

Bericht

Mobilfunkerfassung Land Brandenburg

Unterstützung leistungsfähiger
Mobilfunknetze

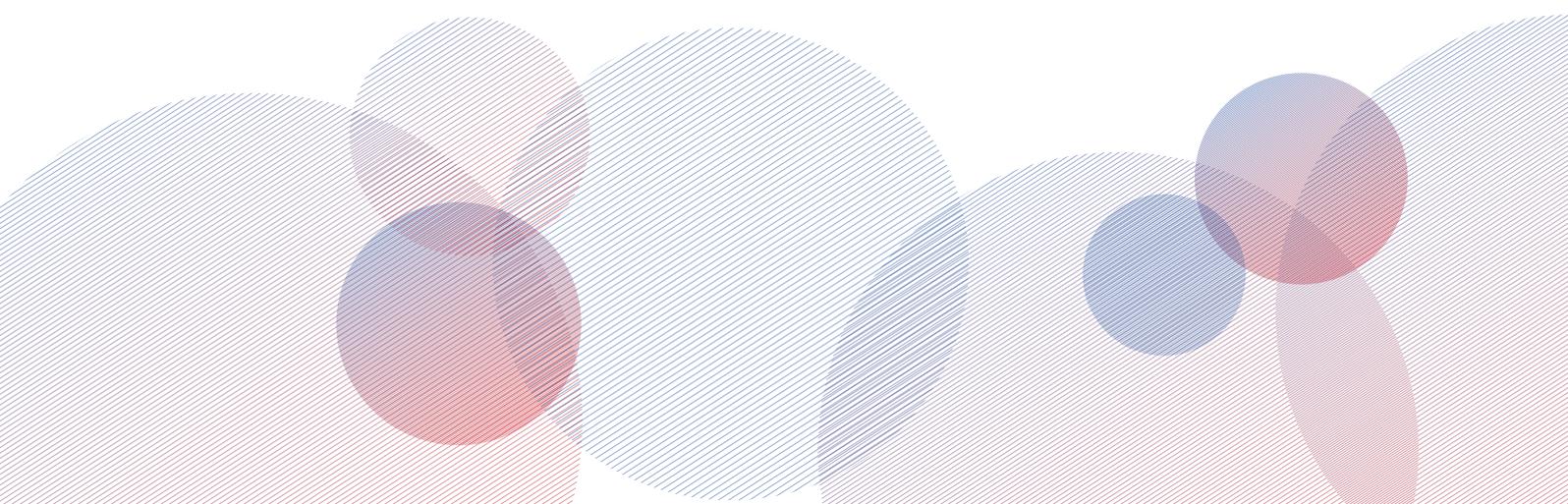
Auftraggeberin:
DigitalAgentur Brandenburg GmbH

Auftragnehmer:
atene KOM GmbH



Projektzeitraum: 01.11.2020 – 31.12.2021

Erschienen: Potsdam, Juni 2022



Eine hochqualitative Mobilfunkabdeckung ist für die digitale Daseinsvorsorge elementar

Mobile Datenverbindungen sind Voraussetzung für mittlerweile alltägliche Dienstleistungen: Ob für Navigation, Clouddienste oder soziale Netzwerke, ohne ausreichenden mobilen Datenempfang funktioniert vieles nicht. Sie sind zu Lebensadern der gesellschaftlichen und privaten Kommunikation geworden. Als Teil der digitalen Infrastruktur stehen sie für den grundsätzlichen Wandel, der mit großem Tempo alle Bereiche unseres Lebens verändert. Eine hochqualitative Mobilfunkabdeckung ist für die digitale Daseinsvorsorge elementar.

Die DigitalAgentur Brandenburg fasst mit dem vorliegenden Bericht die Ergebnisse einer deutschlandweit bisher einmaligen Untersuchung zusammen und stellt damit Entscheidungstragenden, Mobilfunkverantwortlichen und anderen Interessierten wertvolle Informationen über den Stand der mobilen Breitbandinfrastruktur zur Verfügung. Über 40.000 untersuchte Straßenkilometer und mehr als 24 Millionen Datensätze bilden die Grundlage für eine genaue Bewertung der regionalen Mobilfunkqualitäten in Brandenburg. Die Integration der gewonnenen Analysedaten in das Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) stellt darüber hinaus einen in dieser Komplexität ebenfalls einmaligen Geoinformationsdatenschatz für die Brandenburger Kommunen dar.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die gewonnenen Erkenntnisse über die Mobilfunknetze und auch die zugrundeliegenden Messmethoden nun veröffentlicht. Ich begrüße es sehr, dass Landkreise und Kommunen mit dem geplanten „Service Mobilfunkfassung“ der DigitalAgentur dabei unterstützt werden, verfügbare Netzqualitäten genauer vor Ort zu erfassen. Vor allem aber freue ich mich, dass sowohl die Wirtschaft als auch die Bürgerinnen und Bürger ein hilfreiches neues Werkzeug erhalten, um Mobilfunk-Infrastrukturen in Brandenburg bestmöglich für sich nutzen zu können.

Hendrik Fischer

Staatssekretär des Ministeriums für Wirtschaft,
Arbeit und Energie Brandenburg

Vorsitzender des Aufsichtsrats der
DigitalAgentur Brandenburg GmbH

Hendrik Fischer © Till Budde



Es ist unsere Aufgabe, sichere und nachhaltige digitale Infrastrukturen weiterzuentwickeln

Mit ihrem ersten operativen Geschäftsjahr hatte es sich die junge DigitalAgentur Brandenburg im Jahr 2020 zum Ziel gemacht, das Bundesland bei der Entwicklung als attraktives und souveränes Smart Country zu stärken. Als technische Grundlage von Digitalisierungsvorhaben spielte die Qualität der Mobilfunkverbindungen in nahezu allen Projektierungen eine essenzielle Rolle. Die damals und heute bereitgestellten statistischen Daten zur Netzqualität reichten für die Szenarioanalysen jedoch meist nicht aus.

So wagten wir es, neue und bestehende Informationen über die Netzinfrastruktur aus der ganz konkreten Nutzungsperspektive zusammenzutragen. Gemeinsam mit den Projektpartnern atene KOM und GESBRO realisierten wir die erste Befahrung des kompletten Straßennetzes eines Bundeslandes, um den Status quo der Anbindungsinfrastruktur im Mobilfunk zu erfassen. Zusammen mit den Daten der Breitbandversorgung im Glasfaser- und DSL-Bereich, schaffen wir heute im Breitbandinformationssystem Brandenburg eine einzigartige Grundlage für konkrete Realisierungsprojekte zur Digitalisierung an konkreten örtlichen Punkten sowie im mobilen Anwendungsbereich. Dies ist eine wesentliche Hilfe für unsere Projektplanungen und die vielen weiteren öffentlichen Entscheidungsträger in Bund, Land und Kommunen.

Gemeinsam ist es unsere Aufgabe, sichere und nachhaltige digitale Infrastrukturen weiterzuentwickeln. Sie bilden das Rückgrat der Digitalisierung und sind somit elementar für die langfristige digitale Daseinsvorsorge und Teilhabe von Bevölkerung, Wirtschaft und Verwaltung auf Kommunal- und Landesebene.

Dr. André Göbel

Geschäftsführer der
DigitalAgentur Brandenburg GmbH



Dr. André Göbel © #DABB

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	6
Factsheet.....	8
1 Einleitung.....	10
2 Methodik.....	12
3 Messkampagnen 2020 und 2021	14
4 Messergebnisse	17
4.1 LTE-Signalqualität	19
4.2 Mobilfunktechnologie	27
4.3 Frequenzen.....	30
4.4 Spezialmessungen an Einzelstandorten	33
4.5 5G-Versorgung.....	40
5 Weiterführende Auswertungen	42
5.1 LTE-Versorgung nach Straßentypen.....	42
5.2 Plausibilisierung der Messdaten.....	44
5.3 Modellierung der LTE-Flächenversorgung.....	48
6 Fazit und Ausblick.....	53
7 Verzeichnisse	55
Impressum	59
Kontakt	59

Zusammenfassung

Eine lückenlose Mobilfunkabdeckung bedeutet mehr Standortattraktivität für Unternehmen und sichert gleichwertige Lebensverhältnisse in städtischen und ländlichen Räumen. Zudem hängt die Bereitstellung öffentlicher Daseinsvorsorge vom Zustand der digitalen Infrastrukturen und damit auch von der Mobilfunkversorgung ab. Um das Land Brandenburg zukunftsfähig und attraktiv zu machen, sind Kenntnisse über den Zustand der Mobilfunkabdeckung in Brandenburg und daraus resultierenden Optimierungsmaßnahmen unabdingbar.

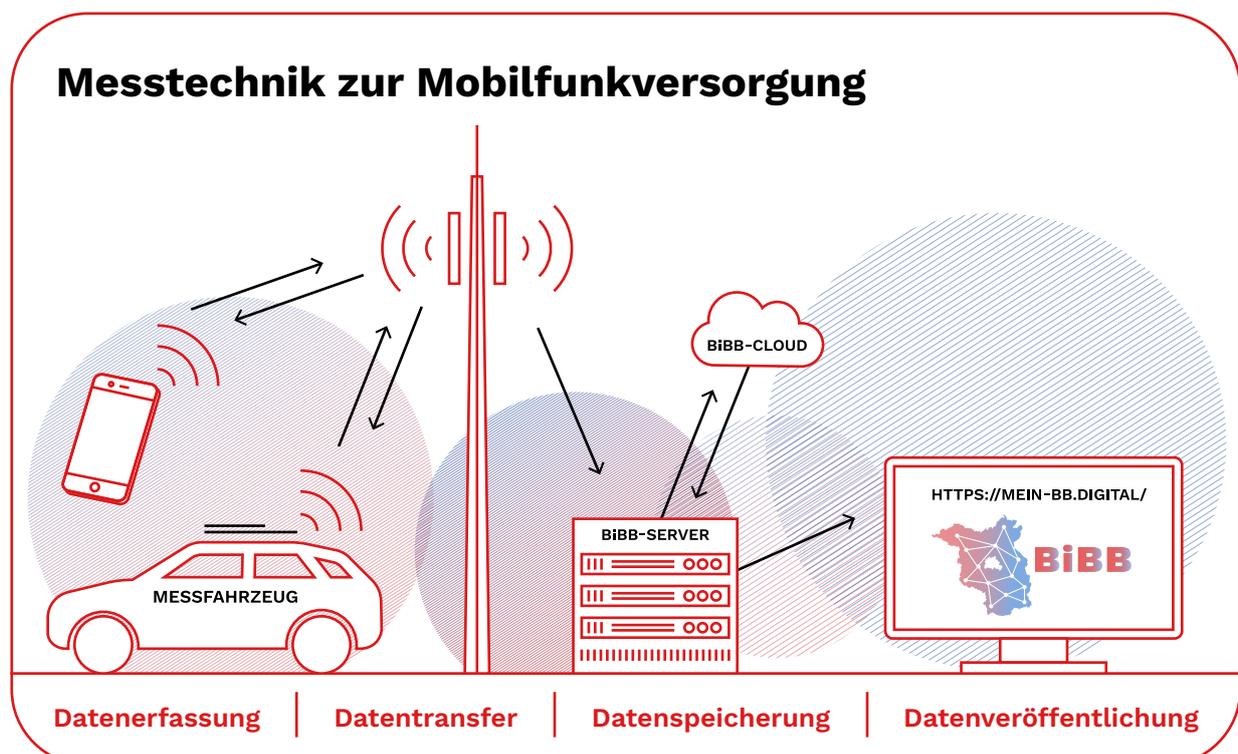
Zielsetzung des Vorhabens war eine landesweite Bestandsaufnahme und Analyse der aktuellen Mobilfunk-Versorgungslage, um die Planung von mobilen Anwendungsszenarien sowie einen gezielten Ausbau der Mobilfunkversorgung in Brandenburg zu unterstützen.

Im Auftrag der DigitalAgentur Brandenburg GmbH (DABB) hat die atene KOM GmbH (atene KOM) vom 01.11.2020 bis zum 31.12.2021 verschiedene Befahrungen des Straßennetzes in Brandenburg zur Analyse der Mobilfunkversorgung durchgeführt. Hierzu wurden die bis dato verfügbaren Informationen der Bundesnetzagentur (BNetzA) und der Mobilfunkanbieter durch Messdaten ergänzt, die in einer einheitlichen und anbieterneutralen Systematik erhoben wurden. Zur Messdatenerfassung wurden 40.727 Straßenkilometer des Landes mit insgesamt zehn Messfahrzeugen, ausgestattet mit speziell entwickelter Messtechnik, befahren. Neben aktiven Messungen zur Simulation der Anwenderperspektive via Smartphone, wurden auch passive Messungen der Mittelfrequenzen (Amplitudenmessungen) sowie Spezialmessungen zur Ermittlung des realen Datendurchsatzes an besonders relevanten Orten durchgeführt.

