Karte mit dem NGA-Index der bayerischen Kommunen Ende 2019. Daraus geht hervor, dass in allen Regionen der Versorgungsgrad mit NGA-Anschlüssen seit Mitte 2015 deutlich zugenommen hat. Am weitesten verbreitet sind NGA-Anschlüsse in den Kommunen Unterfrankens. 98,1 Prozent der dortigen Kommunen haben einen NGA-Indexwert von mindestens 80. Insgesamt gibt es in Bayern nur noch 124 Kommunen mit einem NGA-Index von unter 80 Punkten. 33 dieser Kommunen werden bei planmäßiger Fertigstellung des geförderten Breitbandausbaus im Zuge des bayerischen Förderprogramms in den nächsten 18 Monaten diesen Wert ebenfalls überspringen.

Abbildung 4
 NGA-Index in Bayern Ende 2019

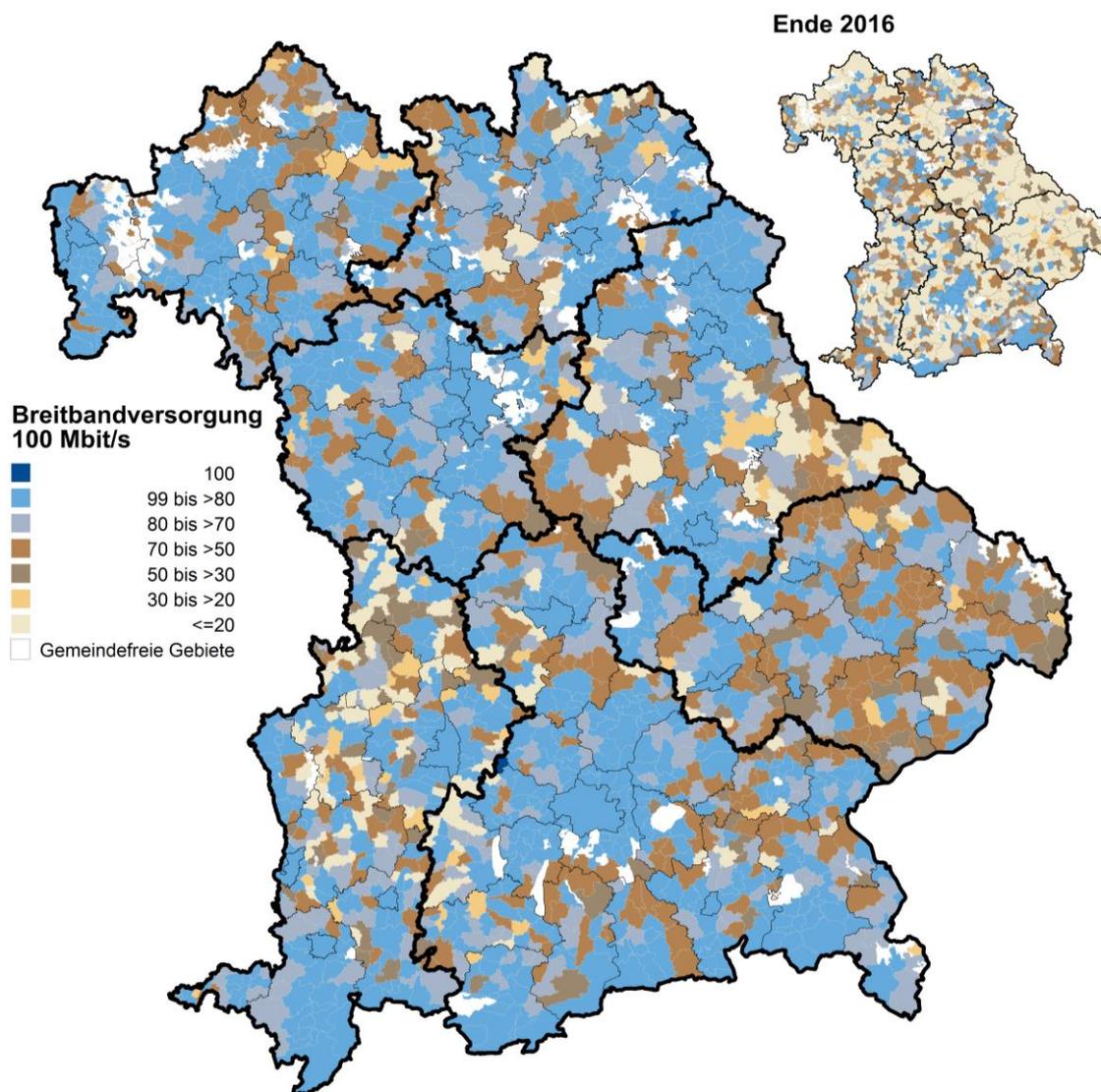


Quellen: BMVI / atene KOM (2020a), eigene Berechnungen IW Consult

3.1.4 Versorgung mit mehr als 100 Mbit/s

Ende 2019 konnten 928 Kommunen Bayerns mindestens 80 Prozent ihrer Haushalte mit Geschwindigkeiten von 100 Mbit/s oder mehr versorgen (Abbildung 5). Im Vergleich zu Ende 2018 ist diese Gruppe um 597 Kommunen angewachsen. Damit fällt der Zuwachs wesentlich umfangreicher aus als im Vorjahr (plus 36 Kommunen). Gleichzeitig hat sich die Anzahl der Kommunen, die weniger als 20 Prozent ihrer Haushalte mit mindestens 100 Mbit/s versorgen können, von 867 Kommunen Ende 2018 auf 168 Kommunen Ende 2019 verringert.

Abbildung 5
 Breitbandversorgung in Bayern ab 100 Mbit/s Ende 2019



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

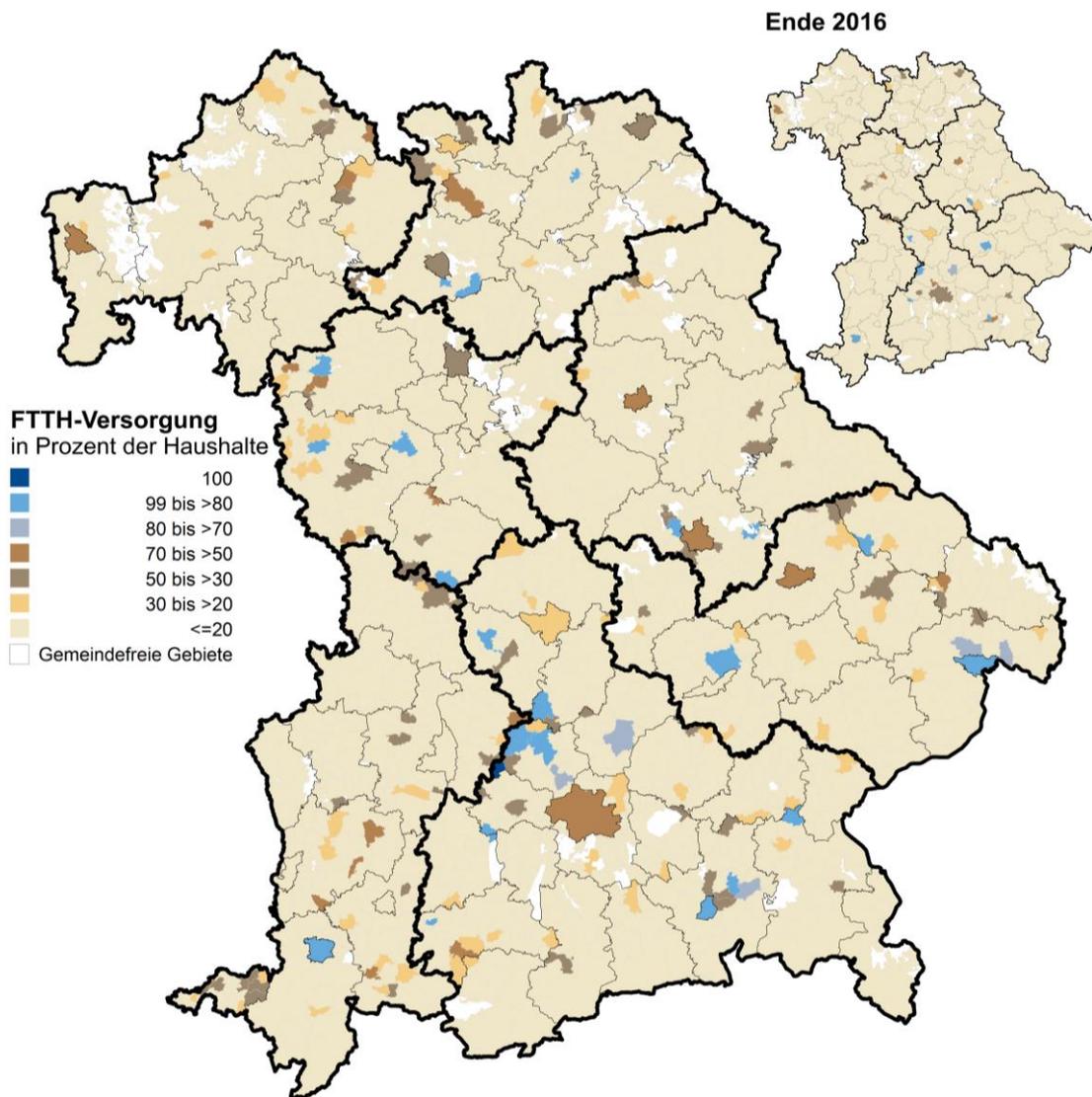
Insgesamt entwickelt sich die Breitbandversorgung in Bayern also weiter positiv. Allerdings gelang es mit Pfaffenhofen an der Glonn und Bad Alexanderbad Ende 2019 lediglich zwei Kommunen (Ende 2018: eine Kommune), ihre Haushalte vollständig mit mindestens 100 Mbit/s zu versorgen. Der Regierungsbezirk Oberbayern konnte Ende 2019 immerhin 90 Prozent seiner Haushalte mit mindestens 100 Mbit/s versorgen und schnitt damit auf Bezirksebene am besten ab.

3.1.5 Versorgung mit Glasfaser bis zum Endkunden

Die Anforderungen an das terrestrische Netz werden auch in Zukunft weiter steigen. Um die künftig benötigten Übertragungsgeschwindigkeiten zu erreichen, müssen bestehende Breitbandanschlüsse in Glasfaseranschlüsse (FTTH/B) umgewandelt werden. Die große Mehrheit der bayerischen Haushalte war Ende 2019 noch nicht direkt per Glasfaser an das Netz angebunden (Abbildung 6).

Abbildung 6

Breitbandversorgung in Bayern mit Glasfaser (FTTH/B) Ende 2019



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

In Kontrast zu der immer noch relativ geringen Ausstattung mit Glasfaser bis zum Endkunden steht die gute Versorgung mit Geschwindigkeiten von mehr als 1.000 Mbit/s in Städten (s. Tabelle 2, S. 7). Dies ist der Tatsache geschuldet, dass auch der Kabelstandard DOCSIS 3.1 zumindest im Download Geschwindigkeiten von mehr als 1.000 Mbit/s gewährleistet. Dieser Standard wurde in Bayern zuletzt technisch breit ausgerollt. Er kann aufgrund der regionalen Verbreitung der ursprünglich für Fernsehzwecke verlegten bayerischen Kupferkabelnetze der Vodafone in Städten deutlich häufiger eingesetzt werden als in den ländlichen Räumen.

Beim Ausbau des Glasfasernetzes in Bayern sind deutliche Fortschritte zu beobachten. So verfügten 15,3 Prozent der Haushalte Ende 2019 über einen FTTH/B-Anschluss. Dies entspricht einem Wachstum von 3,7 Prozentpunkten gegenüber dem Vorjahr. Im Vergleich der Flächenländer handelt es sich dabei um einen überdurchschnittlichen Wert. Nach Hamburg, das als Stadtstaat deutlich einfacher erschließbar ist, und Schleswig-Holstein liegt der Freistaat Bayern im Ländervergleich insgesamt auf Rang drei. Im Rahmen des bayerischen Förderverfahrens sind außerdem bislang 2.008 Verfahren angestoßen worden, in denen bayerische Kommunen zumindest in Teilen des Gemeindegebiets einen Glasfaserausbau bis zum Endkunden realisieren. Von der angestrebten flächendeckenden Versorgung mit Glasfaseranschlüssen kann jedoch nach wie vor keine Rede sein. Lediglich 25 Kommunen² hatten Ende 2019 mindestens 80 Prozent ihrer Haushalte mit FTTH/B erschlossen (Ende 2018: 18 Kommunen). Davon erreichte nur Pfaffenhofen an der Glonn eine vollständige Glasfaserversorgung der Haushalte. Gleichzeitig waren in 1.865 Kommunen weniger als 20 Prozent aller Haushalte per Glasfaser angebunden. Ende 2018 lag dieser Wert noch bei 1.947.

Einige Kommunen stechen im bayerischen Förderprogramm besonders hervor, da sie in einzelnen Projekten mehr als 1.000 Haushalte mit einem Glasfaseranschluss ausgestattet haben. Der umfangreichste bekannte Glasfaserausbau im Zuge des bayerischen Förderprogramms fand in der Gemeinde Lauf an der Pegnitz statt. Hier wurden nach den im Fördersteckbrief veröffentlichten Angaben bis Januar 2017 rund 1.921 Haushalte neu mit FTTH/B versorgt. Weitere große Ausbauprojekte mit mehr als 1.000 Glasfaseranschlüssen (FTTH/B) sind die Projekte in den Kommunen Glonn (1.122 Haushalte bis Juli 2018) und Ludwigsstadt (1.208 Haushalte bis März 2019). Das größte laufende Projekt findet derzeit in Eppishausen statt. Hier sollen bis März 2022 über 800 Haushalte an das Glasfasernetz angeschlossen werden.

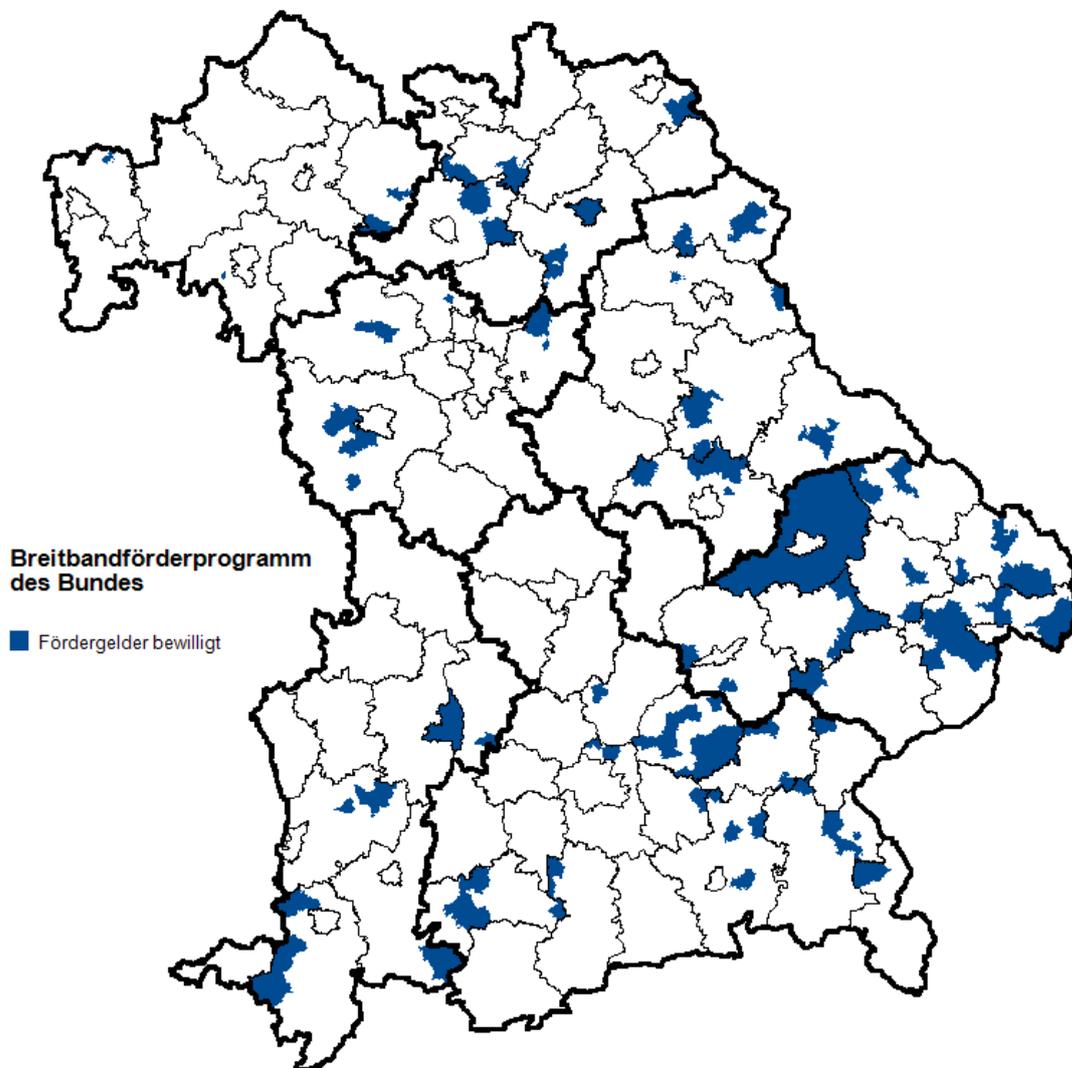
² Achslach, Altendorf, Altomünster, Buch am Wald, Buttenheim, Eching am Ammersee, Engelsberg, Essenbach, Gerolsbach, Guttenberg, Kempten, Langenaltheim, Markt Indersdorf, Markt Nordheim, Oberhausen, Passau, Petersaurach, Pettendorf, Pettstadt, Pfaffenhofen an der Glonn, Rosenheim, Schwabbruck, Söchtenau, Türkenfeld und Wiesent

3.2 Aktivitäten der bayerischen Gebietskörperschaften in den aktuellen Förderprogrammen

3.2.1 Förderprogramm des Bundes

Abbildung 7

Regionen in Bayern mit bewilligten Fördergeldern des Bundesförderprogramms



Datenstand: 20. Juli 2020; Infrastrukturprojekte ohne Fördergelder für Beratungsleistungen.

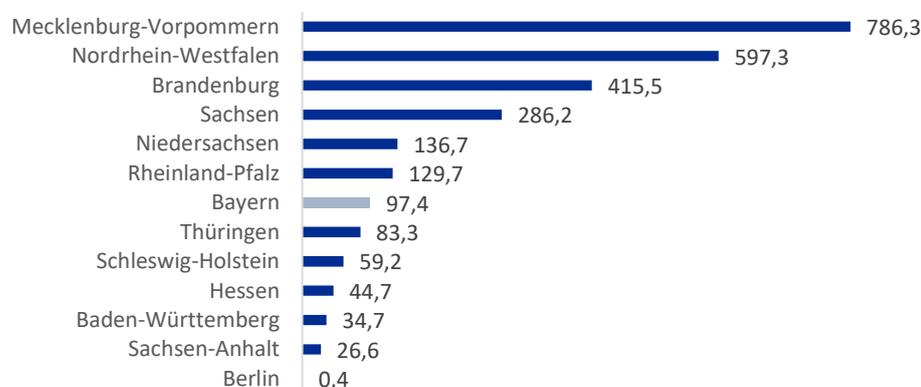
Quelle: Bundesregierung Deutschland (20.07.2020)

Im Bundesförderprogramm wurden dem Freistaat Bayern bisher 97,4 Millionen Euro an Fördergeldern für den Breitbandausbau bewilligt (Abbildung 7). Das entspricht etwa vier Prozent des gesamten Bundesförderungsprogramms. Diese Werte können durch den Rückzug einzelner Kommunen und Kreise aus dem Bundesförderprogramm geringer ausfallen als noch vor einem Jahr gemeldet. Durch die geplante Umstellung des bundesweiten Förderprogramms auf ein Gigabit-Förderprogramm sind einige Kommunen von ursprünglichen Ausbauplänen abgewichen. Die genaue Ausgestaltung und die anschließende Genehmigung dieses Gigabit-Programms für Deutschland durch die EU stehen noch aus. Am Bundesförderprogramm nehmen aktuell 124 bayerische Gebietskörperschaften teil. Die folgende Karte zeigt die Regionen mit bewilligten Fördergeldern.

Diese 124 Gebietskörperschaften haben bisher 97,4 Millionen Euro an Fördermitteln erhalten. 1.669 Gebietskörperschaften in Bayern haben sich im Rahmen des Bundesförderprogramms beraten lassen. Diese Beratung wird mit bis zu 50.000 Euro bezuschusst. Bayern hat damit mehr als die Hälfte aller Beratungen in Deutschland in Anspruch genommen. Zusätzlich zu den 97,4 Millionen für den Ausbau wurden 78 Millionen Euro für diese Beratungsgespräche bewilligt.

Abbildung 8

Bewilligte Fördergelder für den Breitbandausbau des Bundesförderprogramms in Millionen Euro



Datenstand: 03. Juni 2020; Infrastrukturprojekte ohne Fördergelder für Beratungsleistungen. Werte können durch den Rückzug einzelner Kommunen und Kreise aus dem Bundesförderprogramm geringer ausfallen als vor einem Jahr gemeldet.

Quelle: BMVI / atene KOM (2020b)

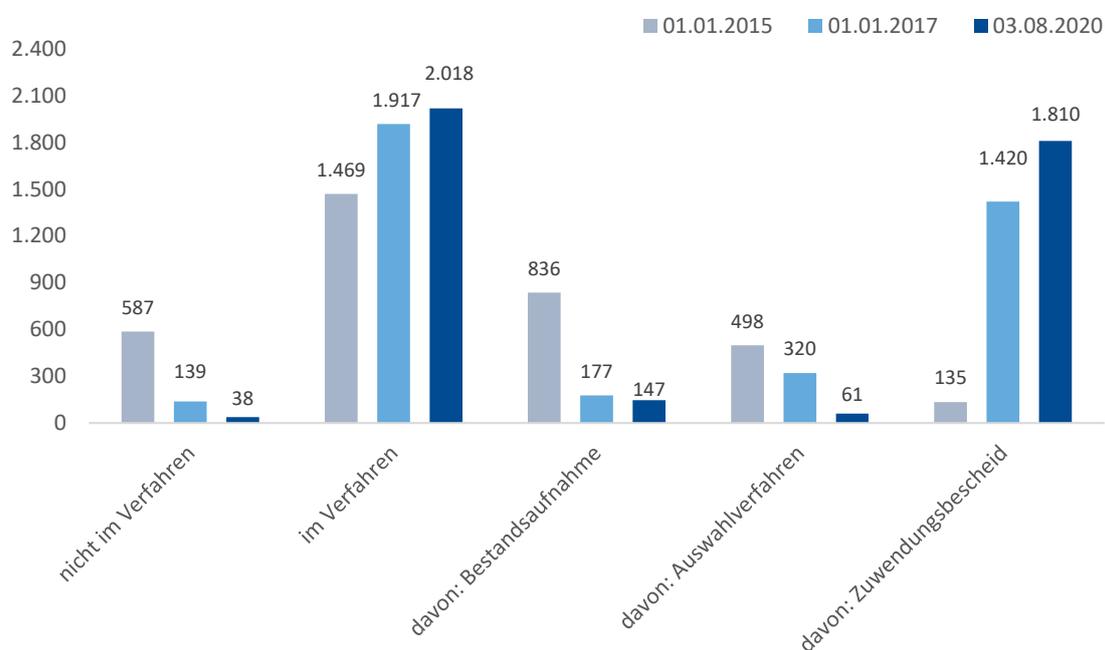
3.2.2 Bayerisches Förderprogramm

Das Programm des Landes Bayern zur Förderung des Breitbandausbaus hat bei den bayerischen Kommunen großen Anklang gefunden. Zum Stichtag 03. August 2020 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. Die geförderten Projekte sind im Zeitverlauf deutlich vorangeschritten (Abbildung 9). Mitte 2020 haben im Vergleich zu Anfang 2017 weitere 390 Kommunen ihren ersten Zuwendungsbescheid erhalten. Damit haben bereits rund 90 Prozent aller teilnehmenden Kommunen diesen wichtigen Meilenstein erreicht. Anfang 2017 lag die Quote bei lediglich 69 Prozent.