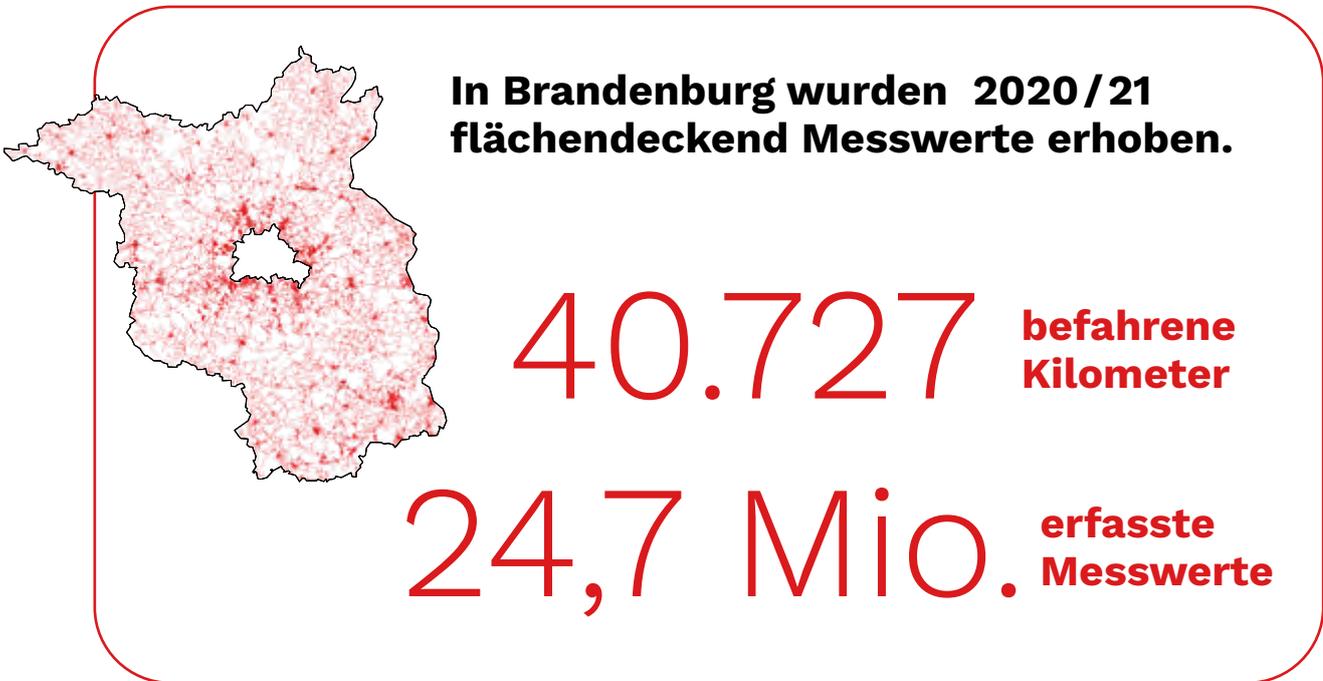
Für die Mobilfunkabdeckung entlang der in Brandenburg befahrenen Straßen wurde im Projekt ein differenziertes Bild ermittelt. Demnach sind 90,38 % der Straßen mit Long Term Evolution (LTE) versorgt (mindestens ein Mobilfunknetzbetreiber ist erreichbar und es liegt ein Leistungspegel von mindestens -109 dBm vor). Die unterversorgten Strecken mit weißen Flecken lassen sich mehrheitlich im ländlichen Raum verorten. Bei Betrachtung der Messdaten nach den jeweiligen Straßentypen zeigt sich eine deutliche Divergenz zwischen der LTE-Versorgung der Autobahnen (99,19 %) und anderen Straßentypen. Demnach weisen Bundes- (93,59 %), Gemeinde- (91,78 %), Landes- (86,43 %), Kreis- (82,43 %) und sonstige Straßen (89,64 %) eine geringere LTE-Versorgung auf. Regional lassen sich in Bezug auf die Leistungsdaten des Mobilfunknetzes deutliche Unterschiede feststellen. Dieses Resultat wird durch die uneinheitlichen Messergebnisse der Spezialmessungen unterstrichen.

Um die bestehenden Digitalisierungsziele und somit auch den Mobilfunkausbau im Land Brandenburg weiter voranzutreiben, wird ein kontinuierliches Monitoring der bestehenden Mobilfunkversorgung empfohlen. Weiterhin unterversorgte Strecken oder auch erzielte Fortschritte lassen sich auf diese Weise belastbar quantifizieren. Um den Ausbauzustand noch umfassender analysieren zu können und einen Abgleich mit den bestehenden Regulierungsaufgaben zu gewährleisten, sollten künftige Erhebungen mit weiteren Daten zur Netzinfrastruktur abgeglichen werden. In diesem Kontext wird auch eine Ausweitung der Messungen auf weitere Transportinfrastrukturen wie Wasserstraßen und Bahntrassen empfohlen. Weitere Fahrten sind aufgrund des voranschreitenden 5G-Netzausbaus und den damit verbundenen neuen Anwendungsszenarien sinnvoll. Zudem wird es künftig technisch möglich sein, die im Projekt bereits punktuell durchgeführten Spezialmessungen zur Latenz- und Downloaderhebung als Standard-Messmethode zu etablieren. Diese strukturierte Aufbereitung verfügbarer Datennetzqualitäten ist eine wesentliche Grundlage für die Planung von mobilen Digitalanwendungen für Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und Gemeinwesen in Brandenburg.

Alle ermittelten Daten stehen im Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) für registrierte Nutzer:innen der öffentlichen Hand zur Verfügung und können gemeinsam mit den weiteren dort enthaltenen Standortinformationen verwendet werden.

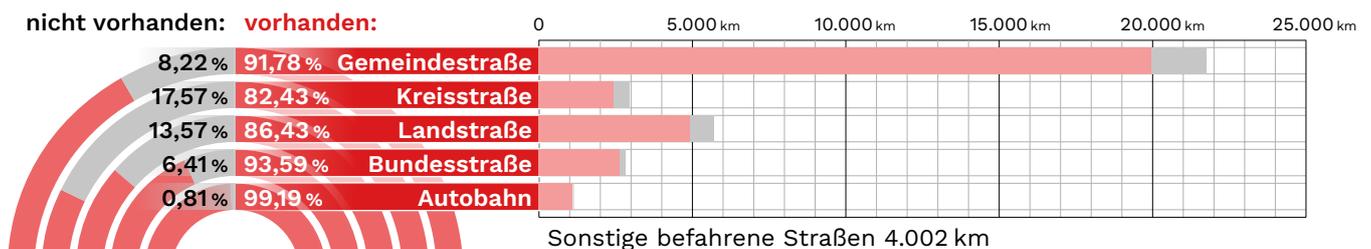


Factsheet



LTE Abdeckung 2020/21*

Befahrene Kilometer nach Straßentyp

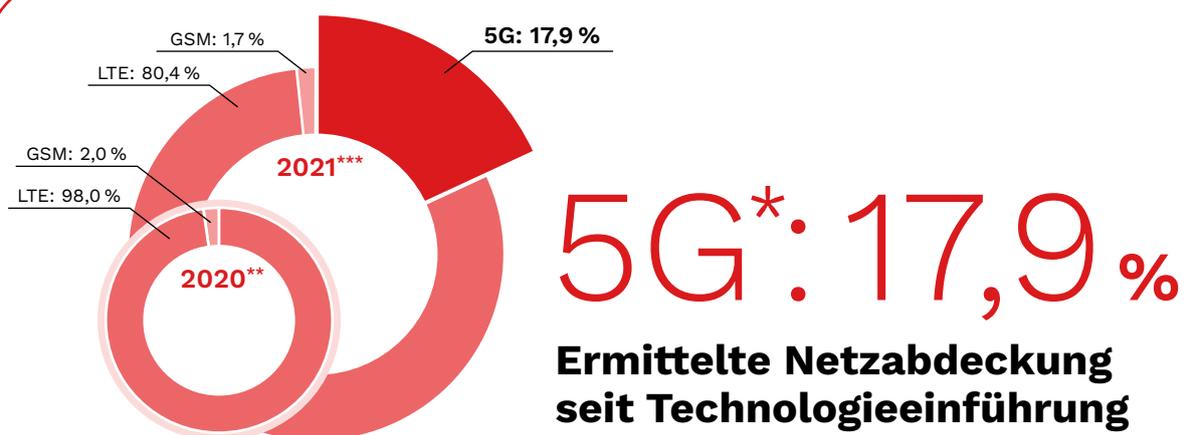
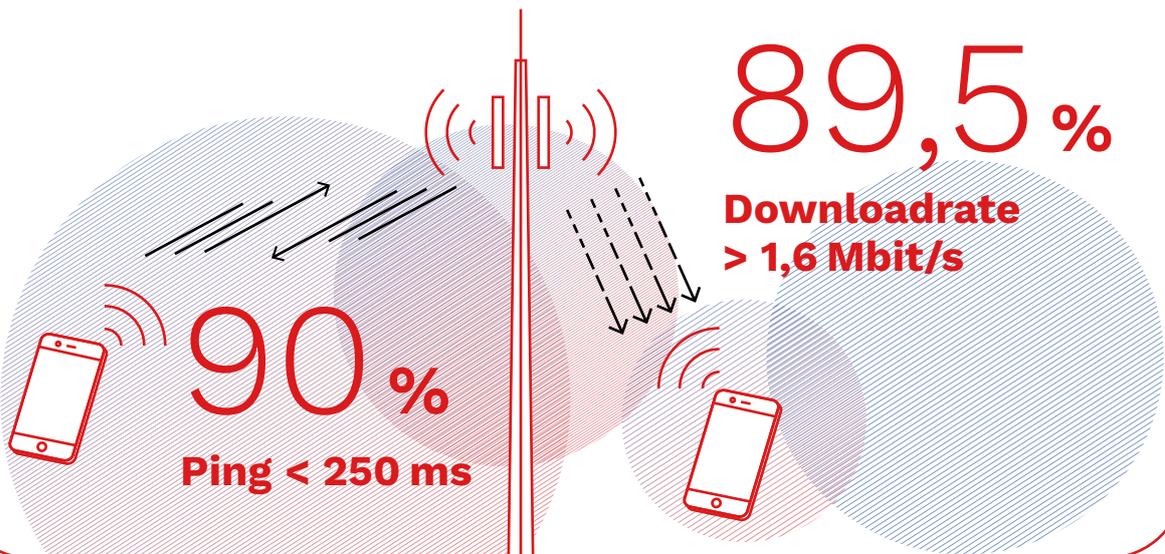


90,38%

Ermittelte LTE-Gesamtversorgung* entlang öffentlicher Straßen

* eine Leistung von -109 dBm oder höher wurde ermittelt

Spezialmessungen an Einzelstandorten im Jahr 2020



* Hierbei handelt es sich um das sog. 5G NR NSA-Variante (mehr dazu in Kapitel 4.5)

** 2020: Flächendeckende Erhebung ca. 38.468 km

*** 2021: Folgerhebung ausgewählter Gebiete ca. 2.250 km

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund tiefgreifender, zum Teil disruptiver Prozesse durch die Digitalisierung spielen Technologien zur Vernetzung (Anschlussinfrastrukturen) heute eine entscheidende Rolle. Innovation, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Stärkung der gesellschaftlichen Teilhabe sind ohne leistungsfähige Netze nicht mehr realisierbar. Der Mobilfunk ist dabei die Schlüsseltechnologie für die funkbasierte Vernetzung und Grundlage für viele neue und innovative Anwendungen. Die Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit und Stabilität der Mobilfunknetze spielt für Unternehmen, Verwaltung und Bürger:innen eine herausragende Rolle.

Ohne ausreichende Mobilfunkabdeckung entscheiden sich Unternehmen aufgrund mangelnder mobiler Kommunikationsmöglichkeiten gegen Standortgründungen oder den Ausbau des vorhandenen Firmenstandortes. Eine lückenlose und schnelle Mobilfunkabdeckung bildet demnach eine Grundvoraussetzung der digitalen Daseinsvorsorge und damit auch zur Ansiedlung neuer oder dem Bleiben bereits ortsansässiger Bürger:innen. Eine gute Mobilfunkabdeckung steigert zudem die touristische Attraktivität einer Region.

Insbesondere in dünn besiedelten Regionen lassen sich durch ein umfassendes und stabiles Mobilfunknetz verbesserte Standortbedingungen realisieren, die die Grundlage für moderne Lebensverhältnisse darstellen. Die Ermittlung von Potenzialen und Herausforderungen der digitalen Infrastrukturen in der Daseinsvorsorge sowie der Bedarf einer wirksamen und gezielten Planung von digitalen Anwendungen machen eine valide Datenbasis in diesem Zusammenhang unabdingbar.

Aus diesen Gründen hat die DigitalAgentur Brandenburg (DABB) eine landesweite Bestandsaufnahme und Analyse der aktuellen Mobilfunk-Versorgungslage realisiert und wird auch zukünftig Daten zur Erfassung der Mobilfunkabdeckung erheben.

Überdies beschreibt das Digitalprogramm 2025 das Ziel des Landes Brandenburg, bis zum Jahr 2025 den Breitbandausbau so weit voranzutreiben, dass „Weiße Flecken“ mit Bandbreiten von unter 30 Mbit/s geschlossen werden. Fördermittel werden genutzt, um Bereiche auszubauen, in denen privatwirtschaftlich keine Anreize zum Ausbau der entsprechenden Infrastruktur bestehen.