Abbildung 9

Anzahl der Kommunen in den Phasen des bayerischen Förderprogramms



Datenstand: 3. August 2020

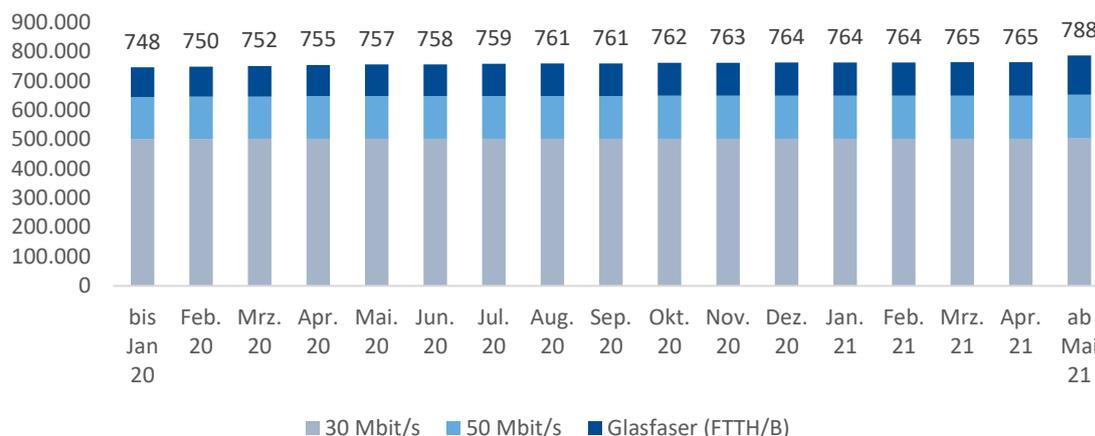
Quellen: Bay. Breitbandzentrum (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Die Breitbandversorgung in Bayern hat sich infolge des bayerischen Förderprogramms signifikant verbessert. Die veröffentlichten Fördersteckbriefe lassen weitere positive Effekte erwarten. Abgeleitet aus den Angaben der Fördersteckbriefe war bis Februar 2020 die Fertigstellung von 2.223 Ausbauprojekten geplant. Im Rahmen dieser Förderverfahren wurden bereits über 750.000 bayerische Haushalte neu mit NGA-Anschlüssen ausgestattet. Zu diesem Zweck wurden mehr als 43.000 Kilometer Glasfaserkabel und Leerrohre mit einer Gesamtlänge von über 13.000 Kilometern verlegt. Außerdem wurden 13.900 neue Verteilerpunkte gebaut. Bis Mitte 2021 sollen im Zuge der bisher geplanten Verfahren insgesamt rund 770.000 Haushalte mit NGA-Anschlüssen versorgt werden. Die in den Fördersteckbriefen veröffentlichten Zahlen zu neu erschlossenen Haushalten entsprechen dabei – nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat – dem

Stand zu Beginn der Detailplanung im jeweiligen Förderprojekt. Die angegebene Anzahl der neu erschlossenen Haushalte stellt einen Minimalwert dar, der nach den Erfahrungen der bisher abgeschlossenen Projekte in der Praxis meist überschritten wird.

Abbildung 10

Zwischenstand: Durch das bayerische Förderprogramm neu versorgte Haushalte



Datenstand: 3. August 2020; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

Quellen: Bay. Breitbandzentrum (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Abbildung 10 zeigt die im Rahmen des bayerischen Förderprogramms geplante Versorgung bayerischer Haushalte mit NGA-Anschlüssen und schlüsselt diese nach geforderten Mindestbandbreiten auf. Insgesamt basieren rund 64 Prozent aller bislang eingerichteten Anschlüsse auf der VDSL-Technik und liefern dementsprechend Bandbreiten von mindestens 30 Mbit/s. Für 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 17 Prozent der Haushalte erhalten besonders leistungsfähige Anschlüsse mit Übertragungsraten von mindestens 100 Mbit/s. Dabei handelt es sich nahezu ausschließlich um reine Glasfaseranschlüsse (FTTH/B). In den aktuell vorliegenden Fördersteckbriefen sind über 135.000 Glasfaseranschlüsse geplant oder bereits realisiert.

Die Zahlen der Fördersteckbriefe zeigen, dass die Bedeutung reiner Glasfaserlösungen (FTTH/B) im Rahmen des geförderten Ausbaus weiter zunimmt. Den veröffentlichten Fördersteckbriefen entsprechend boten Ende Februar 2016 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). Laut den bereits veröffentlichten Fördersteckbriefen zu geplanten Maßnahmen, die nach Mai 2021 abgeschlossen werden sollen,

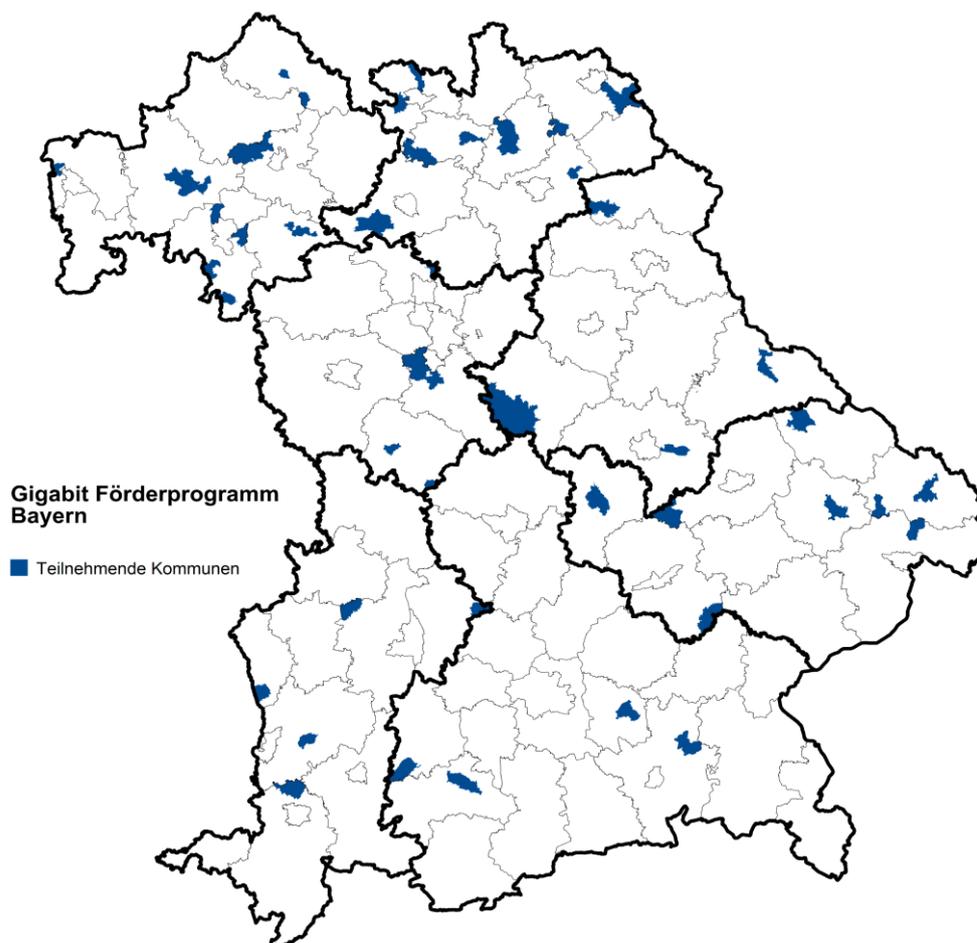
sollen rund 85,4 Prozent der neu versorgten Haushalte reine Glasfaseranschlüsse (FTTH/B) erhalten.

3.2.3 Gigabit-Förderung in Bayern

Auch bei der Gigabit-Förderung ist Bayern dem Bund zeitlich voraus. Ende 2019 hat die Europäische Kommission eine Ausnahmegenehmigung für das Gigabit-Förderprogramm in Bayern verabschiedet, das die bereits bestehenden Landes- und Bundesprogramme zur Förderung des Breitbandausbaus ergänzt.

Abbildung 11

Kommunen im Gigabit Förderprogramm Bayerns



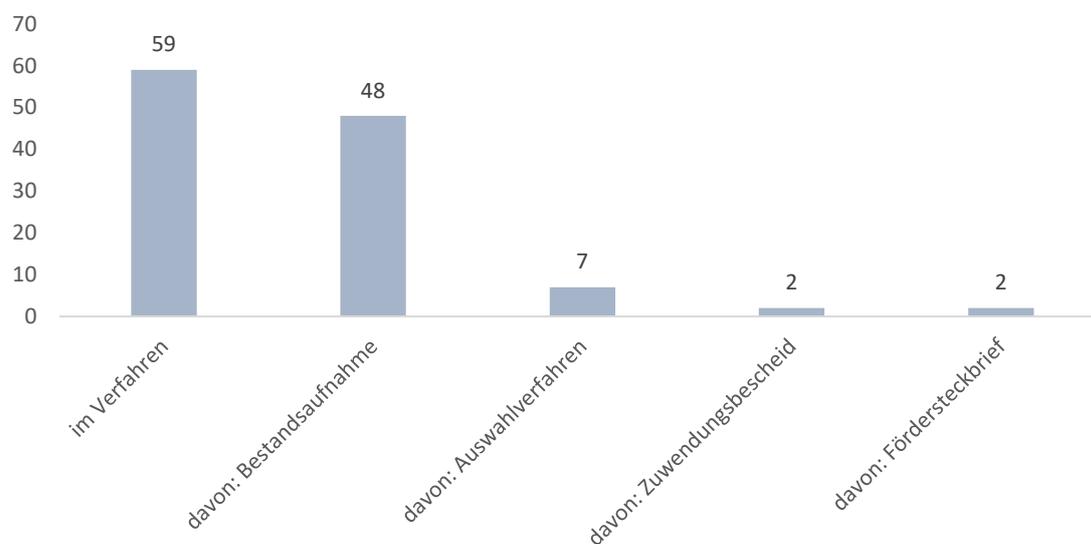
Datenstand: 3. August 2020

Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2020), eigene Darstellung IW Consult

Gefördert werden können mit diesem Programm erstmalig in Europa nun auch sogenannte graue Flecken, also Regionen, die bereits über einen Breitbandanschluss mit mindestens 30 Mbit/s verfügen. Dort, wo kein eigenwirtschaftlicher Ausbau stattfindet, unterstützt das bayerische Gigabit-Förderprogramm Kommunen gezielt bei der Versorgung mit gigabitfähiger Infrastruktur. Die Förderung soll Übertragungsraten von mindestens einem Gbit/s symmetrisch für gewerbliche Anschlüsse und von mindestens 200 Mbit/s symmetrisch für Privatanschlüsse ermöglichen.

Anfang August 2020 waren bereits 59 Kommunen Teil des bayerischen Gigabit-Förderprogramms (Abbildung 13). 53 Kommunen sind neu im Programm vertreten, während sechs Kommunen bereits Ende 2019 an Pilotprojekten teilgenommen hatten. Entsprechend bewegen sich die meisten aktiven Kommunen noch auf den frühen Stufen des Förderprogramms. Aktuell befinden sich 48 Kommunen in der Bestandsaufnahme und sieben Kommunen im Auswahlverfahren. Zwei der sechs Kommunen, die Teil der Pilotprojekte waren, haben bereits einen Zuwendungsbescheid erhalten.

Abbildung 12
 Fortschritt im Gigabit Förderprogramm Bayerns



Datenstand: 3. August 2020

Quellen: Bayerisches Breitbandzentrum (2020), eigene Darstellung IW Consult

3.3 Versorgungsprognose für Mitte 2021

Abbildung 13 stellt die prognostizierte Entwicklung der Breitbandversorgung in den bayerischen Kommunen bis Mitte 2021 dar. Gemäß der Prognose werden im Vergleich zu Ende 2019 insgesamt 156 Kommunen in eine höhere NGA-Index-Klasse aufsteigen. Dies entspricht etwa 7,5 Prozent aller Kommunen. Damit fällt der Anteil der aufsteigenden Kommunen deutlich geringer aus als im Vorjahr (23 Prozent). Die abnehmende Dynamik unterstreicht, dass die bayerischen Kommunen in der Breite bereits ein hohes Versorgungsniveau erreicht haben. Die Zahl der Kommunen mit Nachholbedarf im Breitbandausbau sinkt stetig. Die Förderung des Breitbandausbaus entfaltet dort aber nach wie vor ihre gewünschte Wirkung.

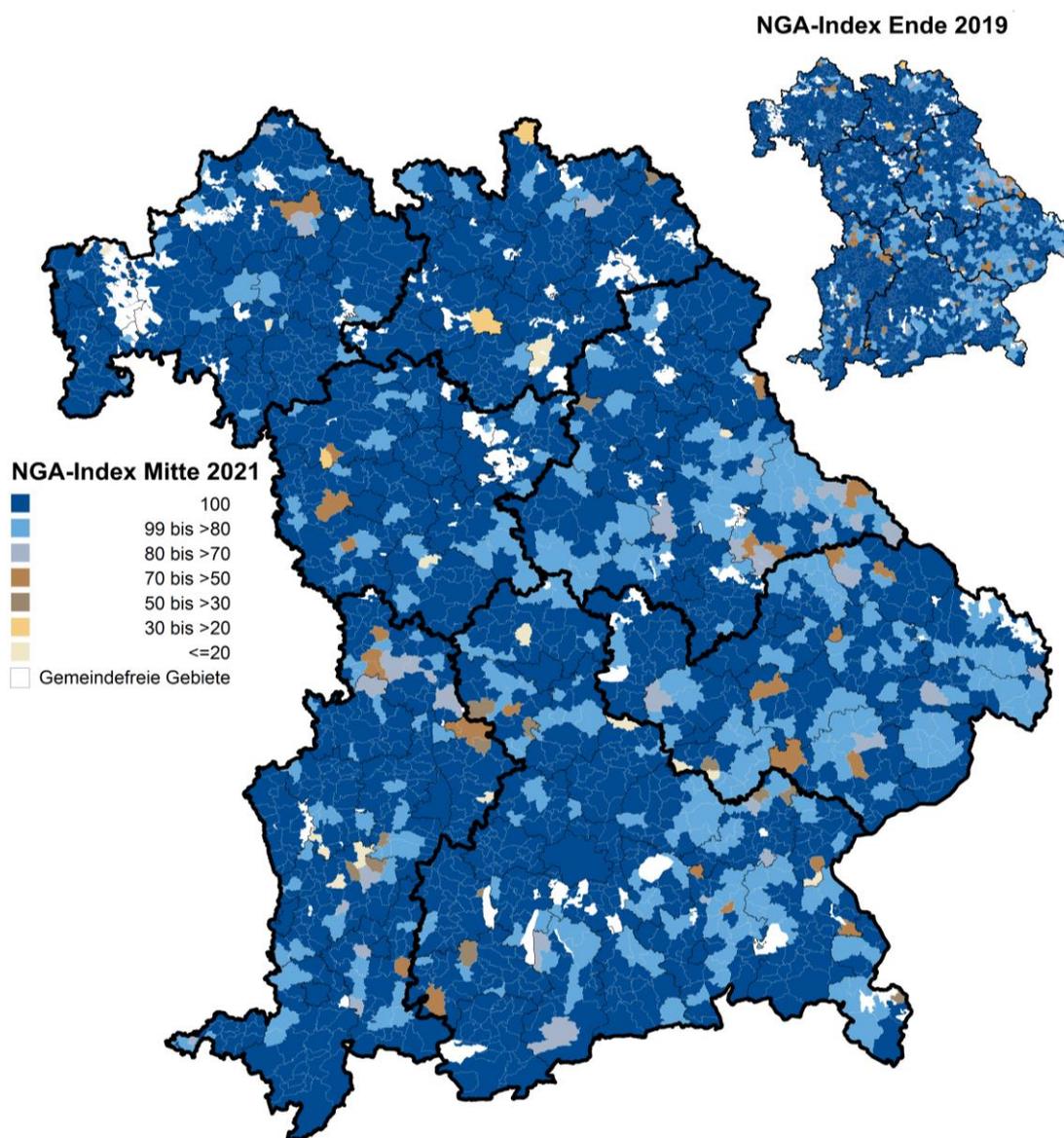
Die Versorgungsprognose kombiniert zwei Datenquellen. Den Ausgangspunkt bilden die Daten von atene KOM zur Versorgung der bayerischen Kommunen mit NGA-Anschlüssen Ende 2019. Diese wurden um Daten zu geplanten Fördermaßnahmen ergänzt. Dazu wurden die veröffentlichten Fördersteckbriefe der Kommunen ausgewertet, aus denen unter anderem die Anzahl der neu versorgten Haushalte sowie das geplante Abschlussdatum der jeweiligen Ausbaumaßnahme hervorgehen. Die zusätzliche NGA-Versorgung, die nach den Fördersteckbriefen bis Mai 2021 erreicht werden soll, wurde zum Ende 2019 festgestellten 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 Mitte und Ende 2019 tatsächlich im Versorgungsgrad Ende 2019 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 Mitte 2021 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 13

NGA-Index Bayern – Mindestprognose zum geförderten Ausbau Mitte 2021



Datenstand: 3. August 2020; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

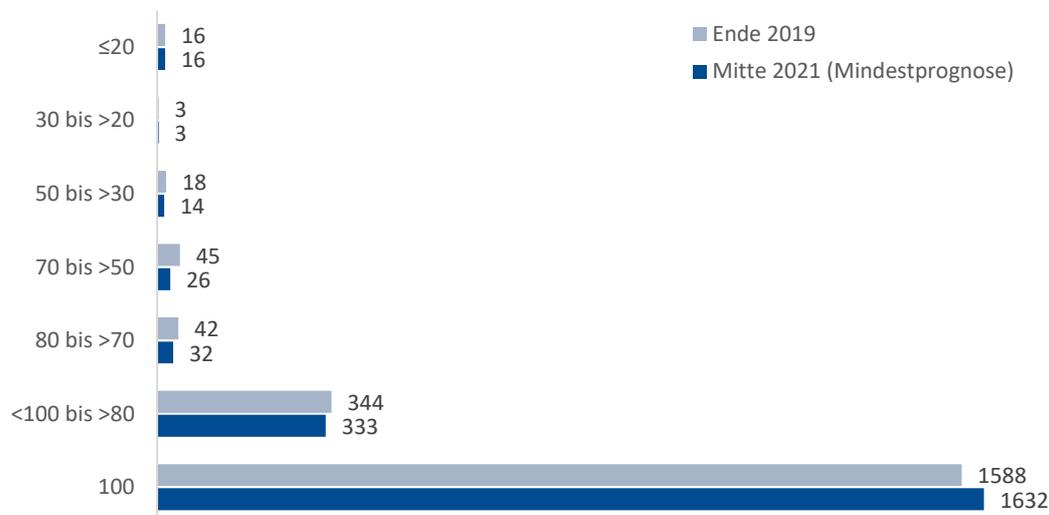
Quellen: BMVI / atene KOM (2020a), Bay. Breitbandzentrum (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Abbildung 14 zeigt, wie sich die NGA-Indexwerte der bayerischen Kommunen der Versorgungsprognose entsprechend bis Mitte 2021 entwickeln werden. Voraussichtlich 1.632 der 2.056 Kommunen werden den maximalen Indexwert (100 Punkte) erreichen. Dies entspricht einem Anteil von fast 80 Prozent und einem Zuwachs von knapp 2,5 Prozentpunkten im Vergleich zu Ende 2019. Der erwartete Zuwachs in der höchsten Indexklasse fällt somit deutlich geringer aus als im Vorjahreszeitraum. Damals schafften 16,9 Prozent aller Kommunen den Sprung in die höchste Indexklasse. Der prognostizierte Dynamikrückgang am oberen Ende des NGA-Index ist zum einen auf das insgesamt steigende Versorgungsniveau in den bayerischen Kommunen zurückzuführen. Zum anderen resultiert er daraus, dass die Vectoring-Entscheidung der EU-Kommission bereits weitgehend umgesetzt wurde.

Lediglich 33 Kommunen werden Mitte 2021 einen NGA-Indexwert unter 50 aufweisen. Dies entspricht 1,6 Prozent der Kommunen Bayerns. Vor Beginn des bayerischen Breitbandförderprogramms Mitte 2015 lag dieser Anteil noch bei 42 Prozent.

Abbildung 14

Planentwicklung des NGA-Index für die bayerischen Kommunen



Datenstand: 03. August 2020; Daten beruhen auf den Angaben in den Fördersteckbriefen.

Quellen: BMVI / atene KOM (2020a), Bayerisches Breitbandzentrum (2020), eigene Berechnungen
 IW Consult

4 Versorgungsgrad im Mobilfunknetz

Messwerte zeigen verbesserte Versorgung entlang zentraler Verkehrswege – einzelne Lücken verbleiben

4.1 Versorgungsgrad der Haushalte in Bayern mit LTE

Nach Angaben von BMVI/atene KOM (2020b) sind die bayerischen Haushalte mit Ausnahme der Grenzregionen nahezu flächendeckend mit LTE versorgt. 96,8 Prozent der bayerischen Haushalte empfangen Mitte 2019 an ihrem Wohnort LTE. Die Daten 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 Stelle werden keine realen Messdaten zur Mobilfunkversorgung in Bayern zur Verfügung gestellt. Laut Bundesnetzagentur (BNetzA 2019) werden zwar stichprobenartige Messungen in verschiedenen Referenzregionen durch den Prüf- und Messdienst durchgeführt, jedoch dienen sie lediglich der Überprüfung, ob die Mobilfunkanbieter ihre Versorgungspflichten erfüllen. Deshalb hat die vbw im Rahmen dieser Studie für die Versorgung der Autobahnen und Bundesfernstraßen flächendeckende Messungen beauftragt.

4.2 Empfangsqualität in den bayerischen Mobilfunknetzen

Um die Empfangsqualität in den bayerischen Mobilfunknetzen quantifizieren zu können, werden zwei Indikatoren gemessen: Die Qualität bei LTE-Verbindungen, die sowohl Datenübertragungen als auch Telefonie ermöglichen, sowie die Qualität der Sprachtelefonie über alle verfügbaren Mobilfunkstandards hinweg. Zweck der Untersuchung ist es, zum einen die Versorgungssituation der bayerischen Mobilfunknetze abzubilden und zum anderen regionale und netzspezifische Versorgungsunterschiede zu identifizieren.

Der Mobilfunkdienstleister und Datenanbieter BREUER Nachrichtentechnik hat mit Hilfe mehrerer Messfahrzeuge Mobilfunkdaten auf allen Autobahnen und Bundesstraßen Bayerns erhoben. Die Messungen fanden zwischen dem 08. August 2020 und dem 01. September 2020 statt 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-Frequenzen durch. Somit stehen für die Bestimmung der LTE-Empfangsqualität zu jedem Messzeitpunkt mehrere Messwerte zur Verfügung. Um die optimierte Frequenzauswahl mobiler Endgeräte realistisch darstellen zu können, wurde in der Auswertung jeweils der beste Messwert berücksichtigt. Dieser Methodik folgend verfügt der generierte Datensatz über 710.000 Messzeitpunkte.

Die Empfangsqualität der Sprachtelefonie wurde gemessen, indem kontinuierlich Sprachanrufe getätigt wurden, die, falls eine erfolgreiche Verbindung aufgebaut werden konnte, bis zu 120 Sekunden gehalten wurden. 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, 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. 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 ≥ RSRP ≥ -120 	RSRP < -120 
Telefonie Sprach- qualität	AQM > 3,8 	3,8 ≥ AQM ≥ 3,0 	AQM < 3,0 

Die Farbquadrate verweisen auf die nachfolgenden Karten.

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 identifiziert. 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 Mobilfunkanbietern Deutsche Telekom, Vodafone und O₂ betrachtet, wobei jedem Anbieter drei Abbildungen zugeordnet sind. 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. Die Darstellungen der Sprachqualität unterscheiden sich zur Vorgängerstudie dadurch, dass

statt der LTE-Signalstärke die konkrete Sprachqualität gemessen wird. 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.

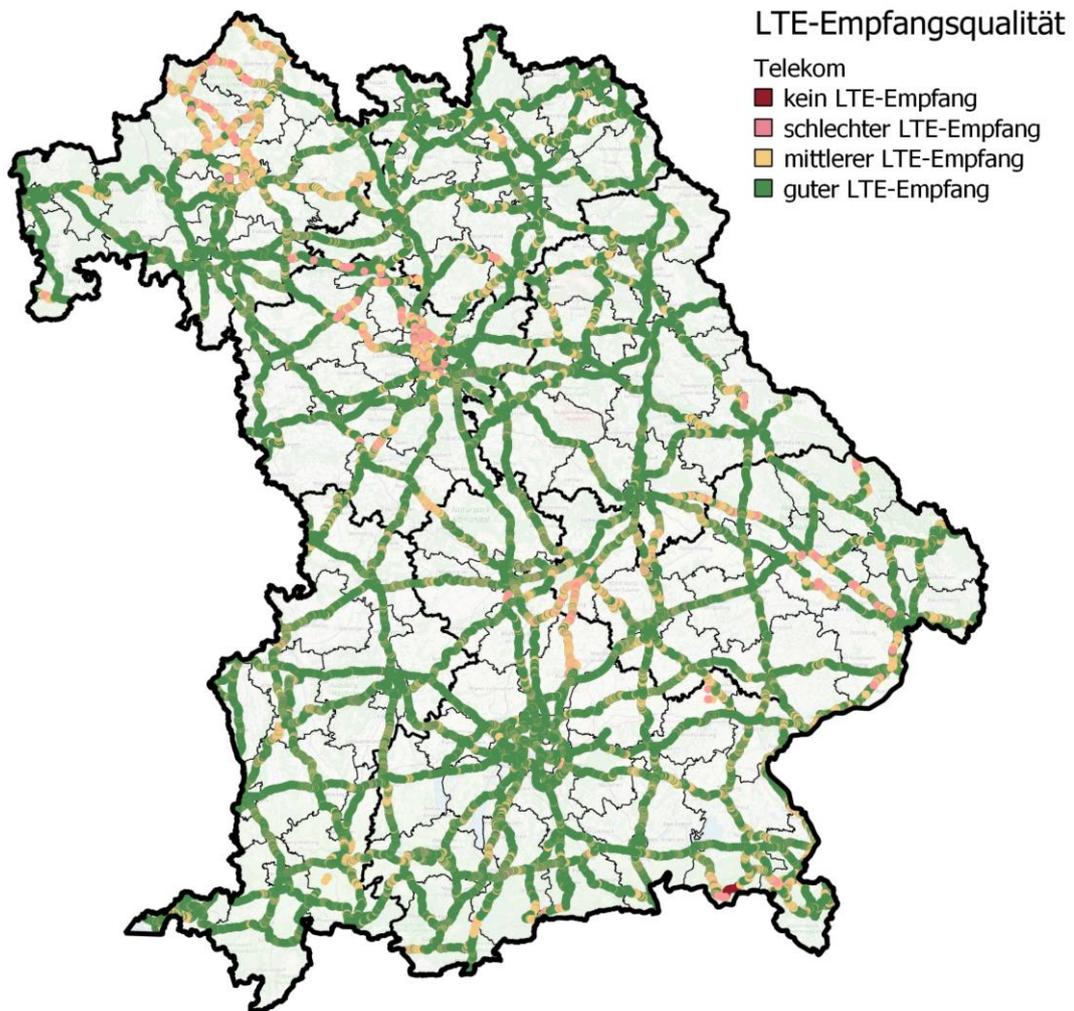
Die Mobilfunkversorgung der drei Anbieter auf den bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen erreicht meist ein gutes bis mittleres Niveau. Streckenabschnitte mit einer ungenügenden Empfangsqualität für Sprachtelefonie und LTE-Empfang kamen vor allem auf Bundesstraßen vor. Die Betrachtung spiegelt regionale Qualitätsunterschiede zwischen den Anbietern wider.

Die folgenden drei Abbildungen stellen die Messwerte zum Mobilfunknetz der Deutschen Telekom dar. Wie bereits im letzten Jahr konnte auf einem Großteil der Streckenkilometer der bayerischen Bundesstraßen und Autobahnen eine gute LTE-Verbindung im Netz der Telekom gemessen werden (Abbildung 15).

Die Deutsche Telekom hat in der letzten Zeit in hohem Maße in den Netzausbau investiert. Im zweiten Quartal 2020 hat die Telekom deutschlandweit zusätzliche LTE-Kapazitäten an 5.300 Standorten realisiert. Knapp 4.700 dieser Standorte funken mit 5G. Spitzenreiter beim LTE-Ausbau in den vergangenen drei Monaten war Bayern mit 1.760 neuen Standorten und Erweiterungen (vgl. Deutsche Telekom 2020a).

Im LTE-Netz der Deutschen Telekom gibt es entlang der zentralen Verkehrswege in Bayern aber weiterhin auch Streckenabschnitte, in denen kein LTE-Empfang oder nur schwache LTE-Signalstärken gemessen werden konnten. So konnte etwa an der B305 nahe der österreichischen Grenze teilweise kein LTE-Signal gemessen werden. Auf den Straßen im Nordwesten Bayerns wurde vielfach nur mittlerer bis schlechter LTE-Empfang aufgezeichnet. Auch nördlich von Nürnberg oder der B301 zwischen Elsendorf und Freising wurde entlang der Strecke an vielen Messpunkten kein guter LTE-Empfang festgestellt.

Abbildung 15
 Verteilung der LTE-Empfangsqualität – Deutsche Telekom



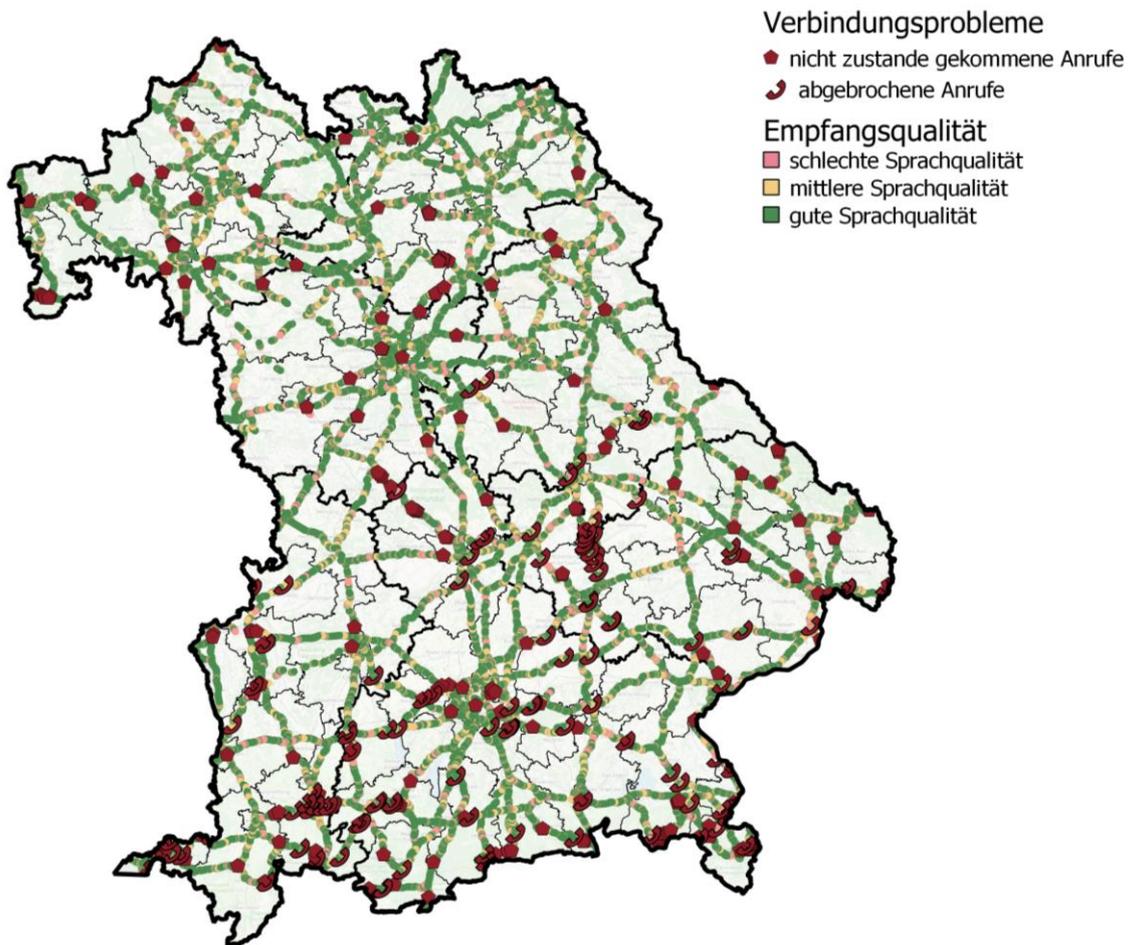
Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020

Quelle: (BREUER Nachrichtentechnik 2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Ähnlich wie bei der Messung der LTE-Empfangsqualität liegt der Großteil der im Telekom-Netz gemessenen Gesprächsqualitäten in einem guten Messbereich (Abbildung 16). Für die Messung der Gesprächsqualität werden dabei alle verfügbaren Mobilfunknetze der Telekom genutzt (2G, 3G und 4G), wie dies auch bei einem normalen, modernen Mobiltelefon der Fall wäre. Vermehrte Gesprächsabbrüche wurden beispielsweise auf der B15n und B15 nördlich von Neufahrn in Niederbayern in Richtung Regensburg sowie auf der B471 nordwestlich von München (östlich von Fürstenfeldbruck) aufgezeichnet.

Abbildung 16
 Problemstellen für Sprachtelefonie – Deutsche Telekom



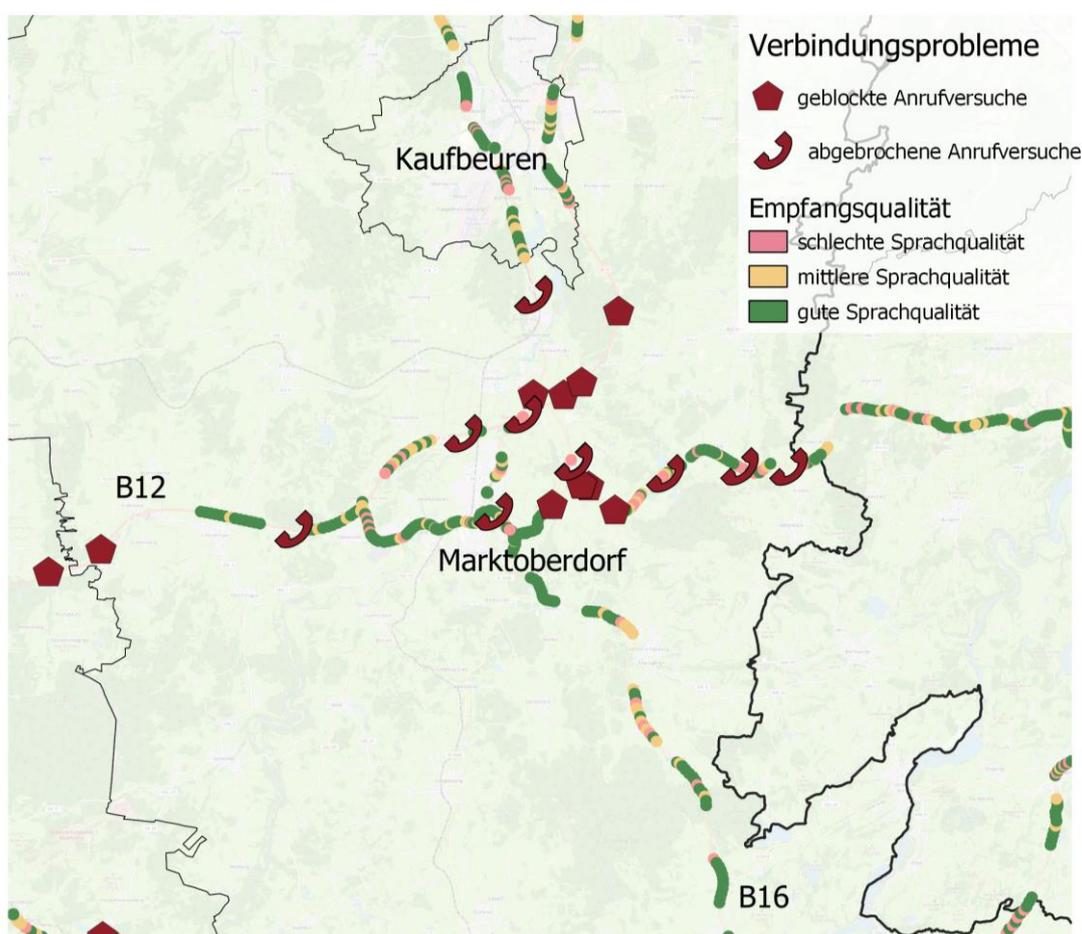
Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: (BREUER Nachrichtentechnik 2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Lokale Probleme, die es in allen Netzen gibt, können im Format dieser Studie nur exemplarisch aufgezeigt werden. Abbildung 17 zeigt für das Netz der Deutschen Telekom die Messung zur Sprachtelefonie rund um Marktoberdorf in Schwaben. So kam es etwa am Ende des zweiminütigen Anrufs auf der B16 von Kaufbeuren und Marktoberdorf zu einem netzbedingten Abbruch des Gesprächs. Ebenso blieben mehrere Anrufversuche auf der B12 nördlich von Marktoberdorf in Richtung Kaufbeuren erfolglos. Bei der Messfahrt konnte erst im Stadtgebiet von Kaufbeuren der nächste Anruf initialisiert werden.

Abbildung 17

Detaildarstellung der Empfangsqualität – Deutsche Telekom

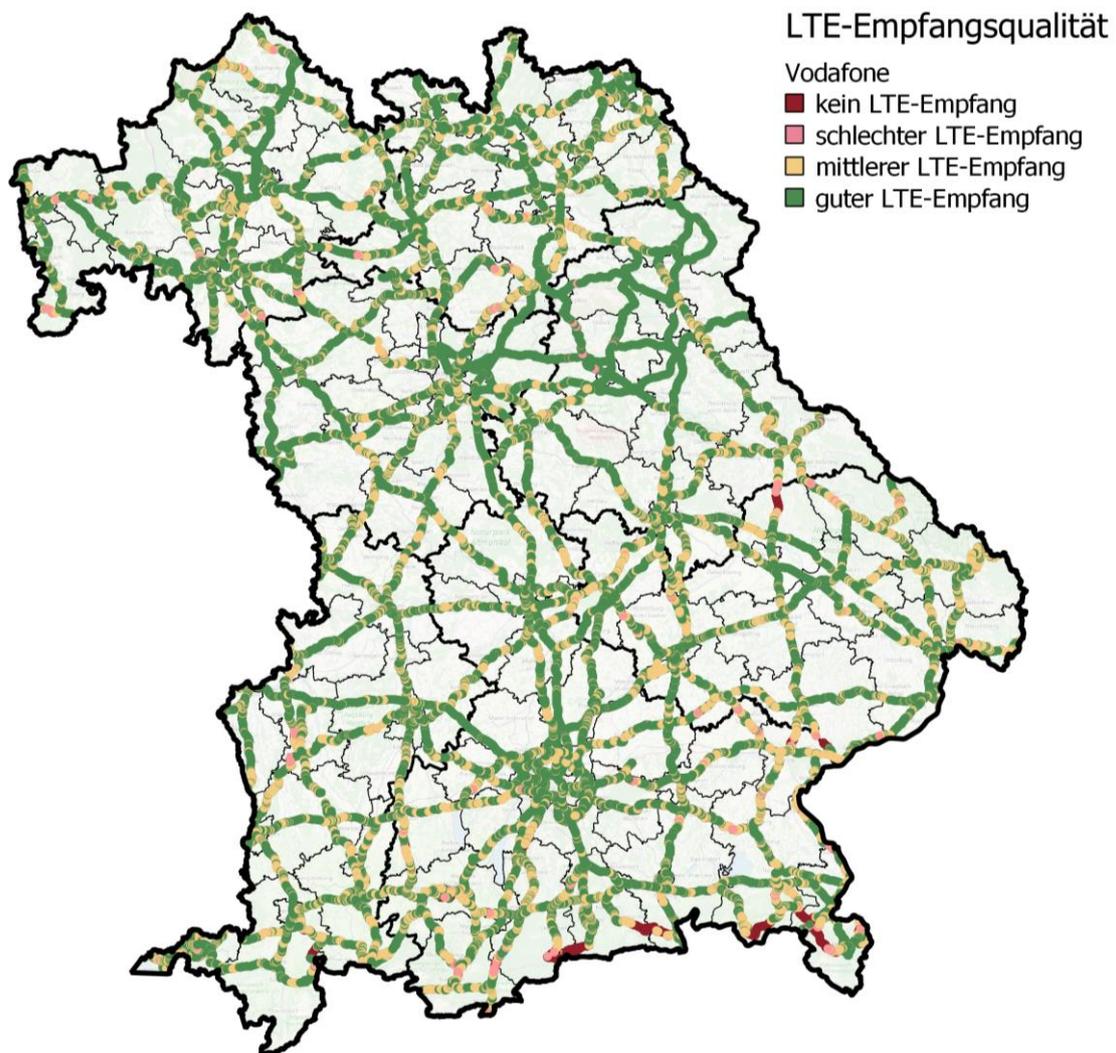


Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: (BREUER Nachrichtentechnik 2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Auch im Netz von Vodafone in Bayern war die LTE-Empfangsqualität im August 2020 auf den meisten zentralen Verkehrswegen in Bayern auf einem guten Niveau (Abbildung 18). Gemessen wurden jedoch auch einige Abschnitte, bei denen maximal eine mittlere Empfangsqualität im LTE-Netz gemessen werden konnten. Zudem konnte auch in diesem Jahr noch an einzelnen Punkten in Bayern kein LTE-Empfang aufgezeichnet werden. Hierzu zählen vor allem die Verkehrswege dicht an der Grenze zu Österreich sowie einzelne Verbindungen wie die B20 zwischen Loitzendorf und Ascha in Niederbayern.

Abbildung 18
 Verteilung der LTE-Empfangsqualität – Vodafone

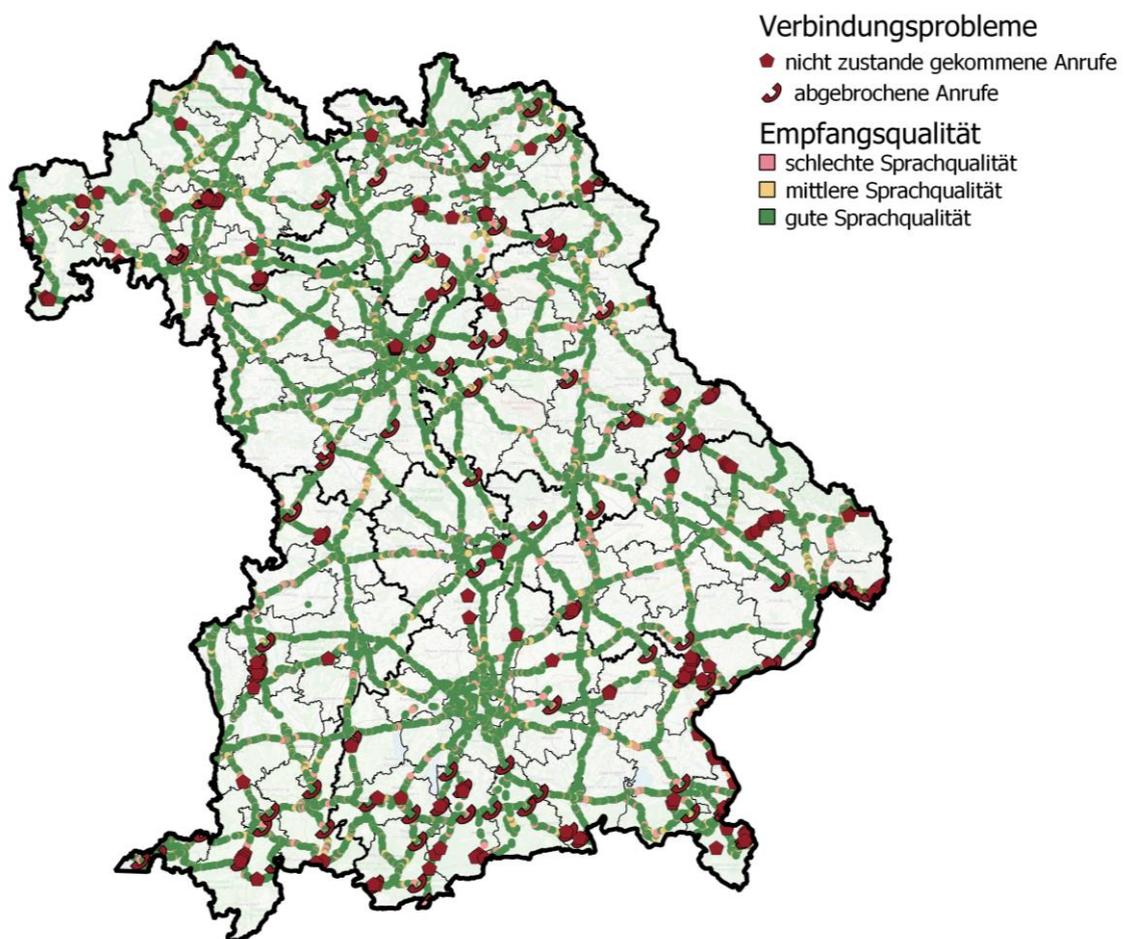


Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: : (BREUER Nachrichtentechnik 2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Bei der Messung der Sprachverbindungen im Vodafone-Netz in Bayern konnte zum überwiegenden Teil eine gute Sprachqualität aufgezeichnet werden (Abbildung 19). An einigen Messpunkten kam es zu Verbindungsabbrüchen oder durch Verbindungsprobleme nicht zustande gekommenen Sprachanrufen. Besonders davon betroffen waren die Grenzgebiete an der südlichen und östlichen Grenze Bayerns.