Durch die Befahrung des öffentlichen Straßennetzes¹ wurde in der Umsetzung des Vorhabens mithilfe von Funk-/Frequenz-Scannern die Zellabdeckung von vorhandenen Mobilfunkzellen für alle Technologien, Funkzellen und Netze eingelesen. Die im Ausschreibungsverfahren beauftragte atene KOM GmbH konnte auf diese Weise die Mobilfunkabdeckung im jeweiligen Messbereich ermitteln und unzureichend versorgte Strecken (weiße und/oder graue LTE-Flecken) identifizieren. Während bei den sogenannten weißen Flecken keine LTE-Abdeckung vorhanden ist, handelt es sich bei den grauen Flecken um Gebiete, die bislang nur von einem Betreiber mit LTE versorgt werden.

Im Zeitraum vom 01.11.2020 – 31.12.2021 wurden verschiedene Messkampagnen durchgeführt. Die Hauptuntersuchung vom 01.11.2020 bis zum 19.01.2021 umfasste das gesamte öffentliche Straßennetz in Brandenburg mit 38.468 Straßenkilometern, insgesamt wurden durch Validierungsfahrten 40.727 km Straßenkilometer in Brandenburg befahren. Damit ist Brandenburg das erste Bundesland in Deutschland, in dem eine landesweite systematische Mobilfunkmessung durchgeführt wurde. Insgesamt wurden bei den Messungen über 24,7 Mio. Datensätze erhoben.

¹ Es wurden Autobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen, Kreisstraßen, Gemeindestraßen und „sonstige Straßentypen“ befahren. Alle Straßen/Wege außerhalb dieser Klassifizierung wie z. B. Wald- oder Feldwege wurden nicht befahren.

2 Methodik

Messdatenerfassung entlang öffentlicher Straßen

Die Messdatenerfassung wurde entlang öffentlicher Straßen im Land Brandenburg durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden die eingesetzten Messfahrzeuge mit identischen Messaufbauten versehen. Diese bestanden aus speziell entwickelten, kalibrierten Mobilfunkscannern der Firma GESBRO und handelsüblichen Smartphones. Durch die eingesetzte Messroutine wurden Datenpunkte im Abstand von wenigen Sekunden während der Befahrung erzeugt. Über eine entsprechende Programmierschnittstelle der Smartphones (Application Programming Interface; API) ließen sich die zur Datenvalidierung aufgenommenen Smartphone-Messwerte standardisiert auslesen. Die Antennen der Mobilfunkscanner und auch die witterungsgeschützten Smartphones waren jeweils im Außenbereich des Fahrzeugs auf 1,5 m Höhe² montiert. Dafür wurde ein entsprechender Aufbau (Rack) auf den Fahrzeugen konstruiert. Die Außenmontage der Antennen wurde notwendig, um Signaldämpfungen und Messbeeinträchtigungen durch das Fahrzeugmaterial auszuschließen. Durch diesen Aufbau ließ sich eine anwendungsorientierte Mobilfunknutzung simulieren. Durch den Einsatz einer unterbrechungsfreien Spannungsversorgung (USV) wurden die Mobilfunkscanner während der gesamten Messdauer sicher mit Strom versorgt. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen den Messaufbau der jeweiligen Messfahrten (2020 und 2021).

Die Befahrung ließ sich über eine Remote-Verbindung in Echtzeit nachverfolgen und koordinieren. Aufgrund der flächendeckenden Messung entlang öffentlicher Straßen, konnte ein sehr umfassendes Bild der real existierenden Mobilfunkversorgung der Mobilfunknetzbetreiber Vodafone, Telekom und Telefónica im Land Brandenburg erfasst werden. Die generierten Daten wurden während der Befahrung in einer zentralen Datenbank für weitere Auswertungsverfahren gesichert.

Während reine Smartphone-Messungen, aufgrund technischer Eigenschaften der Geräte, auf bestimmte Frequenzen beschränkt sind, ließen sich die eingesetzten Mobilfunkscanner uneingeschränkt in allen Frequenzbereichen verwenden. Dadurch ist nicht nur eine höhere Vergleichbarkeit der Daten gegeben, auch können neben dem Mobilfunk weitere Funkfrequenzen, zum Beispiel in Bezug auf Internet of Things (IoT)-Techniken, erfasst werden.

Die Messergebnisse werden als Hexagon mit einer Kantenlänge von 80 Metern dargestellt. Die einzelnen Messwerte innerhalb eines Hexagons werden je nach

² Laut Bundesnetzagentur (BNetzA) wurde festgelegt, dass bei der Berechnung der Versorgung die Verbraucherperspektive (1,5 m über Grund) als Höhe eingenommen werden soll.



Abbildung 1: Fahrzeug mit Messeinrichtung als Dachaufbau 2020

Auswertung unterschiedlich zusammengefasst. Im Vergleich zur Betrachtung einzelner Messwerte ergeben sich daher Abweichungen, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist.

Spezialmessungen an Points-of-Interest (POI)

Darüber hinaus wurden auf Strecken mit einem erhöhten Anspruch an eine stabile und breitbandige Mobilfunkversorgung (u. a. Ortskerne, Industrie- und Gewerbegebiete, Gebiete mit Nähe zu Bildungseinrichtungen, tourismusrelevante Gebiete) an über 1.110 Messpunkten Spezialmessungen – sogenannte Datendurchsatzmessungen – durchgeführt. Hierbei wurden zur Messung von Latenzzeiten und der Up- / Downloadgeschwindigkeit Testdatensätze eingesetzt.



3 Messkampagnen 2020 und 2021

Im Gesamtzeitraum vom 01.11.2020 bis zum 31.12.2021 wurden durch zwei Messkampagnen zunächst das gesamte Straßennetz in Brandenburg sowie in einer Folgebefahrung ausgewählte Gebiete erhoben.

Die erste Messkampagne 2020 wurde vom 01.11.2020 bis zum 19.01.2021 durchgeführt und erfasste die landesweit real existierende Mobilfunkversorgung. Im Rahmen dieser Erhebung wurde das gesamte öffentliche Straßennetz in Brandenburg mit 38.468 Straßenkilometern systematisch erfasst (siehe Abbildung 3). Die Messung des Mobilfunks wurde entlang öffentlicher Straßen während der Fahrt durchgeführt. Die zusätzlichen Datendurchsatzmessungen wurden an zuvor ausgewählten Orten von gesondertem Interesse, sogenannte Points of Interest (siehe Kapitel 2), vorgenommen. Die Ergebnisse der Durchsatzmessungen werden in Spezialmessungen an Einzelstandorten vorgestellt. Für die Durchsatzmessungen standen die Fahrzeuge für einen Zeitraum von 10–15 Minuten fest an einem Ort. Insgesamt kamen zehn Messfahrzeuge zeitgleich zum Einsatz.

Die zweite Messkampagne 2021 wurde zwischen dem 08.11.2021 bis zum 31.12.2021 durchgeführt. Hierfür wurde die Mobilfunkversorgung in kleineren Gebieten über Brandenburg hinweg verteilt erfasst (siehe Abbildung 4). Diese Gebiete wurden durch die DABB in Absprache mit der atene KOM bestimmt. Zum einen handelt es sich hier um Gebiete, in denen künftige (Förder-) Projekte zum Beispiel im Bereich 5G realisiert werden sollen. Zum anderen sollten Gebiete betrachtet werden, in denen Mobilfunknutzer:innen eine Unterversorgung meldeten. Durch die Folgerhebung lassen sich etwaige Veränderungen des Mobilfunks in den ausgewählten Gebieten detektieren. Des Weiteren konnten erstmals 5G New Radio Non-Standalone (5G NR NSA) Signale ermittelt werden. Insgesamt wurden bei der zweiten Messkampagne ca. 2.250 öffentliche Straßenkilometer befahren.

Erhebungsgebiet Messkampagne 2020

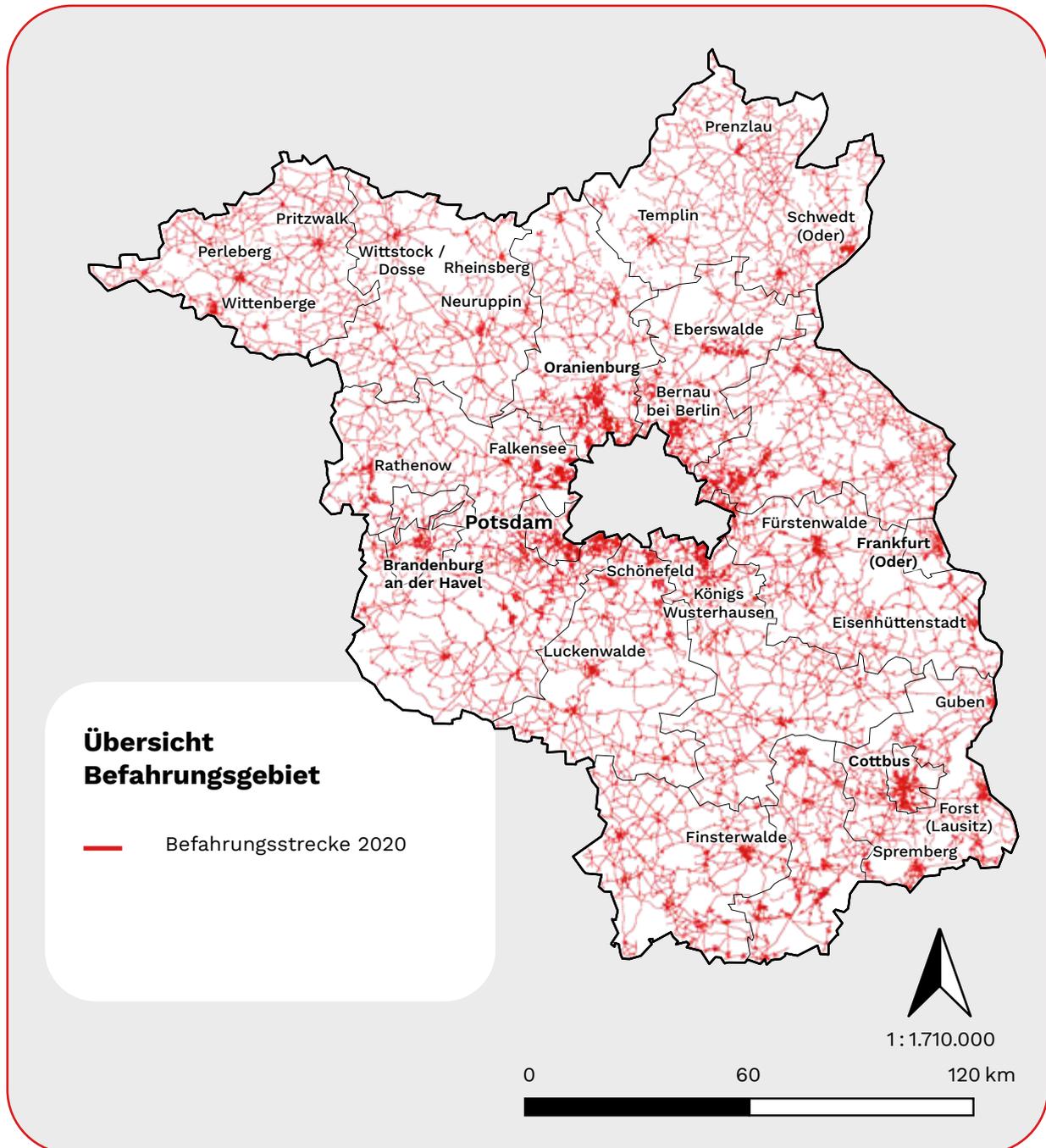


Abbildung 3: Übersicht Befahrungsgebiet 2020
Quelle: atene KOM GmbH 2020

Erhebungsgebiet Messkampagne 2021

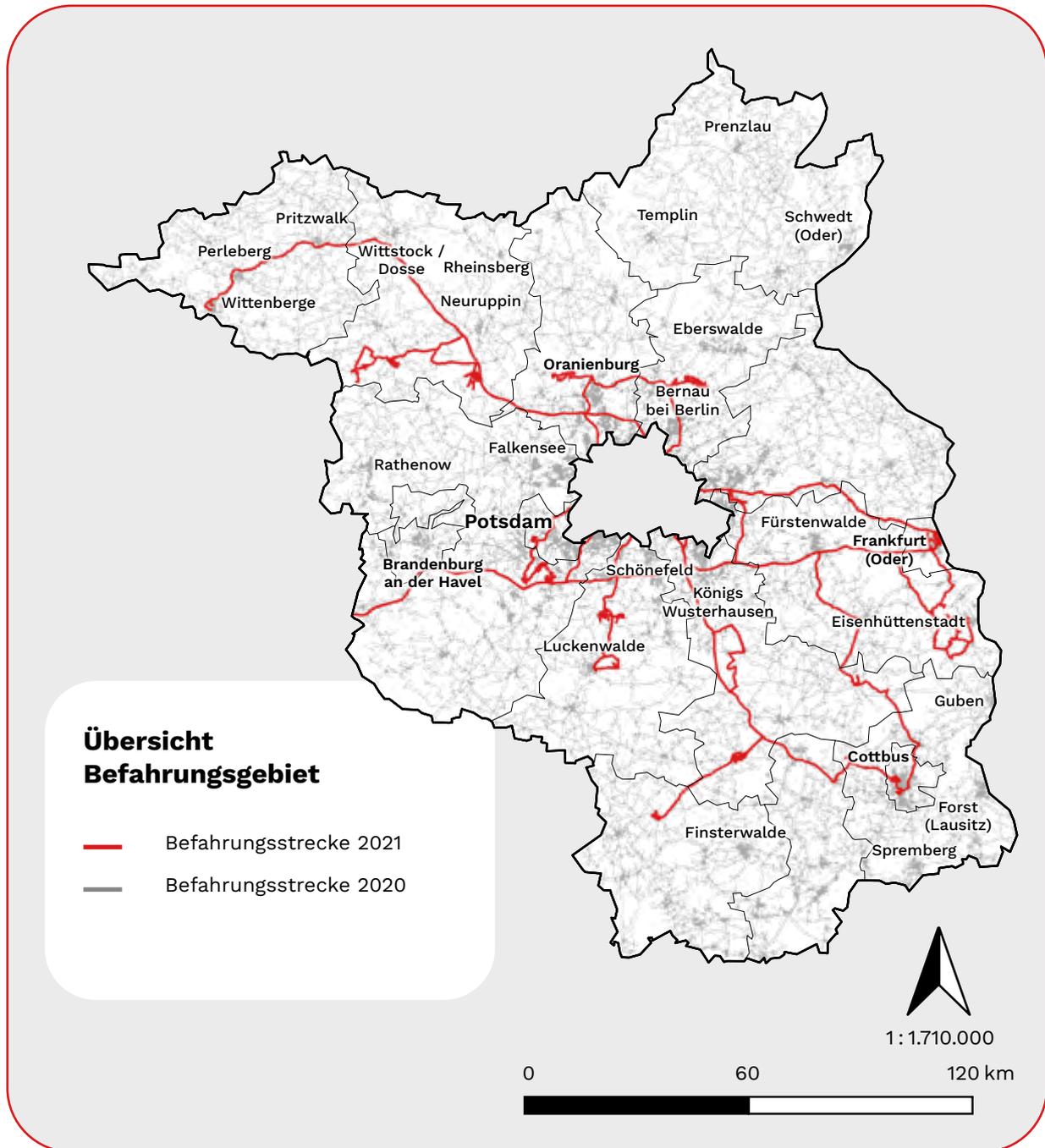


Abbildung 4: Übersicht Befahrungsgebiet 2021
Quelle: atene KOM GmbH 2020/2021

4 Messergebnisse

Verwendung der Ergebnisse

Die Erkenntnisse aus dem Projekt ermöglichen Rückschlüsse über Potenziale und Herausforderungen in der digitalen Daseinsvorsorge Brandenburgs, sodass aktuelle und künftige Digitalisierungsanwendungen in mobilen Netzen wirksam geplant werden können. Damit wird eine Grundlage geschaffen, um mit den Verwaltungen, Telekommunikationsanbietern, Fachverbänden und den Interessenvertretungen von Verbraucher:innen in einen konstruktiven Dialog zu gelangen.

Dazu werden die im Projekt erhobenen Messdaten auch als georeferenzierter Datensatz zur Darstellung im Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) registrierten Nutzenden gemäß ihren Berechtigungen zur Verfügung gestellt. Anhand der aufgenommenen Daten und deren Visualisierung können so unterschiedliche Auswertungen durchgeführt werden, um die Netzabdeckung, Versorgungsgüte und die sogenannten weißen bzw. grauen Flecken im Mobilfunknetz darzustellen und zu bewerten. Anhand weiterer Informationsgrundlagen im BiBB, wie zum Beispiel Einwohnerzahlen, Besiedlungsdichten oder Flächennutzungen, können tiefergehende Handlungsempfehlungen zum weiteren Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur generiert werden.

Durch die parallele Integration der Daten des Breitband-Monitors des Bundes und der Funkloch-App in das BiBB steht so ein umfassendes und eigenständiges Bild der Mobilfunkabdeckung in Brandenburg zur Verfügung, das zukünftig auch 5G stärker in den Fokus nimmt.

Mit der Verknüpfung der Mobilfunkbefahrung und dem BiBB stellt die DigitalAgentur Brandenburg zudem den Landkreisen und Kommunen im Land Brandenburg wie auch den Landesinstitutionen ein innovatives Werkzeug zur Verfügung. Daten werden aus dem Glasfaserausbau, dem Mobilfunkausbau und den durch die DigitalAgentur selbst gemessenen Mobilfunk-Messdaten in Brandenburg zentral im BiBB gebündelt und können effektiv als Unterstützung beim weiteren Ausbau der digitalen Infrastrukturen in Brandenburg eingesetzt werden. Auf Basis valider geplanter Digitalisierungsanwendungen kann daraus für Bürger:innen, die Wirtschaft und Dritte eine Verbesserung der Standortqualität in Brandenburg geschaffen werden.

Um diesen einmaligen Mehrwert auch zukünftig bereitstellen zu können, plant die DABB zudem auf Basis der Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes einen permanenten Service Mobilfunkerfassung bereitzustellen, der ab 2022 berechtigten Dritten zur Verfügung gestellt wird.

Zur Veranschaulichung der Messergebnisse wurden unterschiedliche Kartendarstellungen angefertigt und in das BiBB übertragen. Auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Darstellungen wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen. Die Ergebnisse der Auswertungen werden jeweils anhand von Beispielausschnitten der im BiBB veröffentlichten Karten veranschaulicht.

4.1 LTE-Signalqualität

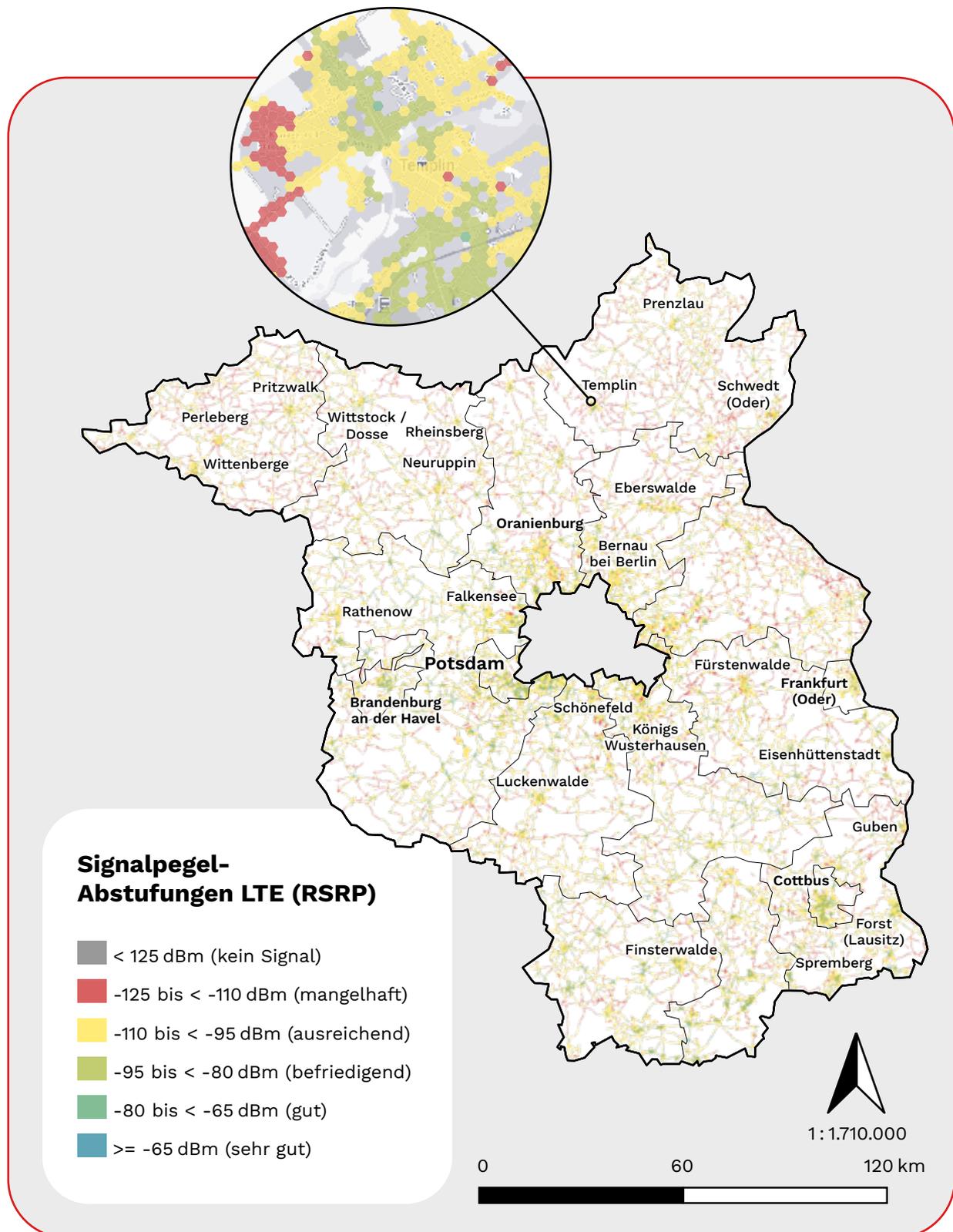


Abbildung 5: LTE-Signalpegelabstufungen im Bereich Templin
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Um die Signalqualität eines Netzes zu bestimmen, werden unterschiedliche Endgeräte für die aktive Messung im System eingesetzt. Aktiv heißt in diesem Fall, dass die Endgeräte selbst mit dem Netz verbunden sind und daher eine Last für das Netz generieren. Die gemessene Signalstärke wird durch die empfangene Referenzsignalleistung (Reference Signal Received Power; RSRP) in Dezibel Milliwatt (dBm) bestimmt. Die ermittelten RSRP-Werte wurden als georeferenzierte Punktdaten in ein Geoinformationssystem (GIS) importiert und mit einem hexagonalen Raster der Kantenlänge 80 Meter verschnitten. Die innerhalb eines Hexagons gemessenen Empfangsleistungen wurden arithmetisch in dBm gemittelt und danach entsprechend der RSRP-Wertebereiche in 6 LTE-Signalpegelabstufungen eingeteilt und farbcodiert. Innerhalb der Hexagone mit einer gemittelten Signalstärke im Bereich von -65 bis -50 dBm ist von einer sehr guten Empfangsqualität auszugehen. Liegt die Signalstärke jedoch unter -125 dBm, ist die Empfangsqualität ungenügend oder es ist kein Empfang mehr möglich (Funkloch). Abbildung 5 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Klassifizierung nach Signalstärken im Bereich der Stadt Templin.

Die Abstufungen sind definiert als „kein Signal“ (kleiner als -125 dBm), „mangelhaft“ (-125 dBm bis < -110 dBm), „ausreichend“ (-110 dBm bis < -95 dBm), „befriedigend“ (-95 dBm bis < -80 dBm), „gut“ (-80 dBm bis < -65 dBm) und „sehr gut“ (größer gleich -65 dBm). Diese Kategorisierung entspricht den gängigen Werten in der Fachliteratur. Diese Abstufungen sollen als Orientierung und Einschätzung der Werte dienen. Generell kann kein direkter Rückschluss auf die Nutzungserfahrung und Datenraten nur aufgrund der Leistung gezogen werden. Abbildung 6 stellt die Signalpegelabstufungen inklusive der Farbcodierung mit einer kurzen Einschätzung dar. Mit technologischen Möglichkeiten

Signalpegelabstufungen	Benennung	Einschätzung
>= -65 dBm	sehr gut	uneingeschränkte Nutzung aller technologischen Möglichkeiten
-80 bis < -65 dBm	gut	gute Empfangsbedingungen, kaum technologische Einschränkungen
-95 bis < -80 dBm	befriedigend	Bedingungen für stabile Verbindung sind gegeben
-110 bis < -95 dBm	ausreichend	seltene Verbindungsverluste, eingeschränkte Datenraten
-125 bis < -110 dBm	mangelhaft	Verbindungsverluste, meist kein Internet
< -125 dBm	kein Signal	sehr selten Verbindung möglich, kein Internet

Abbildung 6: LTE-Signalpegelabstufungen

sind in dem Fall sowohl Technologien gemeint, die vom Mobilfunknetzbetreiber an der entsprechenden Basisstation vorhanden sind, als auch die technische Ausstattung des zum Empfang genutzten Endgeräts. Technische Parameter sind u. a. die Anzahl der Antennen, die Verschaltung der Antennen oder die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Chips in den Geräten. Endgeräte besitzen eine Empfangssensitivität was nur den Empfang eines bestimmten Leistungsbereichs ermöglicht. Dieser Bereich kann je nach Endgerät variieren. In der Regel sind Werte von -120 dBm bis -50 dBm messbar, im Fall der Messfahrten sind die festgestellten Grenzen der Sensitivität -120 dBm bis -44 dBm.

In allen weiteren Darstellungen der RSRP-Werte wurde die Schwelle von -109 dBm durch eine schwarz gepunktete Linie dargestellt. Die Schwelle spiegelt die von der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft des Bundes (MIG)³ sowie der BNetzA angegebenen Schwelle⁴ für ausreichenden Empfang wider.