Abbildung 19
Problemstellen für Sprachtelefonie – Vodafone



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020

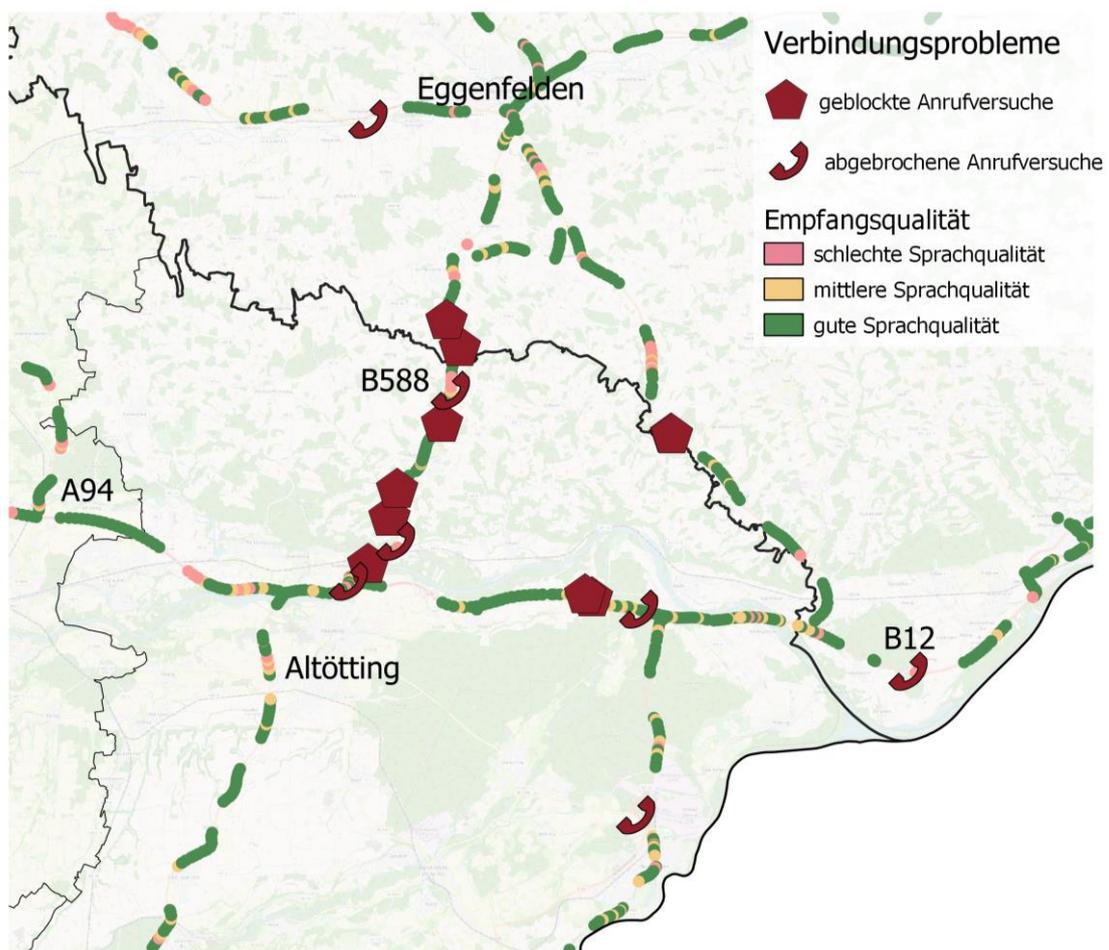
Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Abbildung 20 visualisiert als exemplarischen Blick auf lokale Probleme im Vodafone-Netz die Messungen zur Sprachtelefonie in der Nähe der österreichischen Grenze. So wurden auf der B588 zwischen Altötting und Eggenfelden verschiedene abgebrochene beziehungsweise nicht realisierbare Anrufe verzeichnet. Auch westlich von Eggenfeld – auf der B388 – kam es gegen Ende der Gesprächszeit zu einem Abbruch der Verbindung. Zudem zeigen die Messwerte auf dieser Strecke eine verringerte Sprachqualität.

Abbildung 20

Detaildarstellung der Empfangsqualität – Vodafone

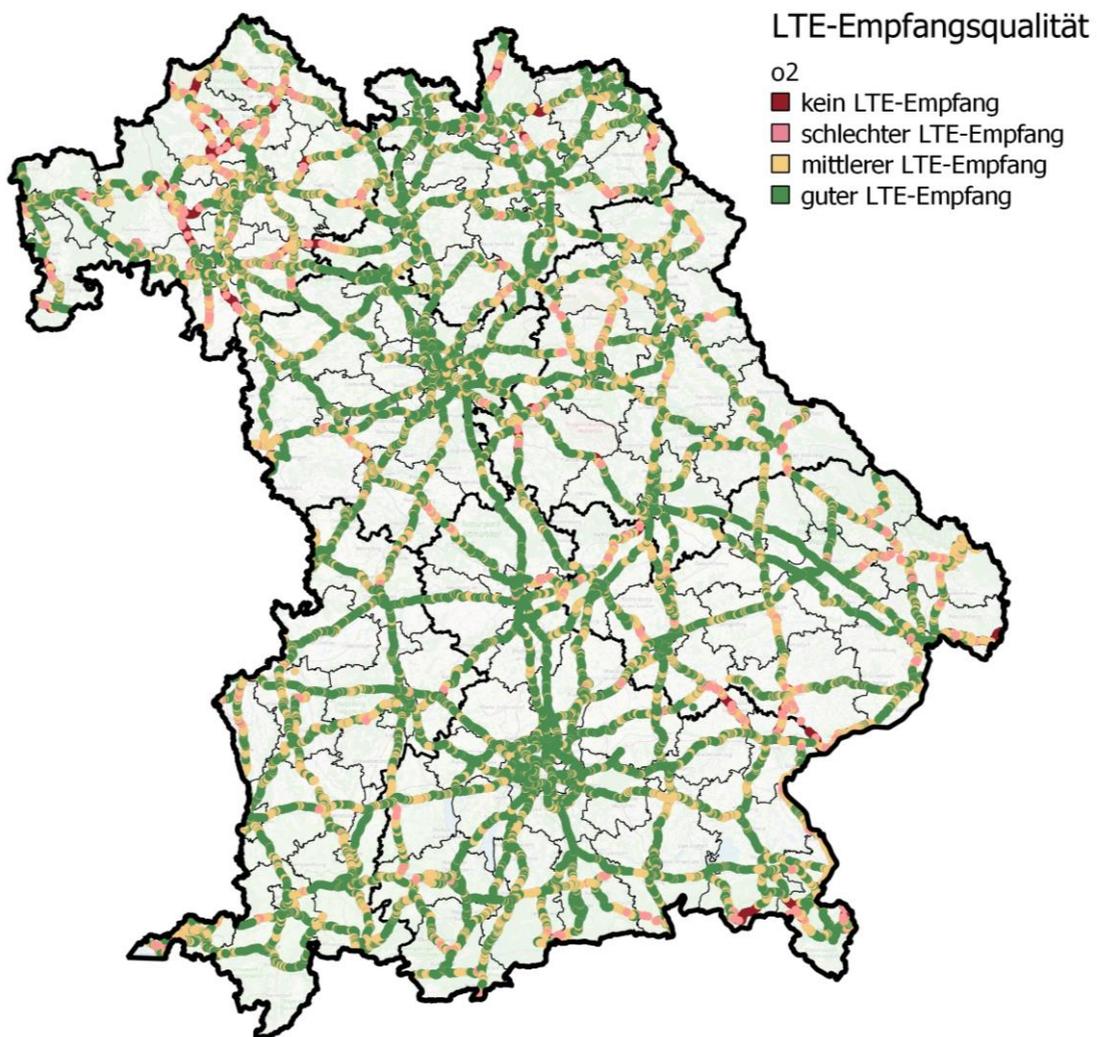


Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Im O₂-Netz wurde an der Mehrzahl der Messpunkte in diesem Jahr eine gute LTE-Empfangsqualität ermittelt (Abbildung 21). Auch wenn die LTE-Versorgung im Vergleich zu den beiden anderen Anbietern die höchste Anzahl an Strecken mit weniger gut ausgeprägter LTE-Versorgung oder gar LTE-Lücken aufweist, hat sich die LTE-Empfangsqualität im O₂-Netz im Vergleich zur letztjährigen Messung stark verbessert. Dennoch bestehen noch einige Lücken – beispielsweise auf den Verkehrswegen Unterfrankens, wo auf vielen Strecken die LTE-Empfangsqualität nicht optimal ausgeprägt ist.

Abbildung 21
 Verteilung der LTE-Empfangsqualität – O₂



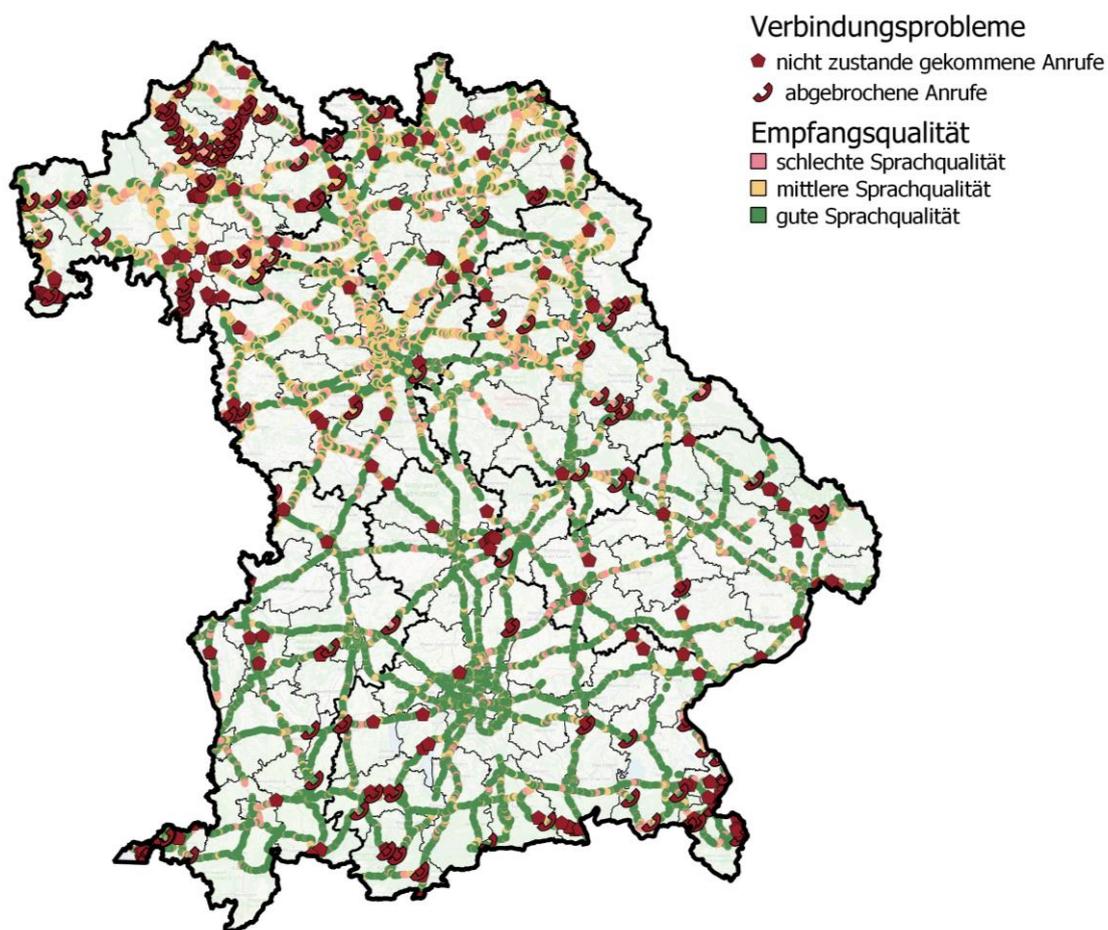
Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Ein ähnliches Bild zeigen die Messungen der Sprachqualität im Mobilfunknetz von O₂ (Abbildung 22). Auch hier überwiegen anteilsmäßig die Messpunkte mit guter

Sprachqualität. Jedoch gibt es in den Regionen im Norden Bayerns eine relativ hohe Anzahl an Streckenabschnitten mit maximal mittlerer Sprachqualität. Auch ist die Zahl der gemessenen Abbrüche und nicht zustande gekommenen Anrufe dort relativ hoch.

Abbildung 22
 Problemstellen für Sprachtelefonie – O₂

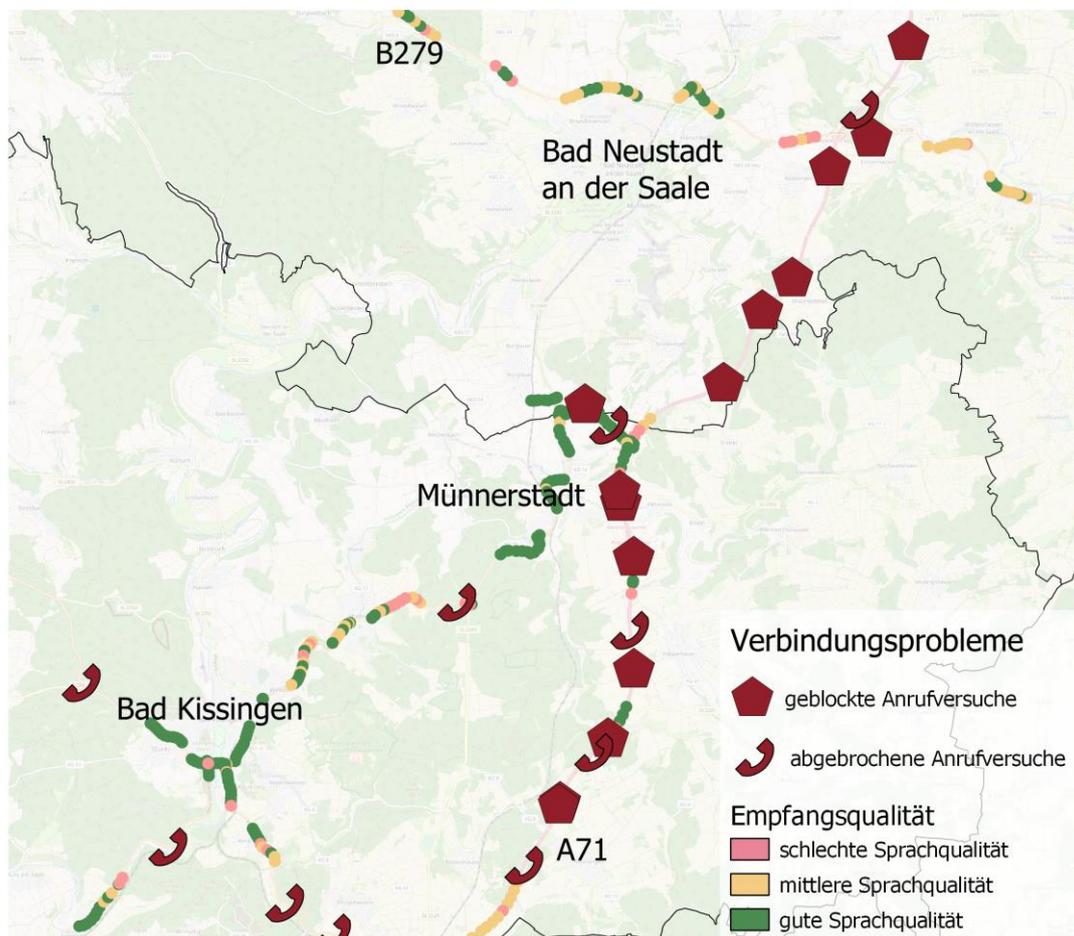


Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Ein Beispiel für lokale Probleme im Mobilfunknetz von O₂ ist die gemessene schwache Sprachqualität an der Verbindung der A71 zwischen Bad Neustadt an der Saale und Schweinfurt (Abbildung 23). So konnte auf der ganzen Strecke nur an wenigen Abschnitten ein Gespräch initialisiert werden. Auch die Sprachqualität auf der B279 wurde an einigen Stellen nur mit mittelmäßiger Qualität gemessen.

Abbildung 23
 Detaildarstellung der Empfangsqualität – O₂



Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020
 Quelle: BREUER Nachrichtentechnik (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

4.3 Lokale Verfügbarkeit mobilen Breitbands am Beispiel Schöngeising

Netzstärken und -schwächen können lokal sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Örtliche Entscheidungsprozesse zum Netzausbau können von einer exakten Analyse zu besser und schlechter versorgten Teilen der Kommune sehr profitieren. In Folge wird am Beispiel der ländlichen Gemeinde Schöngeising im Landkreis Fürstentfeldbruck aufgezeigt, wie dabei vorgegangen werden kann. Wichtig ist hier der Hinweis, dass sich die Situation in unterschiedlichen Gemeinden deutlich unterscheiden kann. Die folgenden Darstellungen sind also keinesfalls als genereller Verweis auf die Qualität des Angebots einzelner Netzanbieter zu verstehen. Deshalb werden die drei dargestellten Netzanbieter den einzelnen Messungen nicht explizit zugeordnet.

Um die Versorgungssituation in Schöngeising realistisch darzustellen, hat die VP Consulting GmbH München mit Hilfe von Messfahrzeugen Messungen auf allen befahrbaren Straßen Schöngeising durchgeführt. Erfasst wurden für drei unterschiedliche Netze die Signalstärke der LTE-Mobilfunknetze (4G) und die zur Übertragung von Daten verfügbare Bandbreite. Die Messungen erfolgten im August und September 2020. Die Messfahrzeuge führen die Straßen mehrmals, und zwar zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlichen Richtungen. Jede Sekunde wurden Messungen der LTE-Empfangsqualität (Signalstärke, Signalqualität, Signal-Rausch-Verhältnis, Latenz) und des Datendurchsatzes durchgeführt. Für einen Messzeitpunkt liegen somit mehrere Datenwerte vor. Während der Messungen wurden pro Stunde ca. 100.000 mobile Breitbanddatenpunkte gesammelt. Diese wurden in Logfiles aufgezeichnet und in einer Datenbank mit den Satelliten-Standortdaten korreliert. Die Ergebnisse sind über ein Webinterface abrufbar.

Für die Bewertung der Signalstärke wurde die sogenannte Reference Signal Received Power (RSRP) herangezogen. Für die mobile Bandbreite wurden Megabits pro Sekunde (Mbps) gemessen. Die definierten Grenzwerte sind in Abbildung 24 dargestellt.

Abbildung 24

Definierte Grenzwerte für die LTE-Signalstärke

<i>Signalstärke LTE (4G)</i>	RSRP < -110dBm	■	Schlecht
	-110dBm < RSRP < -100dBm	■	Befriedigend
	-100dBm < RSRP < -90dBm	■	Gut
	RSRP > -90 dBm	■	Sehr gut

Quelle: VP Consulting GmbH (2020)

Die folgenden Abbildungen zeigen die gemessenen LTE-Signalstärken und verfügbaren Bandbreiten, aufgeschlüsselt nach Qualitätsstufen und Netzbetreibern. Jede Abbildung bezieht sich auf das Netz eines anderen Netzbetreibers. Insgesamt zeigen die Daten, dass eine hohe Signalstärke nicht automatisch eine große Bandbreite und eine niedrige

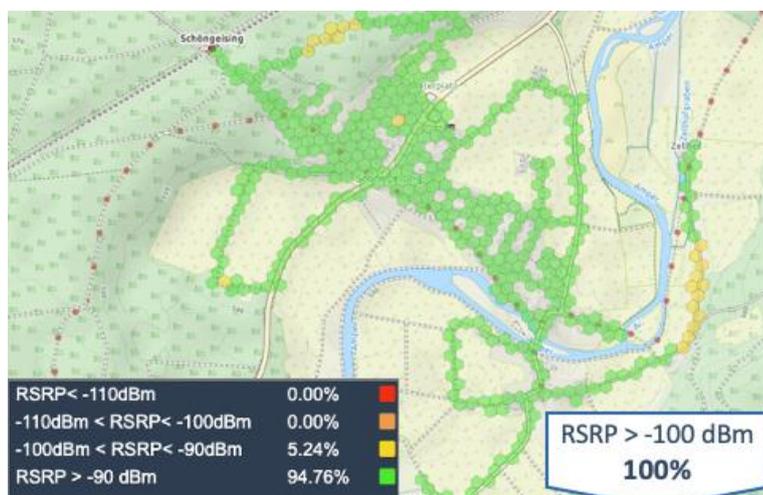
Signalstärke nicht automatisch eine geringe Bandbreite bedeutet. Ist eine qualifizierte Aussage hinsichtlich der lokal verfügbaren Bandbreite zu treffen, so muss diese vor Ort zu unterschiedlichen Zeiten mit unterschiedlichen Netzauslastungen explizit gemessen werden.

Abbildung 25 zeigt: Netzanbieter 1 bietet im gesamten Gemeindegebiet eine gute bis sehr gute Empfangsqualität. Entlang 59 Prozent der Gemeindestraßen ist eine Bandbreite von mehr als 30 Mbit/s verfügbar, entlang 90,8 Prozent der Gemeindestraßen eine von mehr als 20 Mbit/s. Geschwindigkeiten mit mehr als 10 Mbit/s können auf 99,3 Prozent der Gemeindestraßen realisiert werden. 1 Mbit/s ist überall in Schöngesing möglich.

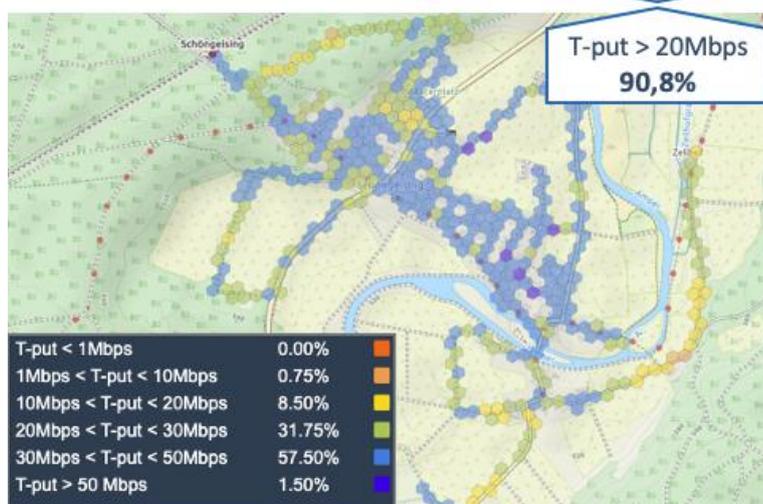
Abbildung 25

Signalstärke und mobile Bandbreite in Schöngesing – Netzanbieter 1

Signalstärke
(RSRP)



Mobile Bandbreite
(in Mbit/s)

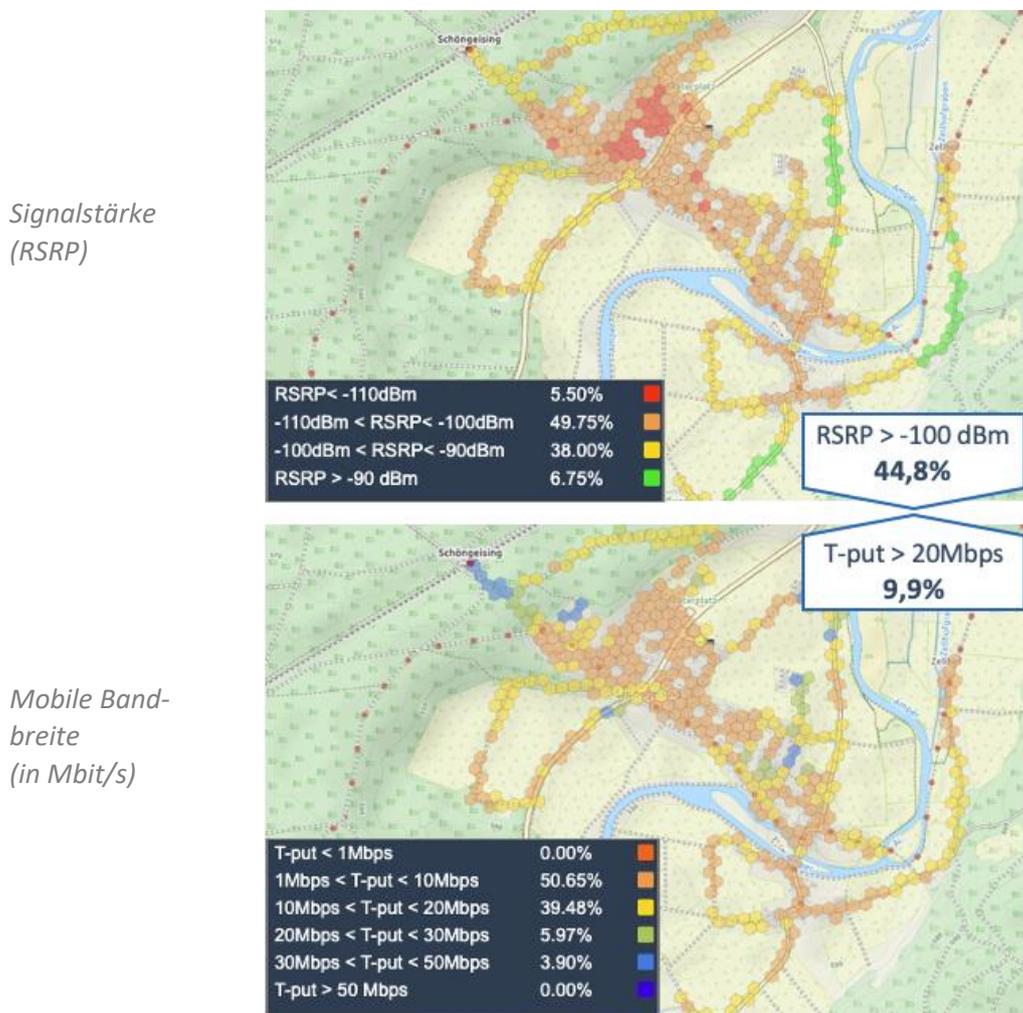


Datenerfassung im Zeitraum August/September 2020

Quelle: VP Consulting GmbH (2020); Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Abbildung 26 zeigt zu Netzanbieter 2: Entlang 44,8 Prozent der Gemeindestraßen wird eine gute bis sehr gute Empfangsqualität realisiert, entlang von 3,9 Prozent der Gemeindestraßen eine von mehr als 30 Mbit/s. Auf 9,9 Prozent der Gemeindestraßen lässt die digitale Infrastruktur eine Bandbreite von mehr als 20 Mbit/s zu. Auf der Hälfte der Gemeindestraßen (49,4 Prozent) liegt die verfügbare Bandbreite bei mehr als 10 Mbit/s, auf allen Gemeindestraßen wird mehr als 1 Mbit/s realisiert.