Messkampagne 2020

Der höchste ermittelte Wert beträgt -51 dBm und wurde in Zülichendorf erreicht, der nächstbeste Wert lag in Schmerberg. Abbildung 7 stellt die kumulative Verteilungsfunktion der RSRP-Werte in den Hexagonen von 2020 dar. Auf der x-Achse sind die ermittelten Messwerte dargestellt. Die y-Achse zeigt die kumulative Wahrscheinlichkeit in Prozent, d. h. wie viel Prozent über oder unter dem jeweiligen Messwert liegen. Die Kurven sind nach den jeweiligen Mobilfunknetzbetreibern farbcodiert: Blau für Telefónica, Magenta für die Telekom, Rot für Vodafone und Schwarz für die kombinierte Darstellung aller Mobilfunknetzbetreiber. Zusätzlich ist der Hintergrund der Darstellung mit den Signalpegelabstufungen farbcodiert. Der Darstellung kann so die Verteilung der Werte, Tendenzen und die prozentuale Anzahl der Werte in den Signalpegelabstufungen entnommen werden. Generell gilt, je weiter links eine Kurve verläuft, desto schlechter ist die Empfangsleistung und je steiler sie ist, desto weniger schwanken die Werte.

Für die Hexagone von 2020 (siehe Abbildung 7) gilt, dass die kombinierte Kurve für den linken Bereich eher der Telekom-Kurve entspricht und sich dann der Vodafone-Kurve annähert. Die Telefónica-Kurve befindet sich zwischen der Vodafone- und der Telekom-Kurve. Generell kann festgestellt werden, dass für ganz Brandenburg etwa 25 % der Messwerte keine ausreichende Versorgung erreichen, d. h. 25 % der Werte sind

3 Förderrichtlinie des BMDV: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/mobilfunkfoerder-richtlinie.html>

4 Mobilfunk-Monitoring Parametervorgabe: https://download.breitband-monitor.de/202201_Parametervorgabe.pdf

kumulative Verteilungsfunktion für die RSRP 2020

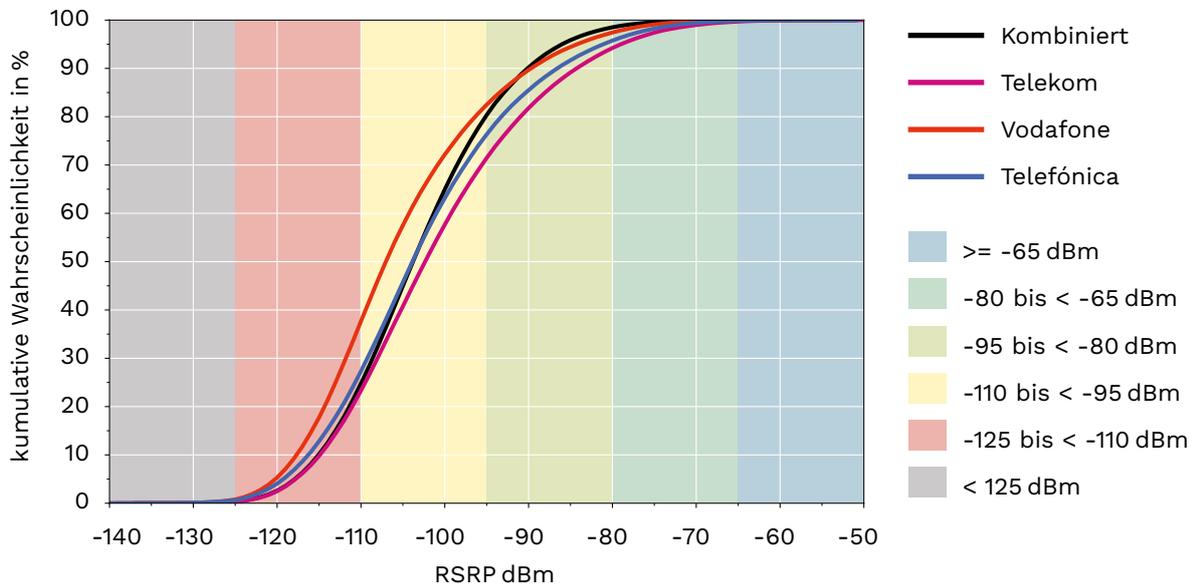


Abbildung 7: kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2020

kleiner als -110 dBm . Umgekehrt gilt, dass 75 % der Messwerte wenigstens die Qualität „ausreichend“ erreichen, etwa 2 % der Werte wenigstens „gut“. Zusätzlich ist zu erkennen, dass nur ein sehr geringer Anteil der Messwerte mit „kein Signal“ klassifiziert wird. Für alle Mobilfunknetzbetreiber sind das 0,22 %, für Telekom 0,24 %, für Vodafone 0,56 % und für Telefónica 0,44 %.

Messkampagne 2021

Die Messkampagne 2021 enthielt die mit der DABB zuvor ausgewählten Orte (siehe Kapitel 3) und wurde nicht flächendeckend für ganz Brandenburg wiederholt. Das Hexagon mit der höchsten Signalqualität von -64 dBm wurde in Michendorf festgestellt. In Abbildung 8 ist die Auswertung analog der Abbildung 7 für die Messungen aus den Befahrungen von 2021 dargestellt. Die Verteilung der Messwerte von Telefónica entspricht ab etwa -100 dBm in etwa der von der Telekom. Besonders heraus sticht, dass etwas unter 0,4 % der Messwerte der Kategorie „kein Signal“ angehören (1,14 % Telekom, 1,58 % Vodafone, 1,06 % Telefónica). 25 Prozent der Werte sind unter der Schwelle zu der Klasse „ausreichend“. Umgekehrt gilt, dass 75 % der Messungen wenigstens die Leistungsklasse „ausreichend“ erreichen, 3 % wenigstens die Qualität „gut“.

kumulative Verteilungsfunktion für die RSRP 2021

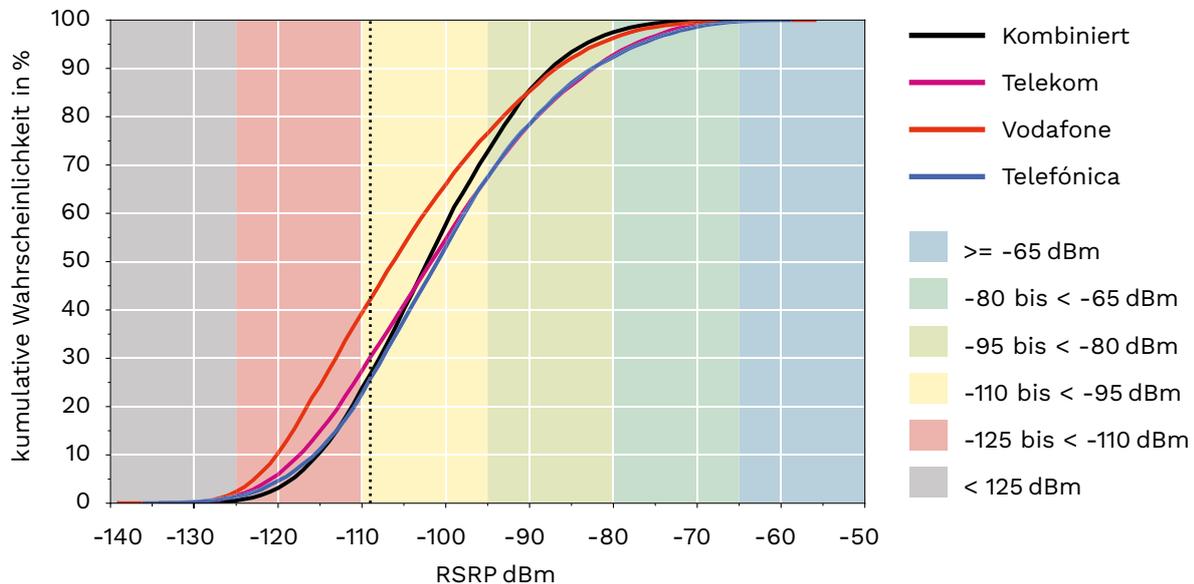


Abbildung 8: kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2021

Vergleich 2020/2021: Komplette Befahrungsgebiete

Im direkten Vergleich der beiden unterschiedlichen Befahrungsgebiete fällt auf, dass alle Kurven von 2020 zu 2021 in der Tendenz etwas nach links gerutscht sind. Die Telekom und Telefónica haben ihre Reihenfolge in den Darstellungen getauscht. Es wurde im Schnitt eine leicht abgenommene Signalleistung festgestellt. Zudem wurde etwas häufiger die Signalpegelstufe „kein Signal“ detektiert. Prinzipiell können Unterschiede in den Steigungen der Kurven festgestellt werden, was eine unterschiedliche Verteilung der Werte nahelegt.

Die Signalpegelstufe pro Mobilfunknetzbetreiber ist in Abbildung 9 zusammengefasst. Hierzu werden Balkendiagramme genutzt, die die prozentualen Anteile der 6 Signalpegelabstufungen darstellen. Auf der x-Achse sind die Mobilfunknetzbetreiber dargestellt sowie die gesamten Messwerte in „Kombiniert“. Die y-Achse stellt die Prozente der Messwerte dar, die jeweils pro Signalpegelabstufung aufgenommen wurden. Das linke Balkendiagramm stellt die Messwerte der Befahrung aus 2020 dar, das rechte Diagramm die Messwerte für 2021.

RSRP-Klassen unterteilt nach MNB

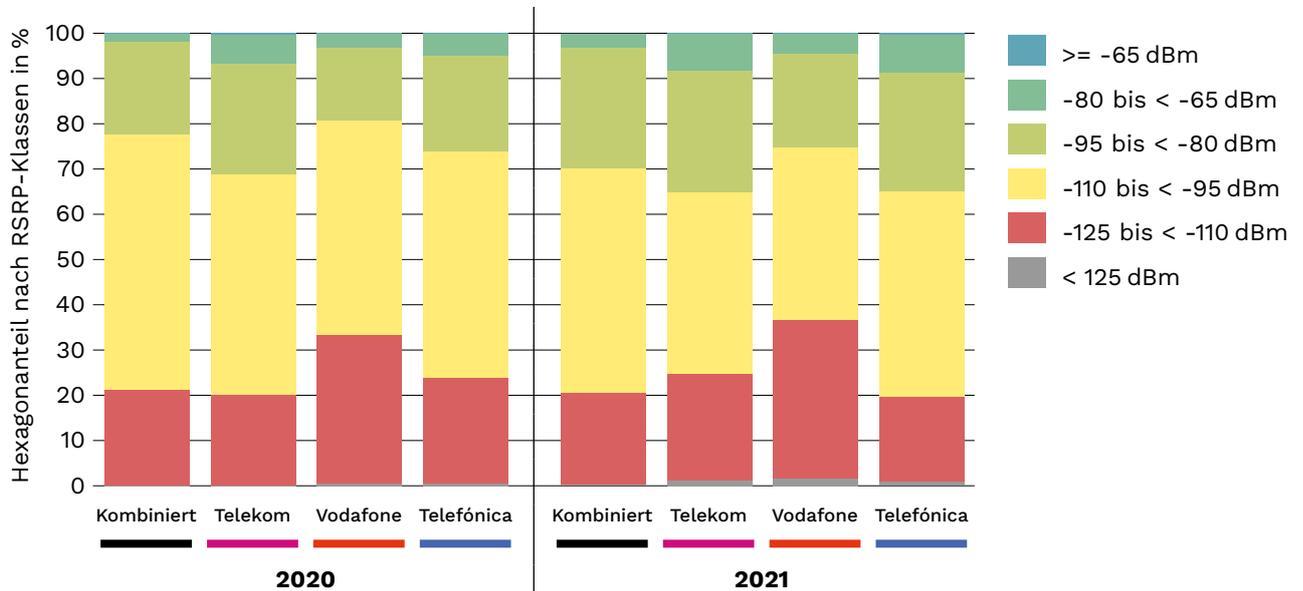


Abbildung 9: Signalpegelabstufungen der kompletten Befahrungsgebiete (aufgeschlüsselt nach MNB)

Bereits aufgezeigte Zusammenhänge aus den Verteilungsdarstellungen in Abbildung 7 und Abbildung 8 können dort wiedergefunden werden. Es ist gut erkennbar, dass für die gesamte Messkampagne die Klasse mit „kein Signal“ in 2021 im Vergleich zu 2020 prozentual leicht zugenommen hat. Für 2020 ist „kein Signal“ in Abbildung 9 kaum zu erkennen. „Mangelhafte“ Signalqualität ist im Schnitt zwischen 2020 und 2021 etwa gleichgeblieben. Zudem sind die Klassen „ausreichend“ kleiner und „befriedigend“ größer geworden. Die Klassen „gut“ und „sehr gut“ sind in etwa vergleichbar geblieben.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass in 2021 Referenzmessungen an ausgewählten Orten vorgenommen wurden. Es handelt sich somit nicht um einen vollständigen Flächenvergleich. Aufgrund der unterschiedlichen Größe sind beide Erhebungsgebiete daher nur bedingt vergleichbar. Insofern kann hieraus keine grundsätzliche Aussage für das Land Brandenburg abgeleitet werden.