Abbildung 26
 Signalstärke und mobile Bandbreite in Schöngesing – Netzanbieter 2



Datenerfassung im Zeitraum August/September 2020

Quelle: VP Consulting GmbH (2020); Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

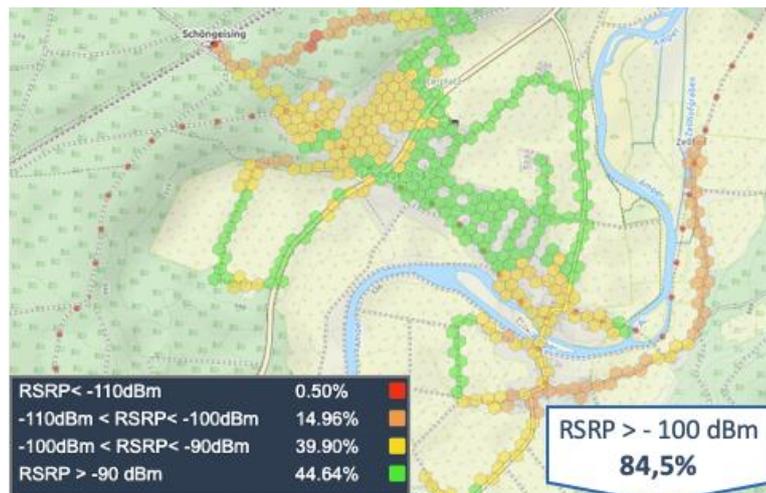
Abbildung 27 zu Netzanbieter 3 vermittelt, dass dieser auf 84,5 Prozent der Gemeindestraßen eine gute bis sehr gute Empfangsqualität anbietet. Auf 20,6 Prozent der Gemeindestraßen ist eine Bandbreite von mehr als 30 Mbit/s verfügbar, entlang 58,7 Prozent der Gemeindestraßen eine Bandbreite von mehr als 20 Mbit/s. Auf 90,5 Prozent der

Gemeindestraßen lässt sich eine Bandbreite von mehr als 10 Mbit/s realisieren. Die digitale Infrastruktur bietet eine vollständige Abdeckung der Gemeindestraßen mit mehr als 1 Mbit/s.

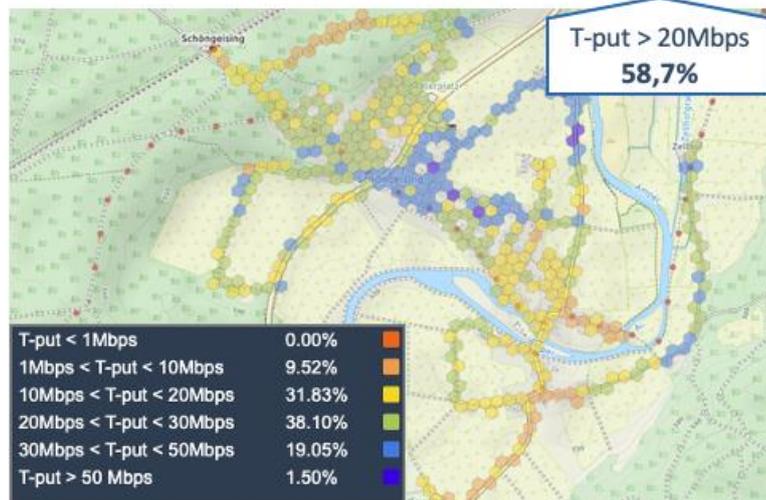
Abbildung 27

Signalstärke und mobile Bandbreite in Schöngesing – Netzanbieter 3

Signalstärke
(RSRP)



Mobile Bandbreite
(in Mbit/s)



Datenerfassung im Zeitraum August/September 2020

Quelle: VP Consulting GmbH (2020); Darstellung: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Der Wert der Darstellungen liegt nicht nur in diesen abstrakten Zahlen zum Abdeckungsgrad. Für das Handeln vor Ort wichtiger ist es, dass auf den Karten optisch sehr gut sichtbar wird, wo einzelne Netze Schwächen haben, wo also aufgerüstet werden sollte, bei Bedarf mit aktiver Unterstützung durch die Kommune.

4.4 Geförderter Ausbau der Mobilfunknetze in Bayern

Seit dem 01. Dezember 2018 können die Kommunen in Bayern am bayerischen Mobilfunk-Förderprogramm teilnehmen. In Regionen, in denen aus mangelnder Wirtschaftlichkeit bislang keine hinreichende Versorgung besteht, sollen Kommunen und Netzbetreiber beim Ausbau des Mobilfunknetzes unterstützt werden. Daher stehen vor allem ländliche Regionen mit einer geringen Bevölkerungsdichte im Fokus des Förderprogramms, das bis 2022 insgesamt 80 Millionen Euro für den Netzausbau zur Verfügung stellt. Des Weiteren wurde ein großangelegter Ausbau des Mobilfunks in Bayern mit den drei Mobilfunkanbietern vereinbart, der die gesetzlichen Verpflichtungen der Netzbetreiber übersteigt.

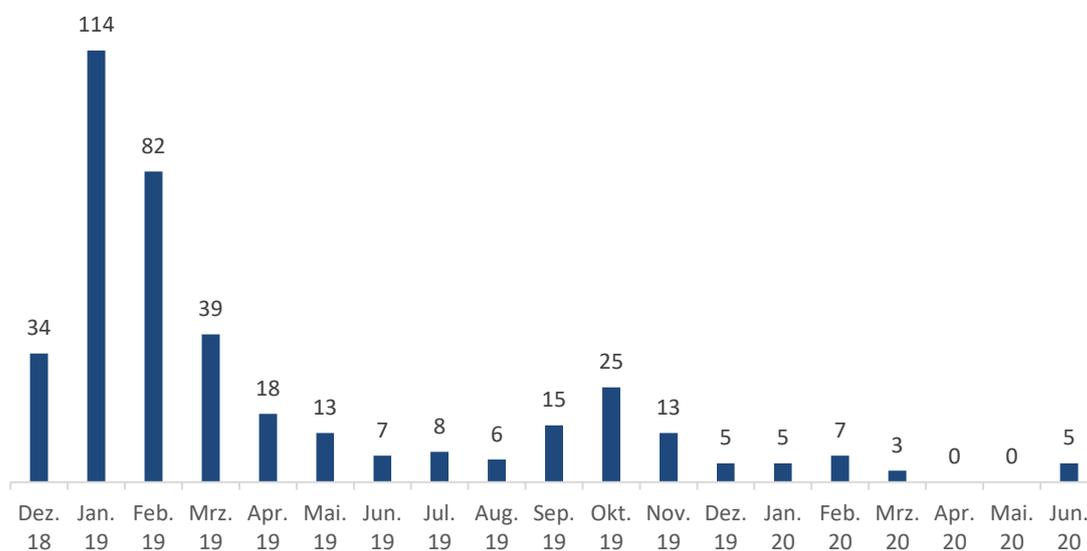
Für die Unterstützung des Netzausbaus können Kommunen und Netzbetreiber zwischen zwei Fördermodellen wählen: Das Mietmodell und das BOS Modell. Durch das Mietmodell werden Kommunen beim Aufbau passiver Infrastruktur für Mobilfunkstandorte gefördert, welche anschließend durch die Netzbetreiber genutzt werden. Dabei können die Gemeinden den Mobilfunkmasten selbst errichten oder das an einen Konzessionär vergeben. Anschließend wird der Mobilfunkstandort 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 Versorgungsaufgaben zu einem Ausbau verpflichtet sind. Grundsätzlich beträgt der Fördersatz bis zu 80 Prozent der förderfähigen Kosten. Für Orte mit besonderem Handlungsbedarf kann das 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.

Die zweite Fördervariante stellt das BOS Modell dar. Dabei werden Netzbetreiber beim Ausbau bestehender Digitalfunk-Standorte des staatlichen Behördenfunks BOS für die Mitnutzung gefördert. Die Förderung umfasst ebenfalls einen etwaigen Austausch oder Neubau von Masten. Auch hier liegt der Fördersatz bei maximal 80 Prozent, bei einer Maximalförderung über 500.000 Euro.

Abbildung 28 zeigt die Anzahl der Markterkundungsverfahren, welche nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie seit Beginn des Förderprogramms eingeleitet wurden. Im Zeitraum von Dezember 2018 bis Juni 2020 wurden fast 400 Verfahren eingeleitet, was auf ein großes Interesse der Kommunen am Förderprogramm hinweist. Die Mehrheit der Markterkundungsverfahren erfolgte im ersten Quartal 2019, unmittelbar nach Programmstart. Jedoch kommen jeden Monat weitere Kommunen dazu. Nach einer durch die Corona-Krise bedingten Pause im April und Mai 2020 haben sich im Juni fünf weitere Kommunen zur Teilnahme angemeldet.

Abbildung 28

Eingeleitete Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern



Datenstand: 17. Juli 2020

Quelle: (StMWi 2020), eigene Berechnungen IW Consult

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren auf die Regierungsbezirke. Während über ganz Bayern betrachtet knapp ein Fünftel der Kommunen eine Teilnahme am Förderprogramm erkunden, haben jeweils mehr als ein Drittel der niederbayerischen und oberpfälzischen Kommunen ein Markterkundungsverfahren gestartet. Zusammengenommen sind das für diese beiden Regierungsbezirke 44 Prozent aller gestarteten Markterkundungsverfahren in Bayern.

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 Regierungsbezirkes
Oberbayern	64	12,8%
Niederbayern	93	36,0%
Oberpfalz	82	36,3%
Oberfranken	54	25,2%
Mittelfranken	33	15,7%
Unterfranken	41	13,3%
Schwaben	32	9,4%
Bayern insgesamt	399	19,4%

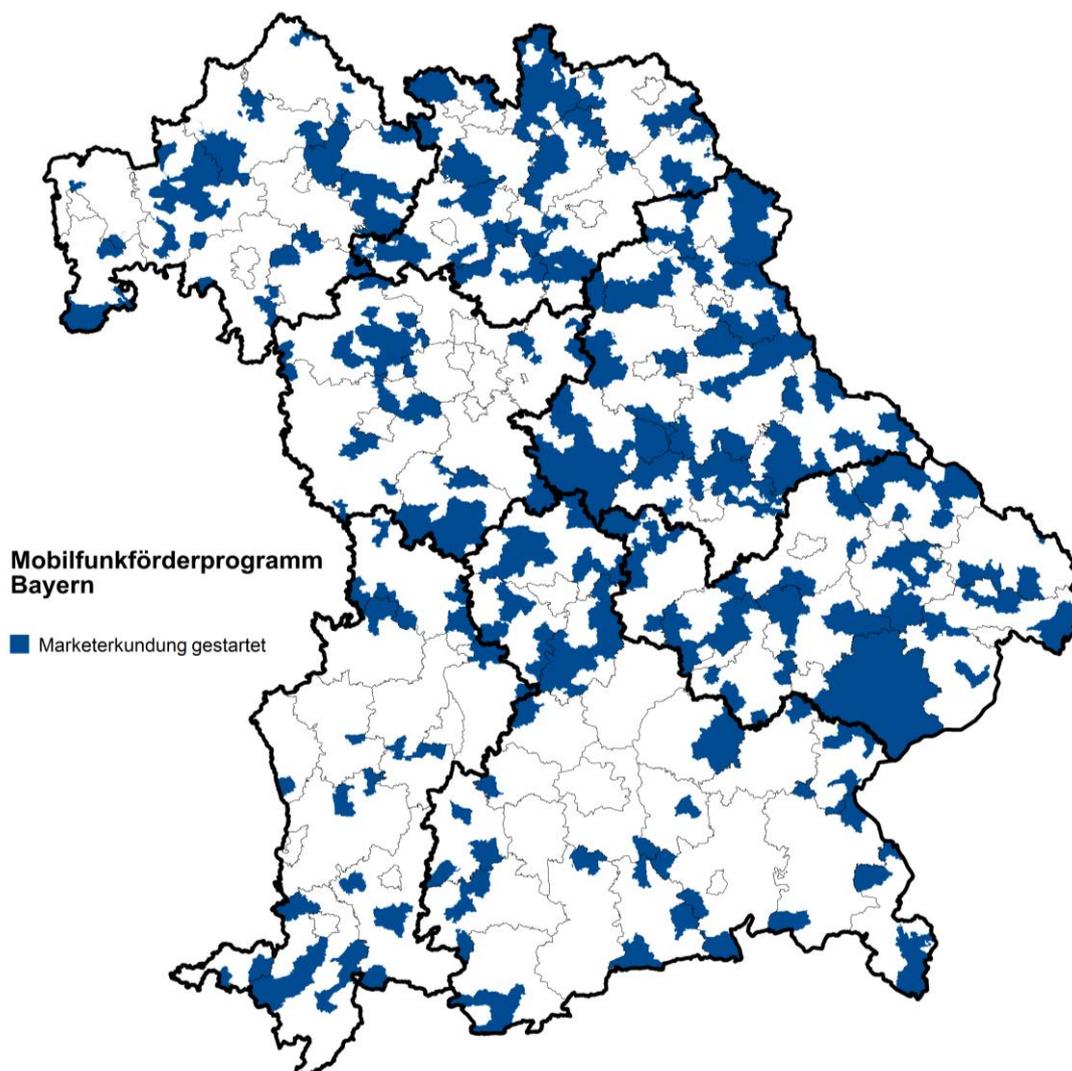
Datenstand: 17. Juli 2020

Quelle: StMWi (2020), eigene Berechnungen IW Consult

Auch Abbildung 29 zeigt die regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern. Hier lässt sich bildlich nachvollziehen, was in Tabelle 4 bereits numerisch sichtbar wurde.

Abbildung 29

Regionale Verteilung der Markterkundungsverfahren zum geförderten Mobilfunkmastenbau in Bayern



Datenstand: 17. Juli 2020

Quelle: StMWi (2020), eigene Berechnungen IW Consult

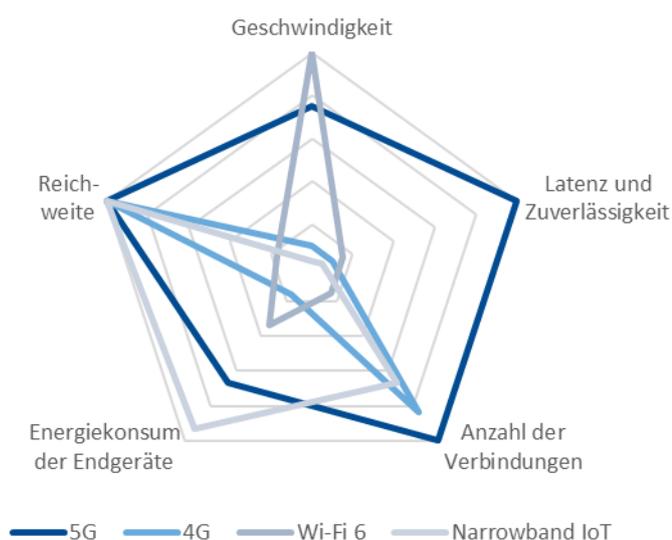
5 Einführung und Verbreitung von 5G

Internationale Wettbewerber geben das Tempo vor

Im Jahr 2019 fiel weltweit der Startschuss für den neuen Mobilfunkstandard 5G, der als technologischer Wegbereiter für die digitale Transformation gilt. Der 5G-Standard kombiniert eine Reihe neuartiger Technologien, die unter anderem deutlich höhere Datenübertragungsraten und geringere Latenzen ermöglichen als der Vorgängerstandard LTE beziehungsweise 4G (vgl. Abbildung 30). Damit legt 5G den Grundstein für die skalierbare Vernetzung von Geräten und Maschinen im Internet of Things (IoT), die wiederum Voraussetzung zahlreicher Industrie 4.0-Anwendungen ist.

Abbildung 30

Vorteile von 5G gegenüber anderen (Mobil-)Funktechnologien



Eigene Darstellung IW Consult; Ursprungsdaten: McKinsey (2020)

Deutschland zählt zu den größten Volkswirtschaften der Welt und als Industrieland zu den besonderen potenziellen Nutznießern der 5G-Technologie, allen auf dem Feld der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M-Kommunikation). Die letztjährige Studie der vbw zur Entwicklung der digitalen Infrastruktur (vbw 2019) zeigt anhand eines länderübergreifenden Vergleichs, dass die globalen Wettbewerberländer Bayerns den Ausbau ihrer Mobilfunknetze ebenfalls vorantreiben und Deutschland Gefahr läuft, technologisch und ökonomisch abgehängt zu werden, falls wichtige Weichen nicht rechtzeitig gestellt werden. Dazu zählen insbesondere die schnelle und kostengünstige Bereitstellung der

notwendigen Frequenzen – inklusive der Frequenzbereiche für Campus-Netze – sowie der Ausbau der Netzinfrastruktur.

Im Folgenden wird die derzeitige Verbreitung von 5G in Deutschland beleuchtet. In Anlehnung an die letztjährige Studie werden zunächst die grundlegenden Voraussetzungen für eine schnelle Verbreitung des neuen Mobilfunkstandards zusammengefasst. Dabei wird sowohl auf technische Aspekte (Netzinfrastruktur, Empfangsmodule und Endgeräte) als auch auf regulative Rahmenbedingungen (Frequenzvergabe) eingegangen. Anschließend wird der 5G-Ausbauzustand in Deutschland und in wichtigen Wettbewerberländern Bayerns untersucht – China, Japan, Südkorea und den USA.

5.1 Voraussetzungen für die Verbreitung von 5G

Der 5G-Mobilfunkstandard kann erst dann seine volle Wirkung entfalten, wenn sämtliche Komponenten des Netzwerks 5G-fähig sind (Abbildung 31).

Abbildung 31

Aufbau einer 5G-Architektur



Eigene Darstellung IW Consult

Somit sind drei Faktoren für die schnelle Verbreitung von 5G entscheidend:

- leistungsfähige Netze, die durch die Aufrüstung bestehender oder den Bau zusätzlicher Funkstationen geschaffen werden können,
- die Verfügbarkeit der erforderlichen Frequenzen und
- die Verfügbarkeit von Chipsätzen für Endgeräte und Maschinen, die in der Lage sind, 5G-Signale zu empfangen und zu verarbeiten.

5.1.1 Netzinfrastruktur

Eine zentrale Voraussetzung für eine zügige Verbreitung des 5G-Mobilfunkstandards ist die Etablierung einer 5G-fähigen Netzinfrastruktur. Die Netzbetreiber können dabei an verschiedenen Punkten ansetzen.

Aufrüstung bestehender Funkstationen

Ein gut ausgebautes 4G-Netz bildet die Grundlage für einen zügigen Netzausbau mit 5G, da bestehende Mobilfunkstandorte um eine Antenne für 5G erweitert werden können. Alternativ können bereits installierte Antennen, die jeweils einen bestimmten Mobilfunkstandard bedienen, durch eine gemeinsame Antenne ersetzt werden, die dank Single-RAN (*Radio Access Network*)-Technik die parallele Verarbeitung der Mobilfunkstandards 2G (GSM), 3G (UMTS), 4G (LTE) und 5G in einer gemeinsamen Hardware-Einheit ermöglicht. Bislang war für jeden Mobilfunkstandard ein eigener Hardware-Baustein inklusive eigener Antenne erforderlich.

Verdichtung der Netzinfrastruktur

Zusätzlich zur Umrüstung der bestehenden Infrastruktur muss das Netz verdichtet werden, um den höheren Anforderungen von 5G gegenüber älteren Standards gerecht zu werden. Dies betrifft insbesondere Gebiete mit einer hohen Nutzerdichte. Diese Gebiete werden üblicherweise über mittlere Frequenzbänder (3,4 – 3,7 GHz) versorgt, die zwar hohe Datenraten, aber relativ geringe Reichweiten ermöglichen. Die notwendige Verdichtung des Netzes kann durch den Bau konventioneller Funkstationen sowie durch den Einsatz sogenannter Smart Cells erreicht werden. Diese Mikro-Funkzellen bieten eine Versorgung im Umkreis weniger hundert Meter. Da die Sendeleistung üblicherweise weniger als zehn Watt beträgt, unterliegen sie einer weniger strengen Regulierung als leistungsstärkere Sendevorrichtungen. Eine Installation setzt lediglich eine Meldung an die Bundesnetzagentur voraus. Die geringe Größe und Sendeleistung sollten sich positiv auf die öffentliche Akzeptanz auswirken, die beim Bau konventioneller Funkstationen immer wieder nur eingeschränkt gegeben ist.

Effizienzsteigerung durch neue Technologien

Parallel zu der Aufrüstung bestehender Funkstationen und der Verdichtung der Netze setzen die Netzbetreiber eine Reihe neuer Technologien ein, um ihre Infrastruktur an die Leistungsanforderungen des 5G-Mobilfunks anzupassen. Im Folgenden werden drei Schlüsseltechniken vorgestellt.³

³ Die vorgestellten Schlüsseltechniken werden als grundlegend für 5G angesehen, können aber prinzipiell auch im Zusammenspiel mit älteren Mobilfunktechnologien genutzt werden.

– *Massive MIMO*

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) bezeichnet den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Antennen für die Aussendung und den Empfang von Mobilfunk. Die Technik wird bereits erfolgreich im Mobilfunk- und WLAN-Bereich eingesetzt. So sind zahlreiche Mobilfunkstandorte inzwischen mit vier Antennen ausgestattet, die die Aussendungen von vier unabhängigen Datenströmen ermöglichen (4x4-MIMO). Aus der bisherigen maximalen LTE-Geschwindigkeit von 300 Megabit pro Sekunde (Mbit/s) werden so 480 Mbit/s. Das entspricht einer Zunahme um 60 Prozent. Im Zuge der 5G-Einführung soll das MIMO-Prinzip noch einmal deutlich ausgeweitet werden. So sieht die 5G-Spezifikation bis zu 256 einzelne Antennen vor, die im Zusammenspiel *Massive MIMO* ermöglichen.

– *Beamforming*

Herkömmliche Mobilfunkantennen strahlen das Funksignal kreisförmig aus. Mit steigender Entfernung zur Antenne wird das Signal schwächer. Beamforming ermöglicht die gezielte Ausrichtung des Funksignals in Form von länglichen Keulen (Beams) auf einzelne Nutzer beziehungsweise Nutzergruppen im Senderadius. Diese Technik verbessert das sogenannte „Signal-Rauschverhältnis“, was sich wiederum positiv auf die Stabilität der Funkverbindung und die potenziell erreichbare Datenrate auswirkt. Darüber hinaus kann eine einzelne Funkstation dadurch mehr Nutzer gleichzeitig versorgen, da die Stärke des Funksignals an den individuellen Bedarf der Nutzer angepasst werden kann. Beamforming kommt bereits seit Längerem in LTE-Advanced-Netzen zum Einsatz. So führte Vodafone die Technik auf der Basis von bis zu 128 Antennen Mitte 2018 ein und vermarktet sie seitdem als „5G Beam“ (Vodafone 2018). Insbesondere in Regionen mit schlechter Breitbandabdeckung wird Beamforming genutzt, um den Kunden über LTE-fähige WLAN-Router eine schnelle Internetverbindung zu ermöglichen.

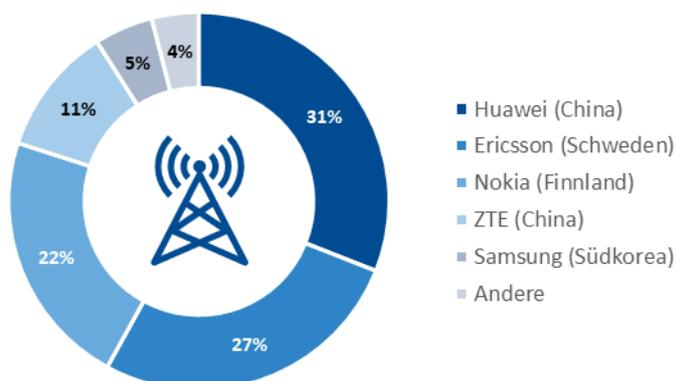
– *Dynamic Spectrum Sharing*

Dynamic Spectrum Sharing (DSS) ermöglicht den parallelen Betrieb von LTE (4G) und 5G im gleichen Frequenzband. Damit versetzt die Technologie die Netzbetreiber in die Lage, das Frequenzspektrum je nach Bedarf dynamisch zwischen LTE- und 5G-Nutzern aufzuteilen. Dank DSS können auch Frequenzbänder für den 5G-Betrieb genutzt werden, die ursprünglich für andere Mobilfunkstandards vorgesehen waren. Somit vergrößert DSS das insgesamt für 5G zur Verfügung stehende Spektrum. Da Single-RAN-Mobilfunkstationen per Software-Update auf den Betrieb im DSS-Modus umgestellt werden können, sind hier keine zusätzlichen Investitionen in aktive 5G-Antennen erforderlich. Jedoch reduziert DSS die Kapazität des effektiv nutzbaren Spektrums, da für die Koordination des gemeinsamen Betriebs von zwei Mobilfunkstandards entsprechende Kontrollkanäle bereitgestellt werden müssen (Golem 2020).

Der Markt für Netzwerktechnik wird im Mobilfunkbereich von wenigen Technologie-Unternehmen aus China und Skandinavien dominiert (Abbildung 32). Mit einem Marktanteil von 31 Prozent ist Huawei globaler Marktführer, dicht gefolgt von Ericsson (27 Prozent). Nokia erreicht einen Marktanteil von 22 Prozent. Mit ZTE (11 Prozent) ist neben Huawei ein weiterer wichtiger Netzwerkausrüster in China beheimatet. Der südkoreanische Konzern Samsung, der zusammen mit Huawei den Smartphone-Markt dominiert und zahlreiche Patente mit 5G-Bezug hält, bietet ebenfalls Netzwerktechnik für den Mobilfunkbereich an, kommt jedoch nur auf einen Marktanteil von fünf Prozent. US-amerikanische Unternehmen wie Cisco und Hewlett Packard Enterprise spielen global gesehen nur eine marginale Rolle.

Abbildung 32

Weltweite Marktanteile der Anbieter von Netzwerktechnik im Mobilfunkbereich im Jahr 2018



Die Marktanteile beziehen sich auf Umsätze mit 2G-/3G-/LTE-Netzwerktechnik.

Eigene Darstellung IW Consult; Ursprungsdaten: IHS Markit (2019)

Die Unternehmen, die den Markt für 2G-, 3G- und LTE-Netzwerktechnik beherrschen, werden voraussichtlich auch beim weltweiten Aufbau der 5G-Netze eine zentrale Rolle spielen. Ob Huawei seine derzeitige Dominanz erhalten kann, ist derzeit eher fraglich. Vor allem westliche Länder befürchten, dass die Huawei-Technik der chinesischen Regierung unerlaubten Zugriff auf fremde Kommunikationsnetze, Daten und Technologien ermöglichen könnte. Auf Druck der USA hat sich zuletzt Großbritannien dafür entschieden, spätestens ab 2027 auf 5G-Ausrüstung von Huawei zu verzichten, obwohl dies nach Einschätzung der britischen Mobilfunkanbieter hohe Mehrkosten beim 5G-Netzausbau verursacht (Handelsblatt 2020). In Deutschland wird ein möglicher Ausschluss von Huawei ebenfalls seit längerem diskutiert, eine endgültige Entscheidung ist jedoch noch nicht gefallen.

5.1.2 5G-fähige Chipsätze und Endgeräte

Die 5G-Technologie wird in drei Phasen diffundieren, die sich zeitweise überlagern:

- In der ersten Phase werden vor allem Anwendungen wie Ultra-HD-Videostreaming im Vordergrund stehen, die auf die im Vergleich zu LTE deutlich höheren Datenraten von 5G angewiesen sind.
- Die zweite Phase wird sich auf die Kommunikation mit geringer Latenz konzentrieren, die es hier auf die Geschwindigkeit und Qualität des Mobilfunks in kritischen Bereichen wie der Steuerung von Robotern und Drohnen ankommt.
- Die dritte Phase wird von der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation geprägt. 5G stellt die Netzqualitäten zur Verfügung, die Maschinen benötigen, um weitgehend autonom Daten zu generieren, weiterzuverarbeiten und mit anderen Maschinen zu teilen.

Beginn, Intensität und Dauer der einzelnen Phasen hängen maßgeblich von der derzeitigen und künftigen Verfügbarkeit 5G-fähiger Chipsätze und Endgeräte ab, auf die im Folgenden eingegangen wird. Dabei wird zwischen 5G-fähigen Smartphones und 5G-Modulen für das Internet of Things unterschieden.

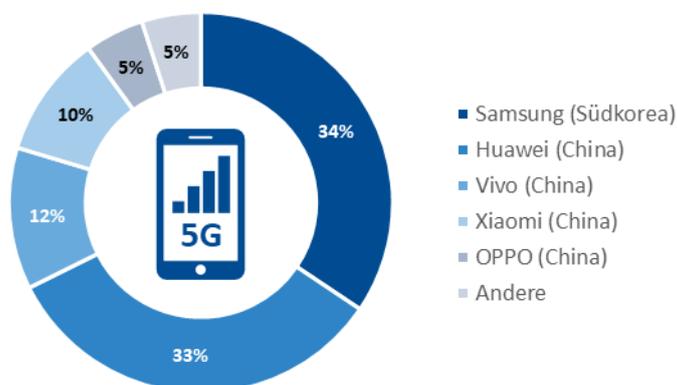
Smartphones

Die Verfügbarkeit 5G-fähiger Smartphones wird laut der GSM Association (GSMA), einer globalen Vereinigung von Mobilfunkanbietern, entscheidend für die Akzeptanz von 5G sein. Die ersten 5G-Telefone kamen bereits Anfang 2019 auf den Markt, ihre Verfügbarkeit beschränkte sich jedoch anfänglich auf Märkte wie Südkorea und die Schweiz, in denen kommerzielle 5G-Angebote bereits Anfang 2019 starteten. Im Juni beziehungsweise Juli 2019 waren die ersten 5G-Modelle auch im deutschen Handel erhältlich. Seitdem hat sich das Angebot deutlich vergrößert. War 5G anfänglich nur den „Flaggschiffen“ vorbehalten, sind inzwischen auch im Preissegment unter 500 Euro 5G-fähige Geräte zu finden (vgl. Kapitel 5.2.1). Apple hat nach wie vor kein iPhone mit 5G-Funktionalität herausgebracht. Der weltweit variierende Marktanteil von Apple im Vergleich zu Nutzern des Android-Betriebssystems (u. a. Samsung und Huawei) beeinflusst damit zumindest kurzfristig die Verbreitungsgeschwindigkeit von 5G in einzelnen Ländern. Mit einem Marktstart des ersten 5G-iPhones wird aber noch in diesem Jahr gerechnet.

Da immer mehr Länder über kommerzielle 5G-Netze verfügen, steigt auch der Absatz von 5G-Smartphones weltweit. Wurden im gesamten Jahr 2019 insgesamt 18,7 Millionen Geräte verkauft, lag der Absatz im ersten Quartal 2020 bereits bei 24,1 Millionen Einheiten, was rund neun Prozent des gesamten Smartphone-Absatzes entspricht (Strategy Analytics 2020a, 2020b). Huawei (China) und Samsung (Südkorea) sind mit Abstand die absatzstärksten Hersteller (Abbildung 33/Abbildung 33). Analysten gehen davon aus, dass der Markt für 5G-fähige Smartphones weiter stark wachsen wird. Für 2023 wird erwartet, dass erstmals mehr als die Hälfte der verkauften Smartphones 5G-fähig sein wird.

Abbildung 33

Globaler Absatz von 5G-Smartphones in Q1/2020 nach Herstellern



Eigene Darstellung IW Consult; Ursprungsdaten: Strategy Analytics (2020a)

IoT-Module

Die Vernetzung physischer und virtueller Gegenstände im Internet of Things (IoT) ist ein Schwerpunkt der 5G-Technologie. Erste 5G-Module für industrielle IoT-Anwendungen sind bereits marktreif und kommerziell verfügbar, werden im Vergleich zu LTE-Modulen aber derzeit noch nicht stark nachgefragt. Eine aktuelle Studie von McKinsey (2020) nennt hierfür mehrere Gründe:

- Die Preise für 5G-Module sind derzeit zwei bis drei Mal höher als für LTE-Module.
- Es gibt bislang nur wenige Anwendungen, die zwingend 5G erfordern.
- Es fehlt ein flächendeckendes 5G-Netz, das auch ländliche Gebiete abdeckt.

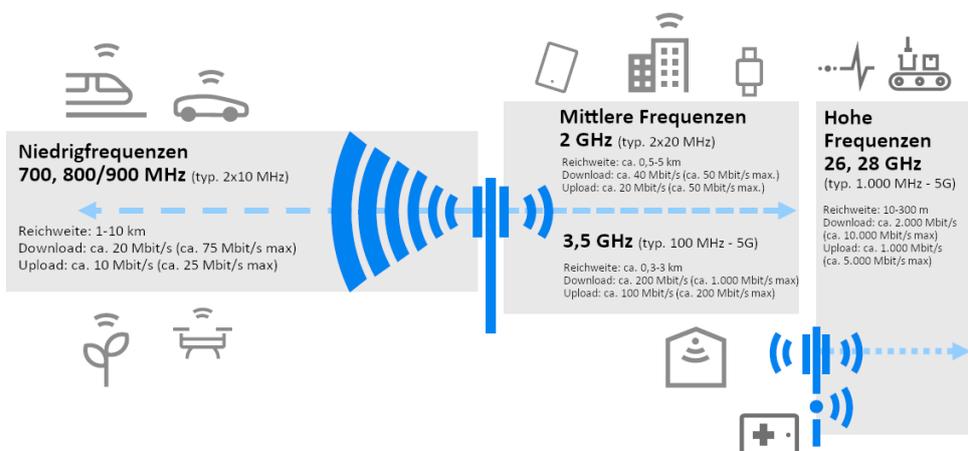
Die Autoren der Studie gehen davon aus, dass 5G im IoT-Bereich ab 2023 deutlich an Bedeutung gewinnen und sich dort bis 2030 als neuer Standard etablieren wird. Dies schlägt sich in der erwarteten Preisentwicklung für 5G-fähige IoT-Module und in der Absatz- und Umsatzprognose nieder. So rechnet McKinsey damit, dass die Preise für 5G-Module bis 2025 jedes Jahr um durchschnittlich zehn Prozent sinken. Der globale Absatz von 5G-Modulen wird von drei Millionen Einheiten im Jahr 2022 auf 248 Millionen Einheiten im Jahr 2030 anwachsen. Der Umsatz steigt im gleichen Zeitraum von 180 Millionen US-Dollar auf knapp 9,6 Milliarden US-Dollar. Diese Entwicklungen allein sind allerdings kein hinreichender Indikator für die Verbreitung reiner 5G-Anwendungen, da ein Großteil der verkauften 5G-Module ältere LTE-Module ersetzen wird. McKinsey geht davon aus, dass im Jahr 2030 lediglich 20 Prozent der verkauften IoT-Module auch tatsächlich für 5G-Anwendungen genutzt werden. Diese werden hauptsächlich im Bereich Industrie 4.0 eingesetzt.

5.1.3 Frequenzen

Die Verbreitung von 5G hängt auch maßgeblich davon ab, ob den Mobilfunkanbietern in ausreichendem Maße Frequenzen zur Verfügung stehen. Die Frequenz der Funkwellen bestimmt die Übertragungskapazität und die Reichweite des Funksignals. Grundsätzlich gilt für 5G ebenso wie für andere Funktechniken: Je niedriger die Frequenz der ausgestrahlten Funkwellen, desto größer ist der Senderadius und desto weniger anfällig ist die Verbindung für äußere Störeinflüsse. Höhere Frequenzen schränken zwar die Reichweite des Funksignals ein, bieten jedoch höhere Kanalbandbreiten und erlauben somit höhere Datenübertragungsraten. Die Latenzzeit des Mobilfunksignals ist hingegen weitgehend unabhängig von der Frequenz. Sie hängt vielmehr von der genutzten Technik und der Nähe zum verarbeitenden Rechenzentrum ab.

Im Mobilfunk werden Niedrigfrequenzen (unter 1 GHz), Mittelfrequenzen (1 bis 6 GHz) und Hochfrequenzen (über 6 GHz) unterschieden. Niedrigfrequenzen eignen sich insbesondere für Anwendungen, die eine flächendeckende Abdeckung, aber nicht zwingend hohe Bandbreiten erfordern. Wichtige Beispiele hierfür sind selbstfahrende Autos und die intelligente Verkehrssteuerung im Allgemeinen. Darüber hinaus bieten sich Niedrigfrequenzen für die Nutzung in ländlichen Gebieten an, da dort größere räumliche Distanzen überbrückt werden müssen. Urbane Gebiete stellen hingegen höhere Anforderungen an die Kapazität, weshalb dort tendenziell auch eher Mittel- und Hochfrequenzen genutzt werden. Hohe Frequenzen eignen sich für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Bandbreiten und Latenzen, haben dafür aber begrenzte Ausbreitungseigenschaften. Sie werden typischerweise für IoT-Anwendungen, etwa im Rahmen von Industrie 4.0, eingesetzt.

Abbildung 34
 Typische Signalreichweiten und Datenraten verschiedener Frequenzen



Quelle: Bitkom (2019)

5.2 Verbreitung von 5G im Ländervergleich

Analog zur letztjährigen Studie (vbw 2019) wird im Folgenden ein Ländervergleich durchgeführt, um den derzeitigen Stand Deutschlands im globalen 5G-Rennen einordnen zu können. Als Referenz für die Beurteilung Deutschlands wird der 5G-Ausbau in vier wichtigen Wettbewerberländern Bayerns (China, Japan, Südkorea und USA) beleuchtet. In der letztjährigen Studie zeigte sich, dass die Wettbewerberländer gegenüber Deutschland beim Aufbau kommerzieller 5G-Netze einen sichtbaren Vorsprung erzielt hatten. Zwar konnte Deutschland seit 2019 deutliche Fortschritte beim 5G-Netzausbau verzeichnen, allerdings trifft dies auf die Wettbewerberländer in noch stärkerem Maße zu.

Im Rahmen des nachfolgenden Vergleichs werden die individuellen Voraussetzungen der Länder im Hinblick auf die zu Beginn des Kapitels definierten Schlüsselfaktoren (Netzinfrastruktur, 5G-Chipsätze und -Endgeräte sowie Frequenzen) untersucht. Auch die länderspezifische Motivation für den zügigen Aufbau eines 5G-Netzes wird beleuchtet. Dabei ist zwischen zwei Ländergruppen zu unterscheiden. Ein Teil der Länder benötigt 5G, da sie die entsprechende Technik bereitstellen (Netzinfrastruktur sowie 5G-fähige Chipsätze und Endgeräte). Das nationale Interesse an 5G geht somit von der Angebotsseite aus. In einem anderen Teil der Länder wird das Interesse an 5G hingegen von der Nachfrageseite getrieben – insbesondere von einer starken Industrie, die 5G für Internet-of-Things-Anwendungen benötigt.

5.2.1 Deutschland

Tabelle 5
 Mobilfunk-Dashboard für Deutschland

Märkte		Netze		Frequenzen	
Mobile Breitbandverträge je 100 Einwohner (2019)	87 (5.)	Anteil der Bevölkerung, der mit LTE (4G) versorgt wird (2019)	97,7% (5.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Umsatz im Mobilfunkbereich als Anteil am BIP (2018)	0,0057% (5.)	Investitionen in Telekommunikation – in US-Dollar je Einwohner (2018)	129 (2.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	✓
5G-Anteil an allen Mobilfunkverbindungen (Prognose 2025)	55% (5.)	Investitionen in Telekommunikation – als Anteil am BIP (2018)	0,0027% (4.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	⌚

Ursprungsdaten: Ericsson (2020), ITU (2020) und eigene Recherche IW Consult

Der Mobilfunkmarkt ist in Deutschland weniger weit entwickelt als in anderen Ländern mit vergleichbarer Wirtschaftskraft. Mit 87 mobilen Datenverträgen je 100 Einwohner erreicht Deutschland eine relativ geringe kommerzielle Durchdringung. Auch der Anteil des Umsatzes im Mobilfunkbereich fällt gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) vergleichsweise gering aus. Dies lässt zunächst auf ein geringes marktseitiges Interesse an 5G schließen. Jedoch kann aufgrund der industriell geprägten Wirtschaftsstruktur Deutschlands davon ausgegangen werden, dass die Nachfrage nach 5G nicht primär von den Endkunden, sondern von der Industrie getrieben wird, die sich vor allem Effizienzgewinne durch IoT-Anwendungen erhofft. Mit dem kommerziellen Durchbruch industrieller IoT-Anwendungen wird jedoch erst in einer späteren Phase des 5G-Technologiezyklus gerechnet (vgl. Kapitel 5.1.2).

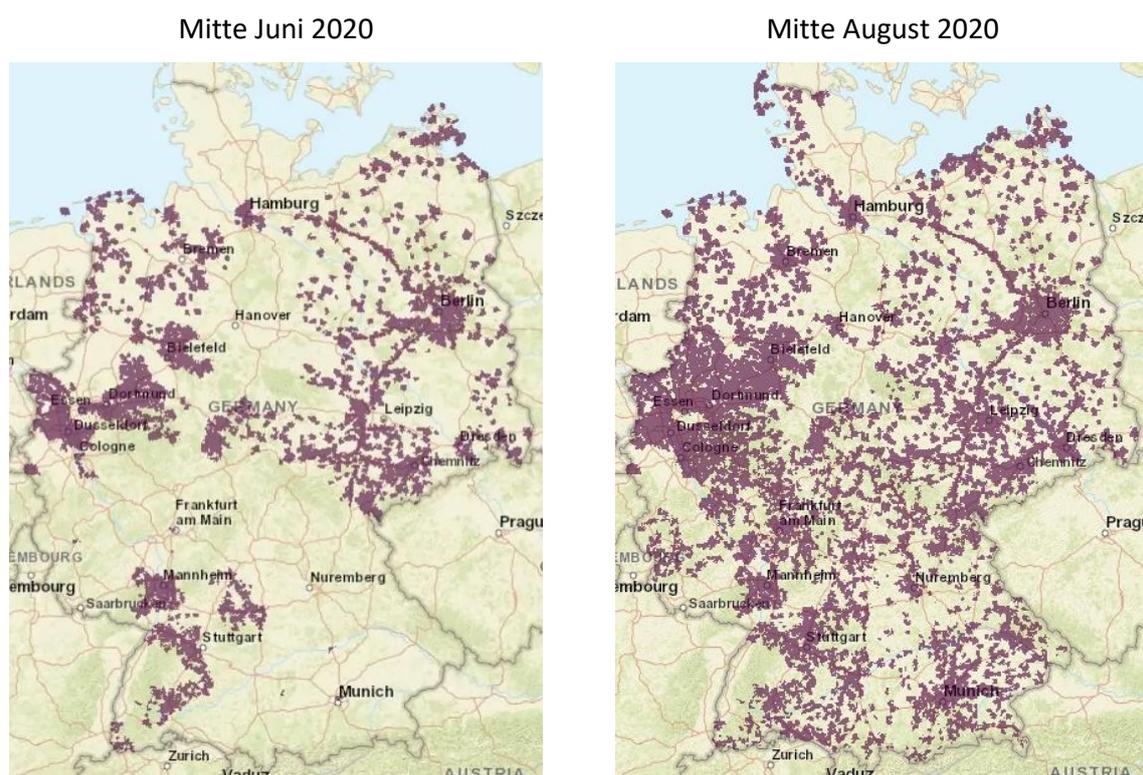
Ein wesentlicher Faktor für die Verbreitung von 5G ist die Anzahl der Mobilfunkstationen (vgl. Kapitel 5.1.1). Ein aussagekräftiger Indikator ist in diesem Zusammenhang die Dichte des LTE-Netzes. Mit 97,7 Prozent im Jahr 2019 erreicht die LTE-Abdeckung in Deutschland zwar keinen internationalen Spitzenwert, viele Funkstationen werden aber derzeit von den Netzbetreibern für den 5G-Betrieb aufgerüstet. So vermeldete die Deutsche Telekom im Juni 2020 die Aufrüstung von rund 12.000 Antennen, die über 1.000 Städte und Gemeinden mit 5G versorgen (Heise 2020). Bis Mitte Juli kamen nach Angaben des Unternehmens weitere 15.000 Antennen hinzu. Damit versorgt die Deutsche Telekom potenziell rund die Hälfte der Bevölkerung in Deutschland mit 5G (vgl. Deutsche Telekom 2020a). Bis Ende des Jahres sollen im Netz der Telekom insgesamt 40.000 Antennen eine großflächige 5G-Versorgung sicherstellen. Die Deutsche Telekom übertrifft damit ihren ursprünglichen Plan, in Deutschland bis Ende 2020 1.500 5G-Antennen in Betrieb zu nehmen, deutlich (Deutsche Telekom 2019). Der zügige Ausbau wird vor allem durch die vorgezogene Einführung einer neuen Technik ermöglicht, die den parallelen Betrieb von LTE und 5G im gleichen Frequenzband ermöglicht (Dynamic Spectrum Sharing, vgl. Kapitel 5.1.1). Bis zum Jahr 2025 will die Telekom nach aktuellem Stand eine 5G-Abdeckung für 99 Prozent der Bevölkerung und 90 Prozent der Fläche erreichen (Deutsche Telekom 2020b).