Die Abweichungen können durch verschiedene Umwelteinflüsse und unterschiedliche Quantität der Befahrungsgebiete erklärt werden.

Vergleich 2020/2021: Identische Befahrungsgebiete

kumulative Verteilungsfunktion für die RSRP 2020

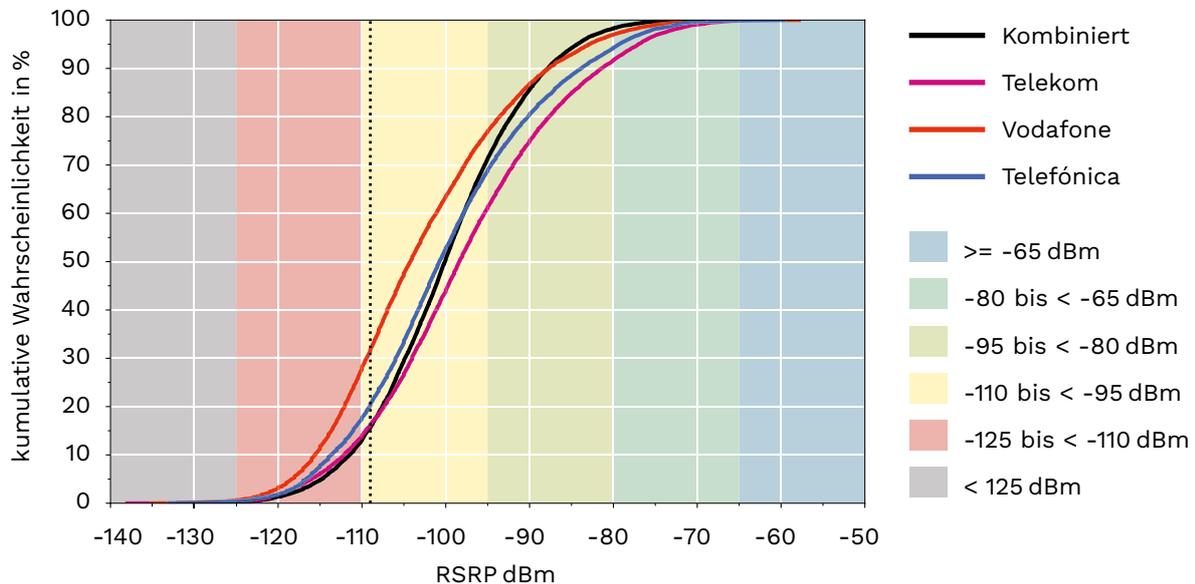


Abbildung 10: kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2020 (identisches Befahrungsgebiet wie 2021)

RSRP-Klassen unterteilt nach MNB (Identisches Befahrungsgebiet)

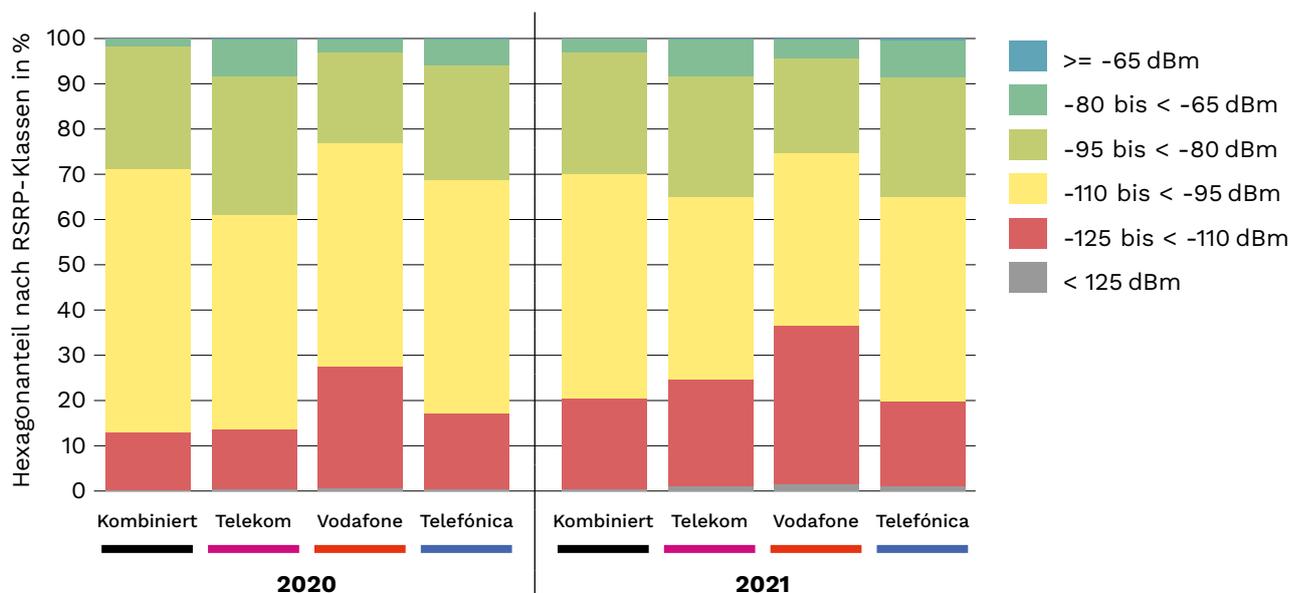


Abbildung 11: Signalpegelabstufungen der überschneidenden Befahrungsgebiete (aufgeschlüsselt nach MNB)

Abbildung 10 zeigt die kumulative Verteilungsfunktion für die Befahrungswerte von 2020, die in den gleichen Hexagonen liegen wie die Befahrungen 2021. Es handelt sich somit um identische Erhebungsgebiete. Dabei ist zu erkennen, dass sich die Verteilungen leicht verändert haben. Abbildung 11 stellt einen Vergleich der RSRP-Klassen mit Balkendiagrammen dar. Prinzipiell ist bei allen Mobilfunknetzbetreiberkombinationen eine Verkleinerung der „ausreichend“ und Vergrößerung der „befriedigend“ Klasse von 2020 zu 2021 zu erkennen, was schlussfolgern lässt, dass die meisten Messpunkte eine Verbesserung der Mobilfunkabdeckung aufweisen. Die anderen Signalpegelabstufungen blieben in etwa gleich. Das Ergebnis „kein Signal“ wurde 2021 häufiger festgestellt als 2020, was entweder auf technologische Verschlechterung durch Ausfälle zuvor bestehender Sendemasten zurückführbar oder aufgrund von Witterungsschwankungen erklärbar ist. Weitere Erläuterungen sind in Kapitel 5.2 zu finden. Wie einleitend in diesem Kapitel erwähnt, müssen die leicht niedrigeren Signalpegel keinen direkten Einfluss auf die Nutzerfahrung des Mobilfunknetzes haben.

4.2 Mobilfunktechnologie

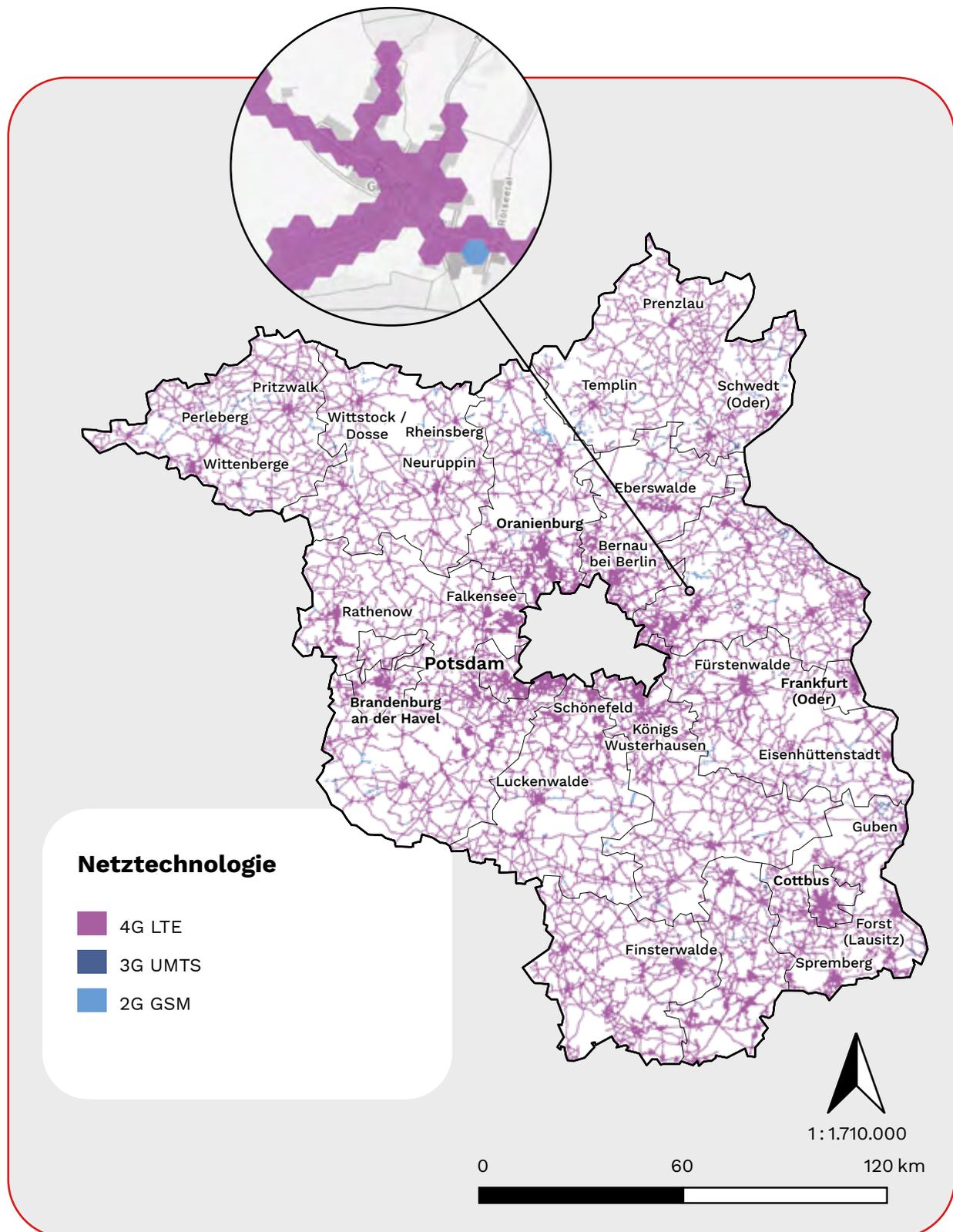


Abbildung 12: Mobilfunktechnologieklassen im Bereich Gielsdorf
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Zusätzlich zur Signalqualität wurde die verfügbare Mobilfunktechnologie während der Messungen dokumentiert. Wie bereits unter Methodik beschrieben, wurden auch hier die Messpunkte georeferenziert und hexagonal gerastert. In diesem Fall wird der Technologiestandard für das Hexagon angenommen der innerhalb des Hexagons am höchsten verfügbar war.

Während der Messfahrten wurden die Mobilfunkstandards 2G GSM, 3G UMTS, 4G LTE und 5G NR NSA technisch festgestellt. 2G GSM ist der Mobilfunkstandard zweiter Generation und die Rückfallebene, sollten neuere Mobilfunkstandards nicht verfügbar sein. So ist GSM beispielsweise noch relevant, um einen Notruf abzusenden. Die dritte Generation des Mobilfunks, 3G UMTS, wird durch 4G LTE, dem Mobilfunkstandard vierter Generation, aktuell ersetzt. Zukünftig wird NR als fünfte Generation des Mobilfunks eingesetzt, zum Zeitpunkt der ersten Messungen wurde 5G nicht im Messgebiet festgestellt, bei der 2021 Befahrung konnte 5G NSA ermittelt werden (siehe auch Kapitel 4.5). Abbildung 12 zeigt exemplarisch die hexagonale Einteilung der ermittelten Mobilfunktechnologien mit 80 m Kantenlänge im Bereich Gielsdorf. Die Farbcodierung der einzelnen Mobilfunkstandards entspricht zur besseren Vergleichbarkeit der Mobilfunk-Monitoring-Karte der BNetzA.