Die anderen Mobilfunkanbieter erzielen beim Netzausbau ebenfalls Fortschritte. Vodafone verfügte Ende Juli 2020 deutschlandweit über rund 1.000 5G-Antennen an mehr als 350 Standorten (Vodafone 2020). Bis Ende des Jahres sollen insgesamt 8.000 Antennen in Betrieb genommen werden, die rund 10 Millionen Menschen mit 5G versorgen. In Bayern soll bis Ende des Jahres an 530 der rund 4.000 Mobilfunkstandorte der 5G-Betrieb gestartet werden. Telefónica (O₂) betrieb Mitte Juni 2020 noch kein kommerzielles 5G-Netz. Zahlreiche Funkstationen wurden nach Angaben des Unternehmens jedoch bereits für den 5G-Betrieb vorbereitet und können kurzfristig den Betrieb aufnehmen. Bis zum Jahresende soll 5G für Kunden der Telefónica-Marke O₂ in Berlin, Hamburg, München, Köln und Frankfurt verfügbar sein. Bis Ende 2022 plant O₂ die Versorgung 30 weiterer Städte und dann von insgesamt 16 Millionen Einwohnern mit 5G. Auch der Neueinsteiger 1&1 Drillisch befindet sich in den Vorbereitungen für ein eigenes 5G-Netz. Anders als die drei Wettbewerber verfügt die United-Internet-Tochter bisher über kein eigenes Mobilfunknetz und ist deshalb auf einen nationalen Roaming-Partner angewiesen, der den Kunden überall dort sein Netz zur Verfügung stellt, wo 1&1 Drillisch keine eigenen 5G-Antennen betreibt. Die Verhandlungen zwischen 1&1 Drillisch und den drei etablierten Netzbetreibern laufen seit etwa ein Jahr, bisher konnte aber keine Einigung erzielt werden.

Abbildung 35 zeigt exemplarisch die 5G-Abdeckung im Netz der Deutschen Telekom im Juni (linke Karte) beziehungsweise August 2020 (rechte Karte). In den Ballungsräumen und entlang wichtiger Verkehrswege – beispielsweise entlang der A24 zwischen Berlin und Hamburg – wird bereits eine hohe Abdeckung erreicht. Von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von 5G kann jedoch noch keine Rede sein. In den USA wird optisch eine höhere Netzabdeckung erreicht (vgl. Kapitel 5.2.5). Aus der Gegenüberstellung der beiden Karten in Abbildung 17 wird deutlich, dass die 5G-Abdeckung im Netz der Deutschen Telekom zwischen Juni und August 2020 deutlich zugenommen hat. Der sprunghafte Anstieg ist wie bereits erwähnt auf eine flächendeckende Einführung von Dynamic Spectrum Sharing zurückzuführen. Zu beachten ist, dass umgerüstete Funkstationen in der Regel nicht sofort den 5G-Betrieb aufnehmen. Stattdessen werden Veränderungen der Netzinfrastruktur „gesammelt“ und an festen Terminen per Software-Update zeitgleich umgesetzt.

Abbildung 365

5G-Abdeckung im Mobilfunknetz der Deutschen Telekom



In den dunkel eingefärbten Bereichen ist 5G verfügbar.

Quelle: Deutsche Telekom (2020c)

Die Mobilfunkanbieter haben angekündigt, die 5G-Verfügbarkeit in den nächsten Monaten deutlich auszubauen. Dies dürfte realistisch sein, da die bestehenden Funkstationen noch

nicht vollständig für den 5G-Betrieb umgerüstet wurden. Mittel- und langfristig dürfte sich der Netzausbau wieder verlangsamen, da dann die Verdichtung des Netzes durch den Bau zusätzlicher Funkstationen erforderlich wird. Hinzu kommt, dass mit der Umstellung auf 5G auch die Anforderungen an die Netzanbindung der Mobilfunkstationen selbst steigen. Bei LTE wurden Funkstationen mitunter auch per Richtfunkstrecke an das Internet angebunden. Um die vom 5G-Standard geforderten Bandbreiten zu realisieren, müssen viele Funkstationen perspektivisch nicht nur umgerüstet, sondern zusätzlich auch an das Glasfasernetz angeschlossen werden. Daraus resultieren neben Kostensteigerungen auch Verzögerungen im Netzausbau.

Gebremst wird der Ausbau des 5G-Netzes darüber hinaus durch die nach wie vor ungeklärte Frage, ob die deutschen Mobilfunkanbieter beim Netzausbau weiterhin Technik des umstrittenen chinesischen Technologiekonzerns Huawei verwenden dürfen. Diese kommt in den LTE-Netzen auf breiter Basis zum Einsatz. So stammen im LTE-Netz der Deutschen Telekom schätzungsweise 65 Prozent der technischen Komponenten von Huawei (Handelsblatt 2020). Auch in den Netzen von Vodafone (55 Prozent) und Telefónica (50 Prozent) spielt Huawei-Technik eine wichtige Rolle. Ein von der Bundesnetzagentur am 11. August 2020 veröffentlichter Katalog definiert Kriterien und Regeln, die die Mobilfunkunternehmen unter anderem beim Einkauf von Komponenten für ihre Netze beachten sollen. Spezielle Vorgaben für die Verwendung von Huawei-Technik finden sich darin nicht.

Das Bundeskanzleramt, das Bundeswirtschaftsministerium und das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur vertreten den Standpunkt, dass Huawei nicht per se vom 5G-Ausbau ausgeschlossen werden soll. Vielmehr sollen die Produkte aller Hersteller nach vergleichbaren Kriterien geprüft und bewertet werden. Nichtsdestoweniger haben die deutschen Netzbetreiber angekündigt, Technik von Huawei nicht im 5G-Kernnetz einsetzen zu wollen. Telefónica setzt hier auf den skandinavischen Anbieter Ericsson, bei der Deutschen Telekom und Vodafone steht eine Entscheidung noch aus (Telefónica 2020). Ein freiwilliger Verzicht auf Huawei-Technik in den Zugangsnetzen erscheint jedoch wenig realistisch. Die bereits in den Netzen verbaute Technik stammt vielfach von Huawei und ist teilweise bereits 5G-fähig. Bei einem Verzicht auf Huawei-Produkte müsste an vielen Standorten die Technik vollständig ausgetauscht werden, im Extremfall müssten ganze Stationen neu errichtet werden. Die Netzbetreiber rechnen in diesem Fall mit signifikanten Kosten. In Großbritannien kalkuliert allein die British Telecom (BT) mit Mehrkosten von rund 550 Millionen Euro (Handelsblatt 2020).

Ein weiterer wesentlicher Faktor, der die Verbreitung von 5G begünstigt, ist die Verfügbarkeit entsprechender Endgeräte. 5G-fähige Smartphones sind inzwischen von allen wichtigen Herstellern mit Ausnahme von Apple verfügbar (Tabelle 6Tabelle). Deshalb dürfte die Markteinführung 5G-fähiger iPhones die Verbreitung von 5G temporär beschleunigen. Der landesspezifische Effekt dürfte mit dem Marktanteil von Apple steigen. Mit einem Apple-Marktanteil von rund 28 Prozent (StatCounter 2020)⁴ liegt Deutschland im Mittelfeld des Ländervergleichs. Europäische Kunden reagieren allerdings erfahrungsgemäß eher

⁴ StatCounter analysiert die Zugriffsdaten von Websites. Anhand von Meta-Daten, die die Websites von den zugreifenden Endgeräten abrufen, kann StatCounter das Herkunftsland des Website-Besuchers sowie den Hersteller des verwendeten Endgerätes ermitteln. Es handelt sich somit um eine Schätzung des Marktanteils.

abwartend auf die Einführung neuer Mobilfunkstandards. So gaben bei einer Befragung von GSMA Intelligence (2020) lediglich 16 Prozent der befragten deutschen Mobilfunkkunden an, so schnell wie möglich auf 5G umsteigen zu wollen. Bei chinesischen Kunden lag der Anteil der „Early Adopter“ hingegen bei 46 Prozent.

Tabelle 6

Anzahl der in Deutschland verfügbaren 5G-fähigen Smartphone-Modelle nach Herstellern (Top 5) und Preissegmenten

Hersteller	Globaler Marktanteil ¹ (Rang)	Marktanteil Deutschland ² (Rang)	Marktpreis in Deutschland ³		
			weniger als 500 Euro	500 – 750 Euro	mehr als 750 Euro
Samsung	31,1% (1.)	41,7% (1.)	2	3	4
Huawei	10,2% (3.)	16,3% (3.)	2	3	2
Xiaomi	8,1% (4.)	2,7% (4.)	2	1	1
Oppo	4,4% (5.)	0,3% (16.)	1	1	1
Sony	0,8% (13.)	1,6% (5.)	-	-	1
<i>Vergleich</i>					
Apple	24,6% (2.)	28,3% (2.)	0	0	0
Summe	78,3%	90,5%			

1,2 Marktanteile beziehen sich auf alle Mobilfunkstandards

1, 2 Quelle: StatCounter (2020); 3 Eigene Recherche IW Consult (Stand: August 2020)

Wie zu Beginn des Ländervergleichs beschrieben, kann die 5G-Technologie sowohl für die Angebots- als auch für die Nachfrageseite einer Volkswirtschaft von Interesse sein. In Industrieländern wie Deutschland dominiert das Interesse der Nachfrageseite. Dementsprechend sind spezielle Frequenzen für den Betrieb sogenannter Campus-Netze in Unternehmen von hoher Bedeutung (Kapitel 5.1.3). Ein wesentlicher Vorteil von 5G gegenüber alternativen Technologien wie WLAN besteht in diesem Kontext in der durchgängigen Funkabdeckung, die einen Funkzellenwechsel ohne Unterbrechungen erlaubt. Zudem bieten 5G-Campus-Netze eine hohe Zuverlässigkeit und kurze Reaktionszeiten (geringe Latenz). Dank drahtloser Anbindung können die Netze jederzeit flexibel an veränderte Produktionsbedingungen oder Herstellungs- beziehungsweise Logistikprozesse angepasst werden.

In Deutschland steht Unternehmen seit November 2019 der Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz für den Betrieb lokaler Campusnetze zur Verfügung. Die Frequenzen können bei der Bundesnetzagentur beantragt werden. Damit nimmt Deutschland im internationalen Vergleich eine Vorreiterrolle ein. Für Frequenzzuteilungen werden Gebühren erhoben, deren Höhe von der beantragten Bandbreite und der Größe des abgedeckten Gebietes abhängt. Die moderate Gebührenstruktur⁵ ermöglicht es, auch Geschäftsmodelle von Start-ups sowie kleinen und mittleren Unternehmen zu realisieren. Campus-Frequenzen werden jedoch nach Einschätzung von Branchenexperten bisher kaum in Anspruch genommen, da sich die Entwicklung industrieller Anwendungen, die zwingend 5G erfordern, noch in der Anfangsphase befindet. Allerdings wird von Marktwachstum ausgegangen.

5.2.2 China

Tabelle 7
 Mobilfunk-Dashboard für China

Märkte		Netze		Frequenzen	
Mobile Breitbandverträge je 100 Einwohner (2019)	100 (4.)	Anteil der Bevölkerung, der mit LTE (4G) versorgt wird (2019)	99,9% (1.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Umsatz im Mobilfunkbereich als Anteil am BIP (2018)	0,01% (4.)	Investitionen in Telekommunikation pro Person (2018) – in US-Dollar	35 (5.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	✓
5G-Anteil an allen Mobilfunkverbindungen (Prognose 2025)	60% (2.)	Investitionen in mobile Kommunikation (2018) – als Anteil am BIP	0,0036% (2.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	⌚

Ursprungsdaten: Ericsson (2020), ITU (2020) und eigene Recherche IW Consult

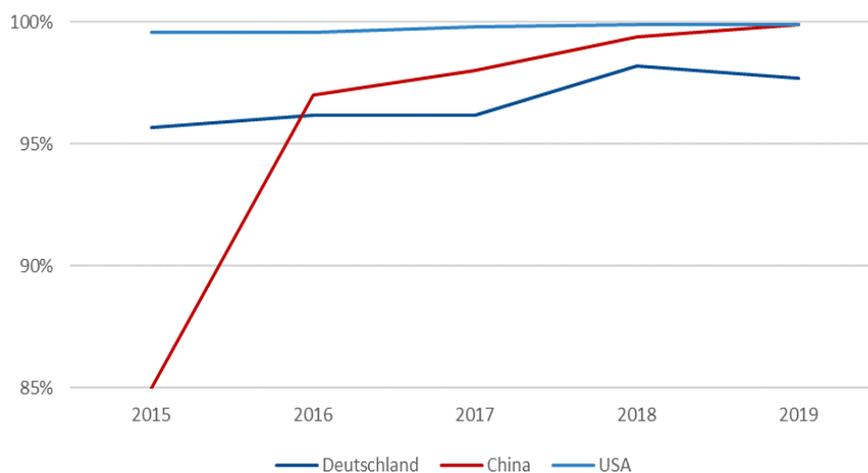
Der chinesische Mobilfunkmarkt ist nicht zuletzt wegen der dort hohen Einwohner- und Endnutzerzahl⁶ äußerst attraktiv. Die Bevölkerung ist im Vergleich mit Industriestaaten in hohem Maße Smartphone-affin. Diverse chinesische Anbieter wie Huawei, ZTE oder Xiaomi bieten Endgeräte zur Benutzung oder stellen Infrastruktur zur Verbreitung von 5G her. Damit hat China bezüglich 5G sowohl eine große Nachfrager- als auch eine starke Anbieterseite.

⁵ Eine 10-jährige Frequenzzuteilung für 30 MHz auf einer Fläche von 25 Hektar (500 x 500 Meter) würde 3.250 Euro kosten (Siedlungsgebiet), was einer jährlichen Lizenzgebühr von 325 Euro entspricht (BMW 2020).

⁶ Insgesamt gab es 2018 rund 1,178 mobile Datenverträge in China (inklusive Mehrfachverträge) (ITU, 2018).

Bezüglich des 5G-Ausbaus wies das Land bereits gute Grundvoraussetzungen auf. Wie im Vorjahresbericht beleuchtet, erreichte China 2017 trotz der enormen Fläche eine 98-prozentige Abdeckung der Bevölkerung mit 4G (ITU 2020). Auch die langfristige Netzausbaustategie des Landes unterstützt den Ausbau von 5G. Da das Festnetz in der Fläche schwach ist und der Rückstand als kaum aufholbar gilt, setzt das Land in erster Linie auf den Mobilfunk.⁷ Bezeichnend ist insbesondere die hohe Geschwindigkeit des Ausbaus, startend von einer schlechten Mobilfunk-Infrastruktur: 2013 wurden nur zehn Prozent der Bevölkerung Chinas mit LTE erreicht, zu dem Zeitpunkt waren es in Japan oder USA bereits 99 Prozent beziehungsweise 97 Prozent. Abbildung 36 stellt die Entwicklung in China und den USA seit 2013 im Vergleich zu Deutschland dar.

Abbildung 36
 Abdeckung mit LTE (4G) in Prozent der Bevölkerung



Eigene Darstellung IW Consult; Ursprungsdaten: ITU (2020)

Im letzten Jahr konnte China seine gute Position im internationalen 5G-Rennen ausbauen. Ericsson senkte die Prognose für 5G-Mobilfunkverträge Ende 2020 in diversen Regionen wie Nordamerika und Europa⁸ (insbesondere wegen negativer konjunktureller Auswirkungen der Corona-Pandemie), die Prognose für die Anzahl der Verträge in China hingegen wurde angehoben – so stark, dass die weltweite Prognose ebenfalls angehoben wurde. Grund dafür ist der anhaltende Fokus des Landes auf den Ausbau von 5G-Stationen, mit nur kleineren Verzögerungen durch die Corona-Pandemie (Rohde 2020). Es wird zudem erwartet, dass langfristig die Pandemie einen verstärkenden Effekt auf die Nachfrage nach

⁷ Die Mobilfunkabonnements liegen deutlich über den Festnetzabonnements: 1,431 Milliarden gegenüber 450 Millionen

⁸ Eine Ausnahme in Europa stellt die Schweiz dar: Anfang 2020 vermeldete der Anbieter Swisscom, eine 90-prozentige Abdeckung der Schweizer Bevölkerung mit 5G erreicht zu haben (Neue Zürcher Zeitung 2020). Dies wird ohne Zweifel von der hohen Bevölkerungsdichte sowie der geringen Fläche der Schweiz begünstigt. Allerdings ist in Deutschland der Urbanisierungsgrad ähnlich hoch wie in der Schweiz The World Bank.

5G in dem Land haben wird. Denn aufgrund der teilweise sehr starken Lockdown-Beschränkungen und des Smartphones als primärem digitalem Endgerät beschleunigte die Pandemie die Digitalisierung in China insbesondere im Hinblick auf mobile Applikationen. Erwartet wird, dass 2020 in China 170 Millionen 5G-taugliche Endgeräte verkauft werden. Zudem investiert China 2020 17,3 Milliarden US-Dollar in den Ausbau von 5G (China Daily 2020). 156.000 5G-Stationen wurden bereits gebaut (Stand: März 2020), weitere 550.000 sollen bis Ende 2020 folgen. Bis März 2020 wurden in China rund doppelt so viele 5G-Stationen gebaut, wie es in Deutschland insgesamt Mobilfunkstationen aller Standards gibt (siehe Kapitel 5.1.1).

5.2.3 Japan

Tabelle 8

Mobilfunk-Dashboard für Japan

 Märkte		 Netze		 Frequenzen	
Mobile Breitbandverträge je 100 Einwohner (2019)	193 (1.)	Anteil der Bevölkerung, der mit LTE (4G) versorgt wird (2017)	99,0% (3.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	
Umsatz im Mobilfunkbereich als Anteil am BIP (2018)	0,0134% (1.)	Investitionen in Telekommunikation pro Person (2017) – in US-Dollar	90 (4.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	
5G-Anteil an allen Mobilfunkverbindungen (Prognose 2025)	60% (2.)	Investitionen in mobile Kommunikation (2018) – als Anteil am BIP	0,0023% (5.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	

Ursprungsdaten: Ericsson (2020), ITU (2020) und eigene Recherche IW Consult

In Japan gibt es im globalen Vergleich die drittmeisten Datenverträge pro Einwohner⁹, zudem eine sehr starke produzierende Industrie. Folglich ist mit einer hohen Nachfrage nach 5G für mobiles Internet sowie für industrielle IoT-Anwendungen zu rechnen. Nach einer Weltmarktführer-Position im Mobilfunkstandard 3G verpasste Japan allerdings den Anschluss bei 4G, insbesondere zu den USA, und die einstige Dominanz im Mobilfunkmarkt musste aufgegeben werden. Um diese wiederzuerlangen, wird 5G in Japan als Chance gesehen. Aktuell verfügt das Land aber eher über Firmen, die 5G nachfragen als über Anbieter, die Geräte und Infrastruktur zur Nutzung und Verbreitung von 5G produzieren. Aus diesem Grund ist Japan bei 5G aktuell eher der Nachfrageseite zuzuordnen.

⁹ Nur Macau und die Vereinigten Arabischen Emirate konnten 2018 mehr Verträge pro Einwohner vorweisen.

Die Frequenzvergabe für 5G erfolgte vergleichsweise spät im April letzten Jahres. Die Breite der vergebenen Frequenzen war im internationalen Vergleich groß, insbesondere im hohen Frequenzbereich, der vor allem für industrielle Anwendungen relevant ist. Ein seit vielen Jahren kontinuierlicher Ausbau von 4G bildete eine gute Ausgangsposition für die Erschließung von 5G.

Alle großen Mobilfunk-Anbieter Japans boten im Laufe dieses Frühjahrs und Sommers erste Produkte und Pakete mit 5G-Smartphones und 5G-Verträgen an, die zum Teil auch schon auf das Netz mit hohen Frequenzen (>26 GHz) zurückgreifen. Nach Marktberichten hatte die Krise jedoch einen negativen Einfluss auf die Nachfrage nach ersten kommerziellen Produkten und auf die Anzahl von „Early-Adoptern“ (Suzuki 2020).

Wie im Vorjahresbericht beschrieben, waren die Olympischen Spiele 2020 in Tokyo als Roll-Out Event für Japan vorgesehen, mit vielen Leuchtturm-Projekten wie beispielsweise 5G-unterstützte autonome Busse. Durch die Krise mussten die Spiele jedoch auf 2021 verschoben werden. Hierdurch fiel die Möglichkeit weg, japanische 5G-Technologie medienwirksam einem großen internationalen Publikum vorzustellen.

5.2.4 Südkorea

Tabelle 9
 Mobilfunk-Dashboard für Südkorea

 Märkte		 Netze		 Frequenzen	
Mobile Breitbandverträge je 100 Einwohner (2019)	115 (3.)	Anteil der Bevölkerung, der mit LTE (4G) versorgt wird (2019)	99,9% (1.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz)	✓
Umsatz im Mobilfunkbereich als Anteil am BIP (2018)	0,0130% (3.)	Investitionen in Telekommunikation pro Person (2018) – in US-Dollar	99 (3.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz)	✓
5G-Anteil an allen Mobilfunkverbindungen (Prognose 2025)	60% (2.)	Investitionen in mobile Kommunikation (2018) – als Anteil am BIP	0,003% (3.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz)	⌚

Ursprungsdaten: Ericsson (2020), ITU (2020) und eigene Recherche IW Consult

Aufgrund des hohen Digitalisierungsgrades Südkoreas sowie der hohen Smartphone-Affinität der Bevölkerung bietet der südkoreanische Markt sehr gute Voraussetzungen für eine schnelle und weite Verbreitung von 5G. Die drei größten Unternehmen Südkoreas – Samsung, SK Hynix und Hyundai – sind zudem im Technologiesektor tätig. Insbesondere

für Samsung als größtem¹⁰ Smartphone-Hersteller der Welt hat 5G höchste Relevanz. Folglich ist Südkorea eher der Angebotsseite bezüglich 5G einzuordnen, wobei das angesichts der hohen 5G-Affinität der Bevölkerung dem relativ kleinen Heimatmarkt geschuldet ist.

Seit 2016 liegt die 4G-Abdeckung in Südkorea bei 99,9 Prozent. Damit hat das Land hervorragende Bedingungen für die flächendeckende Aufrüstung auf 5G. Die Frequenzvergabe für 5G erfolgte bereits früh (Sommer 2018) und mit einer großen Bandbreite. Zudem war die Vergabe aufgrund der Auktionsbedingungen für die Anbieter vergleichsweise günstig, weshalb sie mehr Geld in den Ausbau investieren können.

Aktuell befindet sich Südkorea bezüglich der relativen Verbreitung (Anteil 5G an allen Mobilfunkverträgen) an der internationalen Spitze, was durch die hohe Bevölkerungsdichte bei relativ geringer Fläche begünstigt wird (Tomas 2020). So wurden bereits 115.000 5G-Basisstationen installiert (Stand April 2020) und damit deutlich mehr als in Deutschland, obwohl Südkorea weniger als ein Drittel der Fläche Deutschlands ausstatten muss. Im April 2020 gab es bereits ca. 5,8 Millionen 5G-Abonnenten, was einem Anteil von rund 9,7 Prozent an allen Verträgen entspricht.

5.2.5 USA

Tabelle 10
 Mobilfunk-Dashboard für die USA

 Märkte	 Netze	 Frequenzen
Mobile Breitbandverträge je 100 Einwohner (2019) 145 (2.)	Anteil der Bevölkerung, der mit LTE (4G) versorgt wird (2019) 99,9% (1.)	Niedrige Frequenzen (unter 1 GHz) ✓
Umsatz im Mobilfunkbereich als Anteil am BIP (2018) 0,0132% (2.)	Investitionen in Telekommunikation pro Person (2017) – in US-Dollar 288 (1.)	Mittlere Frequenzen (1 – 6 GHz) ✓
5G-Anteil an allen Mobilfunkverbindungen (Prognose 2025) 74% (1.)	Investitionen in mobile Kommunikation (2018) – als Anteil am BIP 0,0049% (1.)	Hohe Frequenzen (über 6 GHz) ✓

Ursprungsdaten: Ericsson (2020), ITU (2020) und eigene Recherche IW Consult

¹⁰ Im Rahmen der Corona-Pandemie hat Huawei im Q1 2020 Samsung auf dem ersten Platz der Smartphone-Absätze verdrängt. Auch wenn Huawei stetig zum Marktführer Samsung aufholt, ist allgemeine Auffassung, dass dies insbesondere durch Verzerrungen auf den für Samsung wichtigeren Märkten Europa, Nordamerika und Indien begründet ist. Es wird erwartet, dass nach Beruhigung der internationalen Märkte Samsung wieder die Absatzzahlen anführt.

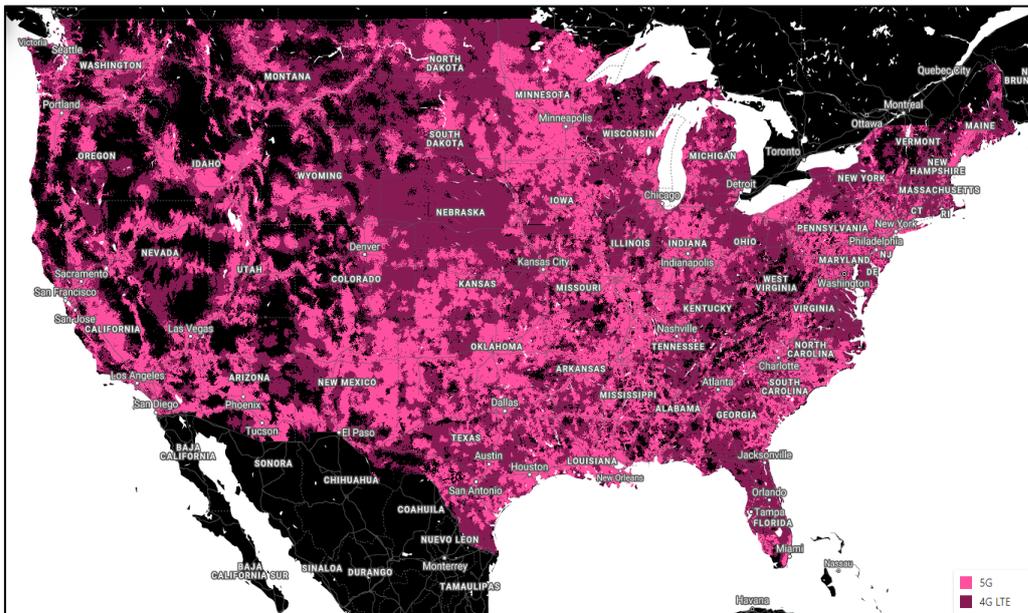
Als größte Volkswirtschaft der Welt mit weltmarktführenden Technologieunternehmen ist der US-Mobilfunkmarkt einer der global wichtigsten und attraktivsten. Bei 4G konnte sich das Land große Vorreiter-/Early-Adopter-Vorteile sichern – der Effekt auf das BIP wird auf rund 100 Milliarden US-Dollar geschätzt (ctia 2018).

Schon 2014 erreichten die USA bei 4G eine 98,5-prozentige Abdeckung – auch international ein Spitzenwert, der in Deutschland 2019 noch nicht erreicht wurde (97,7 Prozent). Zudem wurden früh Frequenzen im Niedrig-, Mittel- und Hochfrequenzbereich vergeben, bei für die Anbieter vergleichsweise günstigen Auktionsbedingungen, so dass diese mehr in den Netzausbau investieren konnten. Insgesamt verfügen die Vereinigten Staaten über exzellente Startbedingungen für den 5G-Ausbau. Durch die Vorteile bei 4G positionieren sie sich bei 5G auf der Angebotsseite.

Trotz der jüngst abgesenkten Prognose werden die USA beim Anteil von 5G an allen Mobilfunkverträgen im Jahre 2025 weiterhin auf Platz eins gesehen. Schon jetzt bieten sie, speziell in urbanen Zentren, ein umfassendes 5G-Netz (Abbildung 37). Zudem befinden sich beispielweise in New York City Hochfrequenz-Netze im Bau und im Betrieb (T-Mobile 2020b) – eine Technologie, für die in Deutschland aufgrund bislang fehlender Frequenzvergabe die Weichen noch nicht gestellt wurden. Diese mmWave-Technologie funkt auf 30 bis 300 GHz.

Abbildung 37

4G- und 5G-Abdeckung im Mobilfunknetz von T-Mobile USA



Hell eingefärbte Bereiche: Abdeckung mit 5G; dunkel eingefärbte Bereiche: Abdeckung mit LTE (4G)

Quelle: T-Mobile (2020a)

Vergleicht man die 5G-Abdeckung des Anbieters T-Mobile in Deutschland und in den USA (Abbildungen 35 in Kapitel 5.2.1 und Abbildung 37), so zeichnet sich ein eindeutiges Bild: Gemessen an der Abdeckung durch das T-Mobile-Netz sind die USA Deutschland im 5G Ausbau deutlich voraus – und dies, obwohl der Marktanteil von T-Mobile in Deutschland deutlich größer ist als in den USA. Um den Mobilfunkanbietern weitere Möglichkeiten für den 5G-Ausbau zu bieten, möchte die US-Regierung im Zuge einer Frequenzauktion Ende nächsten Jahres weitere Frequenzen anbieten (Der Standard 2020).

5.3 Fazit

Am 12. Juni 2019 ging nach 52 Tagen und rund 500 Bieterrunden die 5G-Frequenzauktion in Deutschland zu Ende. Mit der Deutschen Telekom, Drillisch (1&1 Drillisch), Telefónica (O₂) und Vodafone kamen bei der Frequenzvergabe vier Mobilfunkanbieter zum Zuge. Im Juli 2019 startete Vodafone als erster Anbieter den kommerziellen 5G-Betrieb, die Deutsche Telekom folgte im September. Telefónica und Drillisch betreiben noch keine kommerziell nutzbaren Mobilfunkstationen, streben aber einen baldigen Marktstart an. Vodafone und die Deutsche Telekom konnten insbesondere in den letzten Monaten deutliche Fortschritte beim Ausbau ihres kommerziellen 5G-Netzes erzielen – allen voran die Deutsche Telekom, die ihre ursprünglich formulierten Ausbauziele im 5G-Bereich sogar übertreffen konnte (vgl. Kapitel 5.2.1).

Die Entwicklung in Bezug auf 5G nimmt somit Fahrt auf. Allerdings verfügt Deutschland im internationalen Vergleich nach wie vor über schlechtere Voraussetzungen für die Verbreitung von 5G. So wurde in Deutschland 2019 ein geringerer Anteil der Bevölkerung mit LTE versorgt als in den wichtigen Wettbewerberländer. Dies ist ein Nachteil im globalen 5G-Rennen, da das LTE-Netz die technische Basis für den 5G-Ausbau bildet. Auch die im Ausland teilweise deutlich höheren Investitionen im Telekommunikationsbereich lassen vermuten, dass andere Länder beim 5G-Ausbau schneller vorankommen werden. Hinzu kommt, dass der Mobilfunkmarkt in anderen Ländern bereits weiterentwickelt ist und deshalb dort mit einer höheren Nachfrage nach 5G zu rechnen ist. Der Nachholbedarf Deutschlands spiegelt sich unter anderem in dem geringen Umsatz des Mobilfunkmarktes und der geringen Anzahl mobiler Breitband-Verträge pro Einwohner wider.

Die jüngsten Entwicklungen nähren die Vermutung, dass die Wettbewerberländer ihren Vorsprung seit 2019 gesichert und teilweise sogar ausgebaut haben. So wurden in Südkorea bis April 2020 bereits 115.000 5G-Basisstationen installiert. Deutschland verfügt insgesamt über rund 80.000 Mobilfunkstationen und muss damit eine höhere Einwohnerzahl auf einer 3,5-fach so großen Fläche versorgen. In China wurden bis März 2020 bereits 156.000 5G-Stationen in Betrieb genommen, weitere 550.000 sollen bis Ende 2020 folgen.

Die Corona-Pandemie hat zwar weltweit zu kurzfristigen Lieferengpässen im Bereich der Netzwerktechnik geführt. Das wird die Entwicklungen nach Experteneinschätzung jedoch nicht aufhalten. Vielmehr wird erwartet, dass die Pandemie speziell in China ein besonders stark steigendes Interesse an 5G nach sich zieht.

Angesichts der Faktenlage fällt das Fazit des Vergleichs der fünf Spitzenstandorte ähnlich aus wie in der Vorgängerstudie (vbw 2019): Die USA sind sowohl im Hinblick auf die Netzinfrastruktur als auch auf die Marktentwicklung führend, dahinter folgen China, Japan und Südkorea auf einem relativ ähnlichen Niveau. Deutschland belegt im Vergleich der in dieser Studie untersuchten fünf Spitzenstandorte in beiden Bereichen den letzten Platz.

Für die deutsche Industrie ist eine schnelle Verbreitung von 5G wichtiger denn je. Industrielle IoT-Anwendungen benötigen eine hohe Verbreitung und Akzeptanz von 5G, stehen allerdings erst in einer späteren Phase der 5G-Diffusion im Fokus (vgl. Kapitel 5.1.3). Umso wichtiger ist es, in der frühen Phase der 5G-Verbreitung nicht den Anschluss zu verlieren. Darüber hinaus ist zu befürchten, dass sich ein möglicher Rückstand bei 5G auch negativ auf die Adaption von Folgetechnologien auswirken wird.

5.4 Perspektive 6G

Obwohl die kommerzielle Nutzung von 5G erst am Anfang steht, wird bereits an 6G geforscht. Der südkoreanische Technologie-Konzern Samsung veröffentlichte im Juli 2020 ein Diskussionspapier, in dem er seine Vision für den Nachfolger des 5G-Mobilfunkstandards darlegt. Ab 2028 wird es nach Einschätzung von Samsung erste 6G-Netze geben, die kommerzielle Vermarktung wird für 2030 erwartet. Der 6G-Standard soll Datenraten von maximal 1.000 Gbit/s im Terahertz-Frequenzbereich (über 100 GHz) bieten und damit die Vorgänger-Generationen 5G (maximal 20 Gbit/s) und LTE (maximal 1 Gbit/s) deutlich übertreffen. Als mögliche Anwendung von 6G nennt Samsung Extended Reality (XR). Hiermit ist die Kombination von Augmented Reality, Virtual Reality und Mixed Reality gemeint, die die Projektion dreidimensionaler Hologramme ermöglichen soll.

Neben Unternehmen engagieren sich auch bereits staatliche Stellen im Bereich 6G. Aktuellen Presseberichten zufolge beabsichtigt die Regierung in Südkorea, zwischen 2021 und 2026 rund 170 Millionen US-Dollar zu investieren, um die 6G-Forschung zu fördern. Auch in Bayern gibt es bereits Schritte in diese Richtung: Am 14. September 2020 hat das Bayerische Kabinett ein Pilotvorhaben „6G Zukunftslabor Bayern – 6G Future Lab Bavaria“ beschlossen.

6 Methodische Anmerkungen

Typische Anwendungen und empfohlene Download-Bandbreiten

Tabelle 11

Typische Anwendungen und empfohlene Download-Bandbreiten

Video	Empfohlene Download-Bandbreiten (Mbps)		
	Standard Definition	High Definition	Ultra HD
Netflix	3	5	25
Amazon Prime Video	0,9	3,5	25
YouTube	1,1	5	20
Kommunikation	Empfohlene Minimum-Download/Upload-Bandbreiten (Mbps)		
	Sprachanruf (1 zu 1)	SD Videoanruf (1 zu 1)	HD Videoanruf (Gruppe)
Skype	0.3 / 0.3	1.2 / 1.2	1.5 / 1.2
Facetime	0.35 / 0.35	1.0 / 1.0	4.0 / 1.5
Zoom	0.1 / 0.1	0.6 / 0.6	3.0 / 1.8
Musik	Empfohlene Download-Bandbreiten (Mbps)		
	Normale Qualität	Hohe Qualität	Studio Qualität
Spotify	0,096	0,32	n/a
Google Play Music	0,128	0,32	n/a
Apple Music	0,128	0,256	n/a
Tidal	0,128	0,32	7,5
Amazon Music	0,128	0,32	3,75

SD = Standard Definition, HD = High Definition; Mbps = Mbit/s

Quelle: VP Consulting GmbH (2020)

Daten von atene KOM

Von 2009 bis 2018 wurde der Breitbandatlas vom TÜV Rheinland erstellt, im Jahr 2019 hat atene KOM diese Aufgabe übernommen. In den Berichten von TÜV Rheinland beziehungsweise atene KOM werden jeweils der Versorgungsgrad der privaten Haushalte mit verschiedenen Bandbreiten (≥ 1 Mbit/s, ≥ 2 Mbit/s, ≥ 6 Mbit/s, ≥ 16 Mbit/s, ≥ 50 Mbit/s; seit Datenstand Ende 2013 auch ≥ 30 Mbit/s) und unterschiedlichen Technologien

(leitungsgelunden und drahtlos) ausgewiesen. Zudem werden seit Ende 2013 die Abdeckung mit FTTH/B-Anschlüssen und seit Mitte 2016 die Versorgungsgrade ≥ 100 Mbit/s (mit Ausnahme Ende 2018) dokumentiert.

Dabei ist zu beruicksichtigen, dass die Datengrundlage ausschlieÙlich aus freiwilligen Angaben der Netzbetreiber generiert wurde und der tatsuichliche Ausbaustand somit leicht unterschätzt wird.

Daten von BREUER Nachrichtentechnik

Der zur Bewertung der LTE-Empfangsqualitdt herangezogene RSRP-Wert (Reference Signals Received Power) ist ein MaÙ für die Empfangsfeldstärke am Endgerdt und wird in Dezibel Milliwatt (dBm) angegeben. Der Wertebereich des RSRP liegt zwischen minus 140 dBm und minus 50 dBm. Je nher der RSRP-Wert an minus 50 dBm liegt, desto hher ist die Empfangsqualitdt. Mobile Endgerdt wdhlen die Funkzelle anhand des RSRP-Wertes aus. Das Gerdt misst den RSRP-Wert und wdhlt sich danach in die Funkzelle mit dem hchsten RSRP-Wert ein.

Nach Angaben der Experten von BREUER Nachrichtentechnik ermoglicht LTE bis ca. minus 115 dBm Datendienste. Telefonie ist aufgrund der niedrigeren benotigten Bitrate von Voice over LTE (VoLTE) mit akzeptabler Sprachqualitdt bis minus 120 dBm mglich. Für die Bewertung der gemessenen LTE-Empfangsqualitden wird ein Schema verwendet, das unter Beruicksichtigung der Experteneinschdtzung drei Qualitdstufen für bestehende Verbindungen unterscheidet. Eine Verbindung wird als gut eingestuft, wenn der RSRP-Wert uber minus 100 liegt. Werte unterhalb von minus 120 Punkten werden als schlecht definiert. Werte, die zwischen diesen Grenzwerten liegen, repräsentieren eine mittlere Empfangsqualitdt.

Konsultation von Branchenexperten

Im Rahmen der Studie wurden Gesprdche mit Branchenexperten gefuhrt. Bei den konsultierten Experten handelt es sich um Herrn Udo Harbers (Deutsche Telekom) und Herrn Hans-Jürgen Rosch (Vodafone). Die Autoren der Studie danken den genannten Gesprächspartnern herzlich für ihre Unterstutzung.

Literaturverzeichnis

- BMVI/Atene KOM (2020a): Breitbandversorgung bayerischer Gemeinden. Stand Ende 2019.
- BMVI/Atene KOM (2020b): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland. Stand Mitte 2019. Erhebung der atene KOM im Auftrag des BMVI (Hrsg.).
- BMVI (2017): Übergebene Förderbescheide für den Breitbandausbau – Beratungsleistungen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- BMW (2020): Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen. Konzepte, Begriffe, Betreibermodelle und Auswahlkriterien für Produktion und Logistik mit Übertragbarkeit auf weitere Domänen wie Medizin-Campus/Krankenhäuser, Häfen, Bergbau, Baustellen und Landwirtschaft. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BNetzA (2019): Tätigkeitsbericht Telekommunikation 2018/2019. Stand Dezember 2019. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hrsg.).
- BREUER Nachrichtentechnik (2020): Datenerfassung auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern im Zeitraum 08.08.2020 bis 01.09.2020.
- China Daily (2020): Digital economy to get a big boost from China's 5G expansion efforts. Online verfügbar unter <https://global.chinadaily.com.cn/a/202003/06/WS5e6185ada31012821727cba4.html>, zuletzt aktualisiert am März.2020.
- ctia (2018): The Global Race to 5G. Cellular Telecommunications and Internet Association.
- Der Standard (2020): US-Regierung treibt mit Frequenzauktion 5G-Ausbau voran. Online verfügbar unter <https://www.derstandard.de/story/2000119282730/us-regierung-treibt-mit-frequenzauktion-5g-ausbau-voran>.
- Deutsche Telekom (2019): Telekom bei 5G im Plan. Online verfügbar unter <https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/telekom-bei-5g-im-plan--587232>, zuletzt geprüft am 18.08.2020.
- Deutsche Telekom (2020a): Telekom erweitert Kapazität an 5.300 Mobilfunk-Standorten. Online verfügbar unter <https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/telekom-erweitert-kapazitaet-an-5-300-mobilfunk-standorten-607302>, zuletzt geprüft am 17.09.2020.
- Deutsche Telekom (2020b): 5G für Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/5g-fuer-deutschland-598876>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.
- Deutsche Telekom (2020c): Telekom Netzausbau. Online verfügbar unter <https://www.telekom.de/start/netzausbau>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.
- Deutscher Bundestag (2018): Abfluss der Mittel aus dem Bundesförderprogramm Breitbandausbau (Drucksache, 19/2656).
- EU-Kommission (2020), Digital Scoreboard, Indikator 1c Mobile broadband
- Golem (2020): Wenn LTE schneller als 5G ist. Dynamic Spectrum Sharing erlaubt 5G und LTE in alten Frequenzbereichen von 3G und DVB-T. Doch wenn man hier nur LTE einsetzen würde, wäre die Datenrate

Methodische Anmerkungen

höher. Online verfügbar unter <https://www.golem.de/news/telekom-vodafone-wenn-lte-schneller-als-5g-ist-2006-149169.html>, zuletzt aktualisiert am 30.06.2020.

GSMA Intelligence (2020): The future of devices.

Handelsblatt (2020): Huawei-Ausschluss in Großbritannien kostet weniger als befürchtet. Der Netzbetreiber BT hat vor riesigen Kosten durch einen Huawei-Bann gewarnt. Gegenüber Investoren revidierte der Konzern die Zahlen deutlich nach unten. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/mobilfunk-huawei-ausschluss-in-grossbritannien-kostet-weniger-als-befuerchtet/26006794.html?ticket=ST-8472420-V3dt6TvpDGGvqcGrTBgT-ap2>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

Heise (2020): Telekom, Vodafone, Telefónica: So viele 5G-Antennen funken mittlerweile. Vodafone und die Deutsche Telekom wollen bald mehrere tausend weitere 5G-Antennen in Betrieb nehmen. Telefónica und 1&1 Drillisch stecken in Vorbereitungen. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/news/Telekom-Vodafone-Telefonica-So-viele-5G-Antennen-funken-mittlerweile-4845480.html>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

IHS Markit (2019): Global 4G LTE Infrastructure Revenue Totaled \$22.9 billion in 2018. Online verfügbar unter <https://technology.ihs.com/612559/global-4g-lte-infrastructure-revenue-totaled-229-billion-in-2018>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

ITU (2020): World Telecommunication / ICT Indicators Database. International Telecommunication Union.

McKinsey (2020): The 5G era. New horizons for advanced electronics and industrial companies. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.de/news/presse/5g-module-in-der-industrie-studie>, zuletzt geprüft am 04.08.2020.

Neue Zürcher Zeitung (2020): 5G etabliert sich in der Schweiz – und heizt die Gesundheitsdebatte neu an: die Einführung der neuen Technologie im Überblick. Online verfügbar unter <https://www.nzz.ch/wirtschaft/5g-6-fragen-und-antworten-ld.1458960>, zuletzt aktualisiert am Januar.2020.

Opensignal (2020): The State of Mobile Network Experience 2020: One Year Into the 5G Era. Unter Mitarbeit von Sam Fenwick und Hardik Khatri.

Rohde, Roland (2020): China forciert Ausbau der 5G-Mobilfunknetze. Germany Trade & Invest.

StatCounter (2020): Mobile Operating System Market Share. Online verfügbar unter <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>.

Strategy Analytics (2020a): Samsung Leads in 5G Smartphones in Q1 2020. Online verfügbar unter <https://news.strategyanalytics.com/press-releases/press-release-details/2020/Strategy-Analytics-Samsung-Leads-in-5G-Smartphones-in-Q1-2020/default.aspx>, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

Strategy Analytics (2020b): Global Smartphone Shipments Fall 17 Percent in Q1 2020. Unter Mitarbeit von Linda Sui. Online verfügbar unter <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/devices/smartphones/smart-phones/2020/04/30/global-smartphone-shipments-fall-17-percent-in-q1-2020>, zuletzt aktualisiert am 18.08.2020.000Z, zuletzt geprüft am 18.08.2020.

Suzuki, Wataru (2020): Coronavirus upsets Japan 5G launch. Hg. v. Nikkei Asian Review. Online verfügbar unter <https://asia.nikkei.com/Spotlight/5G-networks/Coronavirus-upsets-Japan-5G-launch>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2020.

Methodische Anmerkungen

Telefónica (2020): Telefónica Deutschland baut 5G-Kernnetz mit Ericsson-Technologie. Europäischer Netzausrüster für sicherheitsrelevantesten Netzbereich: Online verfügbar unter <https://www.telefonica.de/news/corporate/2020/06/europaeischer-netzausruester-fuer-sicherheitsrelevantesten-netzbe-reich-telefonica-deutschland-baut-5g-kernnetz-mit-ericsson-technologie.html>, zuletzt aktualisiert am 24.08.2020, zuletzt geprüft am 24.08.2020.

The World Bank: World Bank Database.

T-Mobile (2020a): 5G Coverage Map. Online verfügbar unter <https://www.t-mobile.com/coverage/5g-coverage-map>, zuletzt aktualisiert am August.2020.

T-Mobile (2020b): T-Mobile 5G New York. Online verfügbar unter <https://www.t-mobile.com/news/media-library/t-mobile-5g-in-new-york-city-map-original-file>, zuletzt aktualisiert am 2020.

Tomas, Juan Pedro (2020): RCRWirelessNews. Online verfügbar unter <https://www.rcrwireless.com/20200416/5g/south-korea-reaches-5g-penetration-nearly-10-report>, zuletzt aktualisiert am April.2020.

VATM (2019): 21. TK-Marktanalyse Deutschland 2019. Online verfügbar unter https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2019/10/VATM_TK-Marktstudie_2019_091019.pdf

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

vbw (2019): Versorgungsgrad der digitalen Infrastruktur in Bayern. Online verfügbar unter <https://www.vbw-bayern.de/vbw/Aktionsfelder/Standort/Infrastruktur/Versorgungsgrad-der-digitalen-Infrastruktur-in-Bayern-6.jsp>.

Ansprechpartner/Impressum

Dr. Benedikt Röchardt

Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-252

Telefax 089-551 78-249

benedikt.ruechardt@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

© vbw September 2020

Autoren

IW Consult GmbH

Hanno Kempermann
Manuel Fritsch
Dr. Philipp Schade