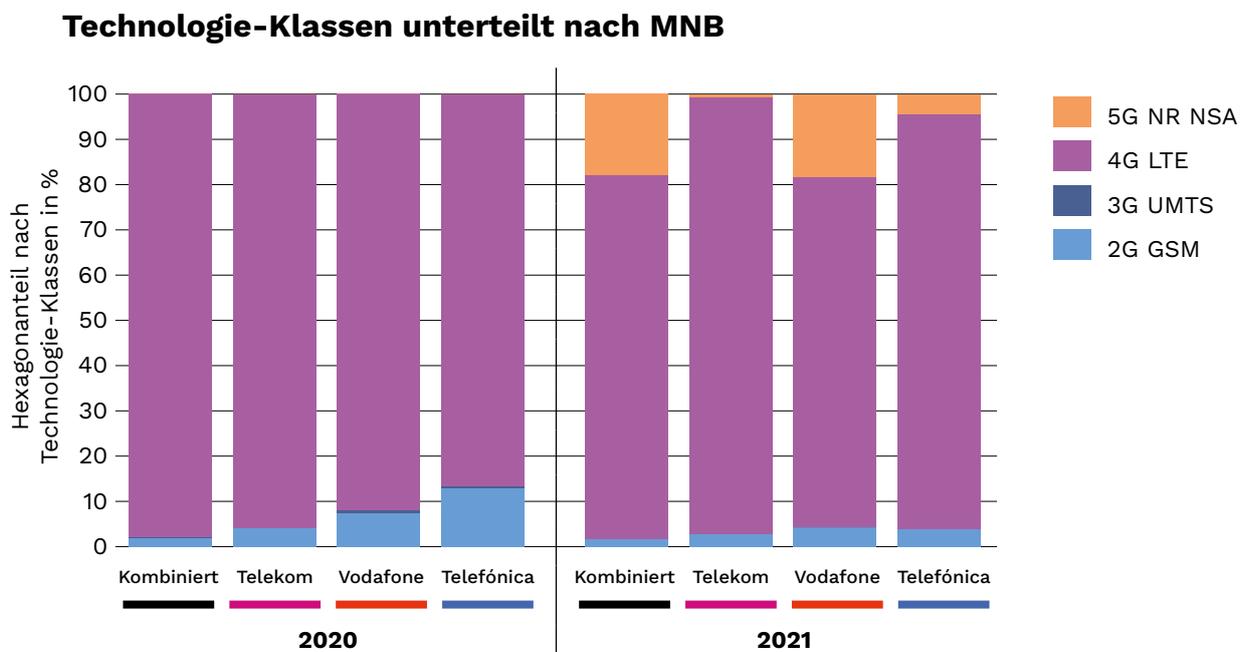


Abbildung 13: Technologie-Klassenanteile der Hexagone (2020 und 2021)

In Abbildung 13 ist die Darstellung der Technologien in zwei Balkendiagrammen im gleichen Befahrungsgebiet zu sehen. Die ermittelten Technologiewerte aus der Befahrung im Jahr 2020 sind im linken Diagramm dargestellt. Im rechten Diagramm sind die entsprechenden Werte für das Jahr 2021 dargestellt. Sollte in einem der Hexagone aus der Befahrung 2020 und/oder 2021 keine Mobilfunktechnologie ermittelbar sein, werden diese Hexagone in Abbildung 13 vernachlässigt. Für die Auswertung wurden ausschließlich Hexagone betrachtet, in denen die Signalleistung eine Nutzung des Mobilfunknetzes ermöglichte (mindesten -125 dBm). Auf der x-Achse beider Diagramme ist eine Aufschlüsselung nach Mobilfunknetzbetreiber zu sehen. Die Balkendiagramme zeigen farbcodiert die ermittelten Technologie-Klassen, welche neben der Abbildung aufgeschlüsselt werden. Es ist zu erkennen, dass 2020 noch kein 5G NR NSA gemessen wurde, 2021 jedoch schon: besonders deutlich bei Vodafone. Der Anteil an 4G LTE ist von 2020 bis 2021 insgesamt abgefallen, die Rückfallebene 2G GSM ist seltener gemessen worden. 2020 wurde vereinzelt (und deshalb kaum sichtbar in der Abbildung) 3G UMTS festgestellt, 2021 ist diese Technologieklasse nicht mehr ermittelt worden. Die ermittelten 5G-NR-NSA-Signale weisen in Bezug auf die jeweiligen MNB Differenzen auf. Dies kann neben unterschiedlichen Ausbauständen der Mobilfunknetze auch durch providerseitige Optimierung der Last des Netzes und besondere Anforderungen an die Datendurchsätze, welche mit der 5G-NR-NSA-Versorgung in Zusammenhang stehen, erklärt werden.

4.3 Frequenzen

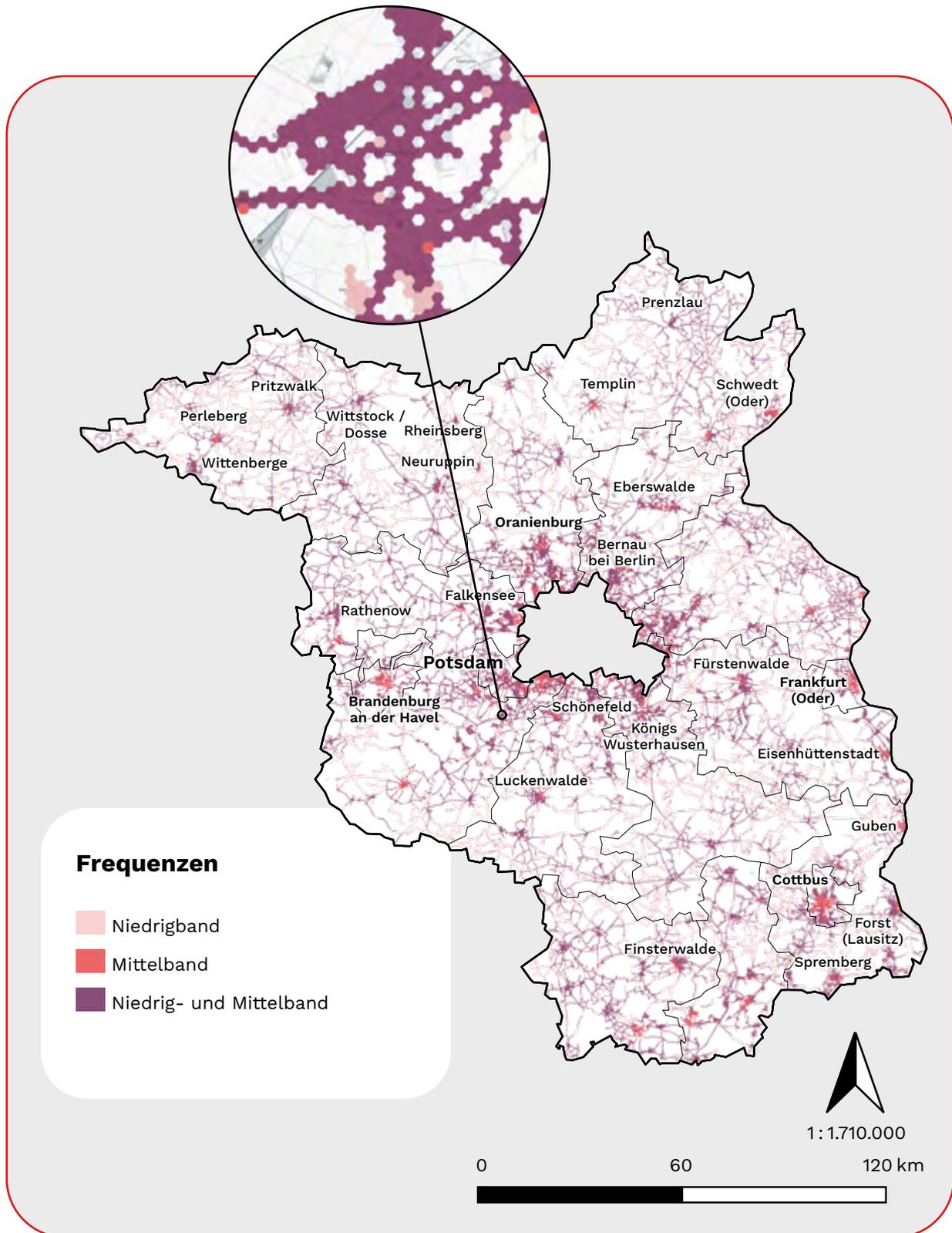


Abbildung 14: Frequenzbandklassen im Bereich Michendorf
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Im Mobilfunknetz werden, wie auch in anderen Funknetzen, verschiedene Frequenzbänder betrieben. Ein Frequenzband wird durch eine Bandbreite und Trägerfrequenz definiert. Je nachdem, welche Trägerfrequenz für die Übertragung genutzt wird, sind die physikalischen Eigenschaften des Kanals anders. Generell gilt, je höher die Trägerfrequenz, desto niedriger die Durchdringung und Reichweite (siehe Abbildung 15), allerdings steigt die verfügbare Bandbreite und damit die erreichbaren Datenraten. Bei der Evaluation wird zwischen Niedrigband (Trägerfrequenzen bis 1 GHz) und Mittelband (Trägerfrequenzen zwischen 1 GHz und 3,6 GHz) unterschieden. Das Millimeterband (Trägerfrequenzen zwischen 24,25 GHz und 27,5 GHz) ist zu den Erhebungszeitpunkten in den Messregionen nicht gemessen worden, auch war die Verfügbarkeit kompatibler Endgeräte in den Zeitkorridoren der Messungen sehr eingeschränkt oder nicht gegeben. Weitere Informationen sind im Kapitel 4.5 „5G-Versorgung“ zu finden.

Für die Auswertung wurden die Frequenz-Messwerte mit einem hexagonalen Raster der Kantenlänge 80 Meter verschnitten. Die Farbcodierung der einzelnen Bandklassen kann Abbildung 14 entnommen werden. In der Beispielkarte wurden die ermittelten Frequenzbandklassen hexagonal im Bereich der Stadt Michendorf als Kartenausschnitt dargestellt.

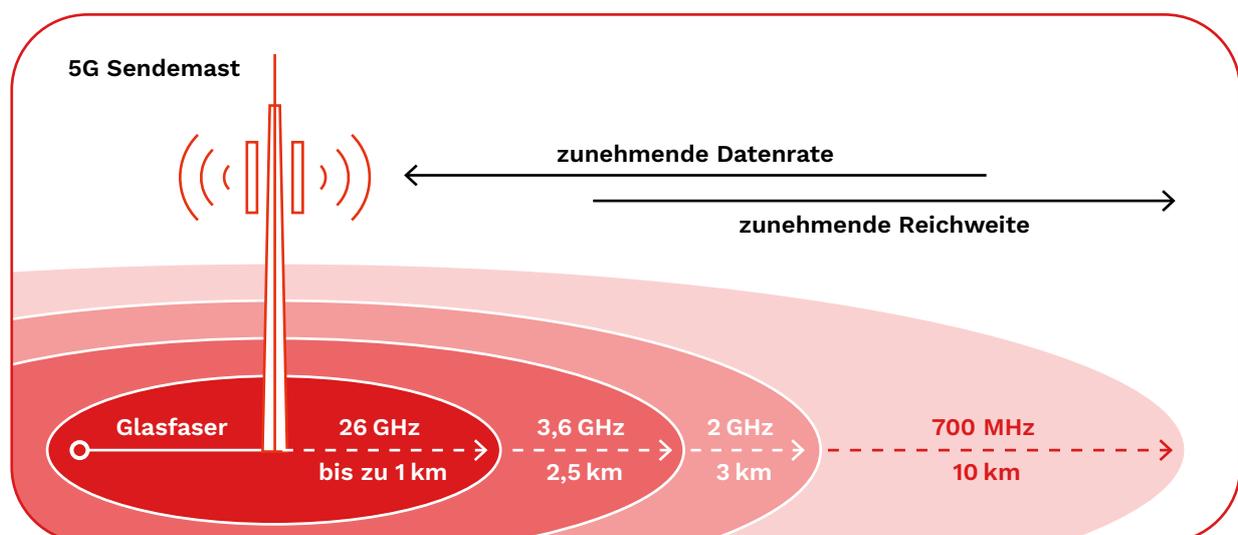


Abbildung 15: Darstellung Zusammenhang Reichweite, Datenrate und Frequenz
Quelle: atene KOM GmbH 2020

Der Frequenzplan für Deutschland wird von der BNetzA zur Verfügung gestellt. In den verschiedenen Frequenzbereichen haben die Mobilfunknetzbetreiber Betriebsbänder, die für die Mobilfunkübertragung genutzt werden können. Prinzipiell stehen jedem Mobilfunknetzbetreiber mehrere Frequenzen zu. Auf eine Aufschlüsselung der einzelnen Bänder wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Stattdessen fokussiert sich die Auswertung auf die oben verdeutlichte Einteilung in Niedrig- und Mittelband sowie deren kombiniertes Auftreten.

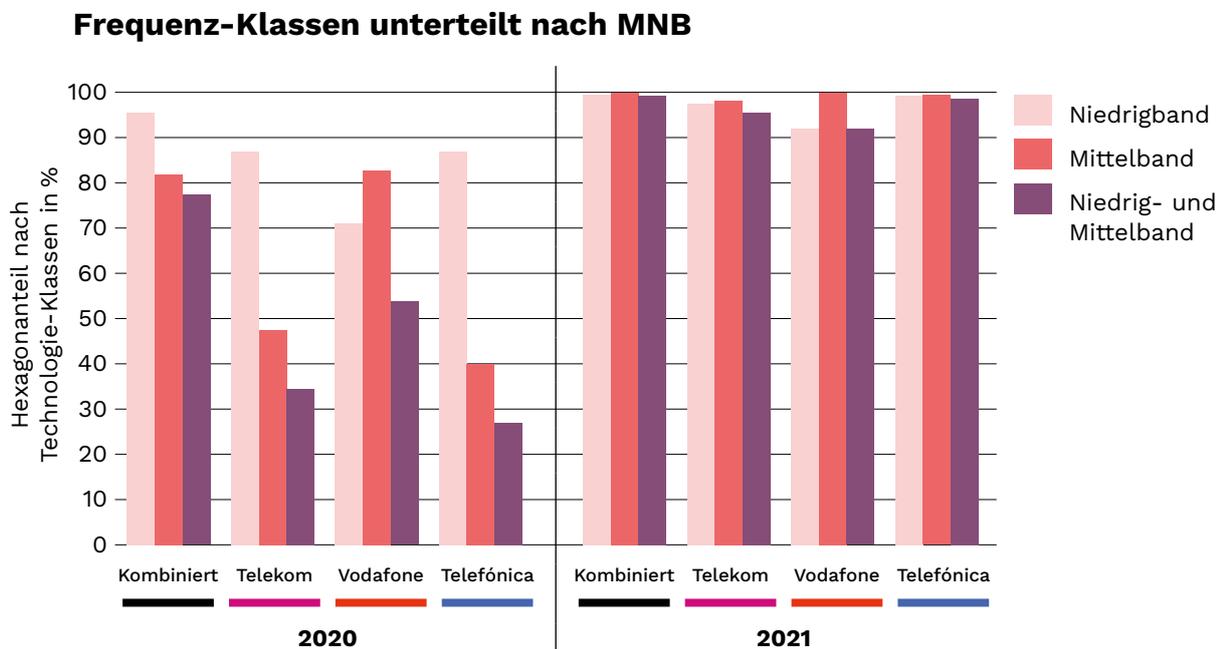


Abbildung 16: Frequenz-Klassenanteile der Hexagone (2020 und 2021)

In Abbildung 16 sind die Frequenz-Klassen nach Mobilfunknetzbetreiber dargestellt. Die Farbcodierung wurde an Abbildung 14 angelehnt. Wieder wurden Hexagone vernachlässigt, in denen 2020 und/oder 2021 keine Werte ermittelt werden konnten. Auch sind Hexagone mit der Signalpegelabstufung „kein Signal“ von der Betrachtung ausgeschlossen. Das linke Diagramm zeigt die Daten für 2020, im rechten Diagramm sind die Daten für 2021 dargestellt. Verglichen werden wieder Hexagone aus dem gemeinsamen Befahrungsgebiet. 100 % entspricht auf der y-Achse der Graphen immer der kombinierten Abdeckung von Niedrig- und Mittelband für LTE, d. h. wo wenigstens eines der beiden Bänder in einem Hexagon ermittelt wurde. Es ist festzustellen, dass die Verteilungen von 2020 verglichen mit 2021 homogener ausfallen. Diese Änderung kann durch den fortschreitenden Netzausbau erklärt werden.

4.4 Spezialmessungen an Einzelstandorten

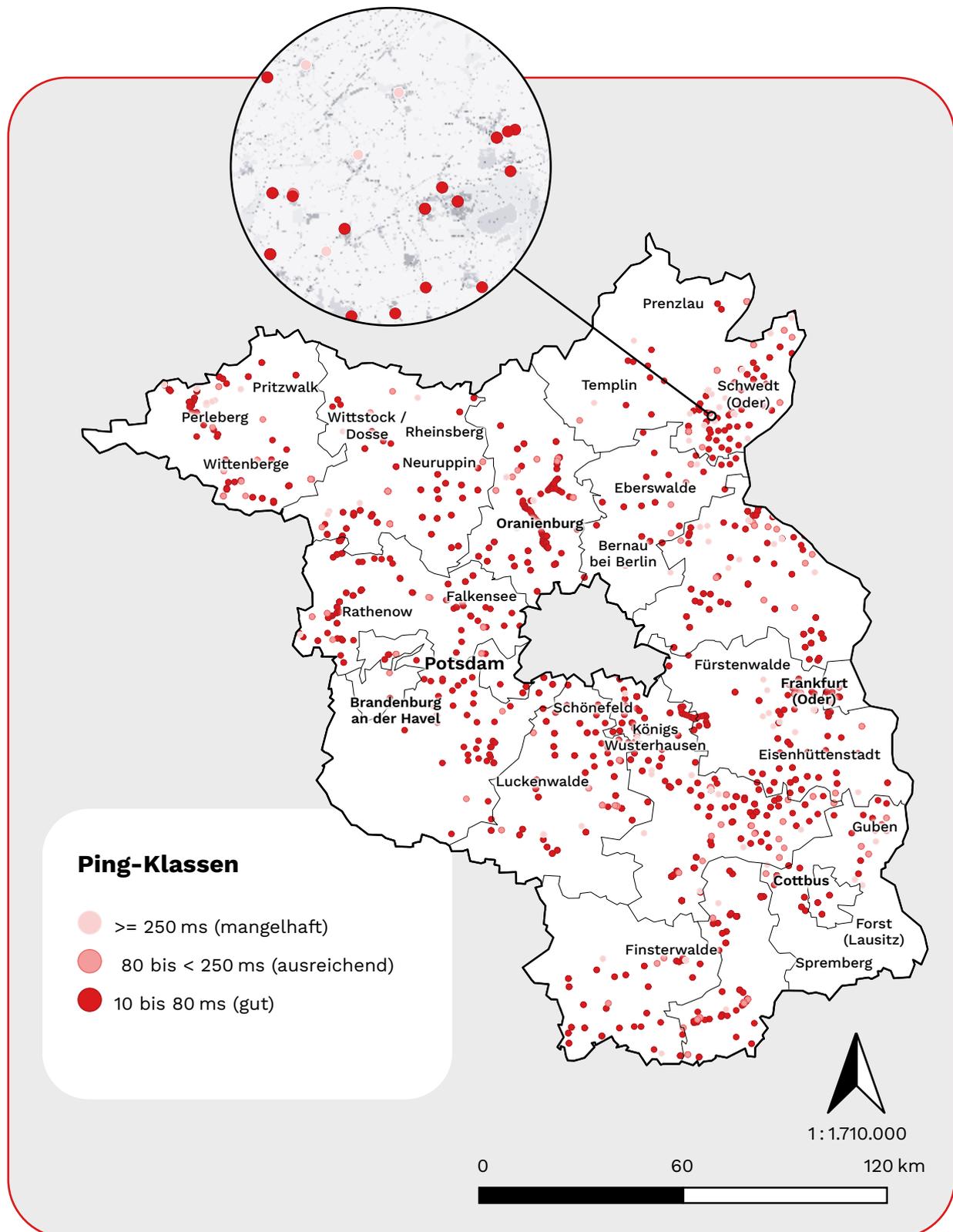


Abbildung 17: Regionale Verteilung der Ping-Zeiten im Bereich Schwedt
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Im Rahmen der Spezialmessungen wurden in 2020 bei über 3.000 Einzelmessungen an über 1.110 Messpunkten zwei weitere Parameter erhoben, die den Netzdurchsatz als die von Mobilfunknutzer:innen wahrgenommene Nutzqualität charakterisieren. Hierbei handelt es sich um Downlink-Datenraten und Ping-Zeiten.

Downlink-Datenraten werden durch Paketfehler und -verluste direkt beeinflusst und Schwankungen machen sich, je nach Nutzerverhalten, stark oder wenig bemerkbar. Die Fehler- und Verlustrate hängt von der Signalqualität und Interferenz ab. Von einem Fehler wird gesprochen, wenn das ursprünglich gesendete Paket bei der Übertragung zu stark modifiziert wird, sodass eine Rekonstruktion nicht möglich ist. Bei einem Verlust kommt das gesendete Paket nicht bei der bestimmten Quelle an und muss erneut verschickt werden. In der heutigen Zeit sind Services wie Video-on-Demand (VoD, z. B. Netflix und YouTube), Musikstreaming (z. B. Spotify) und Livestreams (z. B. Kamera einer Drohne) weit bei den Nutzer:innen verbreitet. Diese Services spiegeln direkt die erfahrene Qualität der Verbindung wider. Generell werden in diesem Dokument mehrere Synonyme für die Downlink-Datenrate genutzt, wie Download-Geschwindigkeit, -Rate, Datendurchsatz und Downstream.

Bei der Messung des Pings wird die Zeit gemessen, die ein Datenpaket von einem Endgerät zu einem bestimmten Server und zurück benötigt. Je nachdem, wie viele Server zwischen Start und Ziel liegen und wie lange sie jeweils für die Weiterleitung des Pakets brauchen, variiert der Ping.

Zur Bestimmung dieses Parametersets werden, verglichen zur Messung der Mitten-trägerfrequenzen und Dämpfungswerte, längere Messzeiten benötigt. Für die Ermittlung der Datenraten ist der Up- und Download von Datenpaketen nötig. Die Messungen greifen aktiv in das Netz ein. Wie in Kapitel 3 beschrieben, betrug die Standzeiten der Fahrzeuge pro Messauftrag 10–15 Minuten.

Die Messpunkte wurden nach den Vorgaben des Vorhabens zur Erfassung der Mobilfunkabdeckung so ausgewählt, dass insbesondere Gebiete mit einem besonderen Anspruch auf eine breitbandige und stabile mobile Datenverbindung abgebildet werden. Zu diesen Gebieten zählen Industrie- und Gewerbegebiete, Gebiete in der Nähe von Bildungseinrichtungen sowie für den Tourismus relevante Gebiete. Zusätzliche Messpunkte wurden in Ortskernen angelegt, vornehmlich wenn keine relevanten Gewerbe- und Industriegebiete in der Nähe vorhanden waren. Ziel war es dabei, größere Lücken im Messraster zu vermeiden.

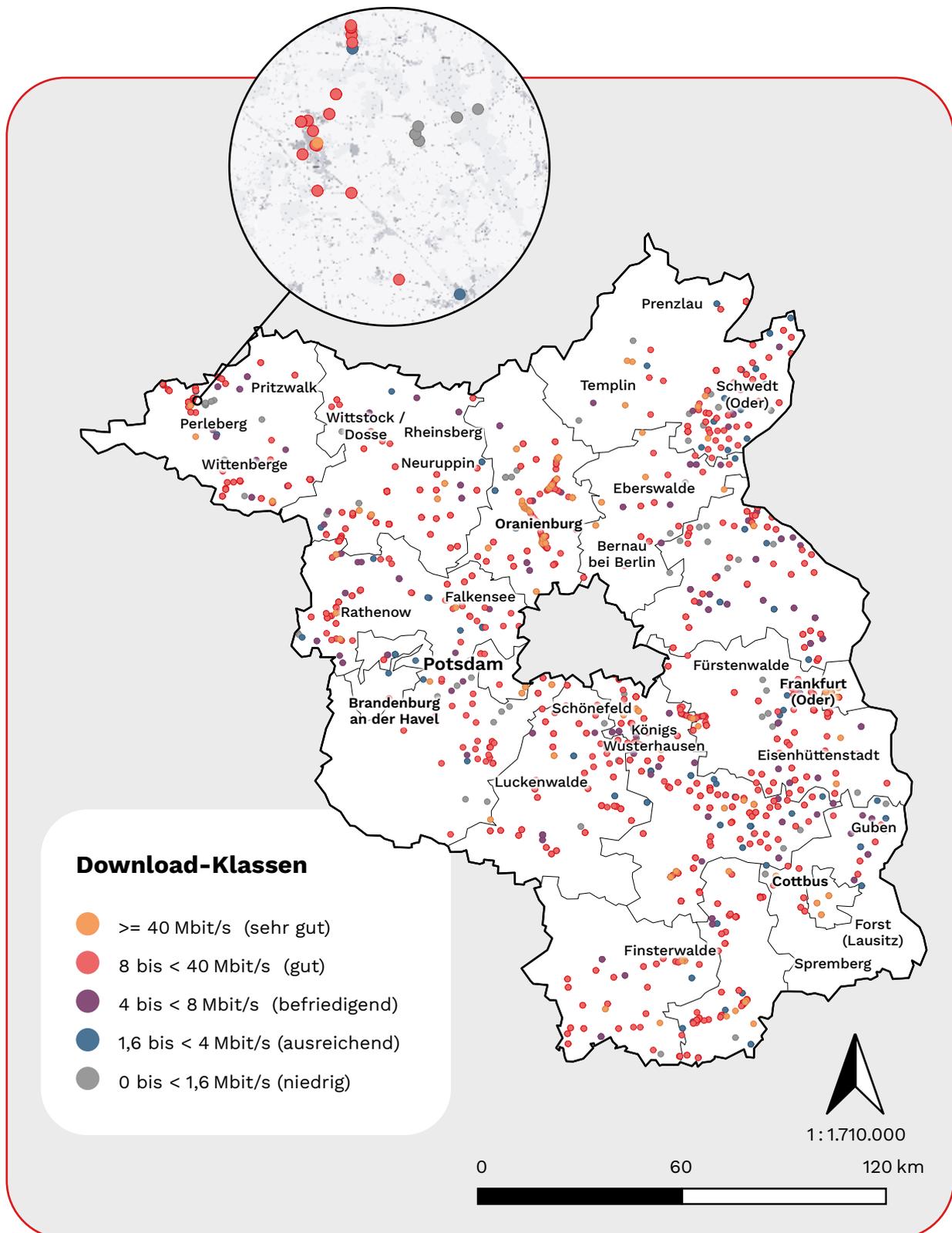


Abbildung 18: Regionale Verteilung der Download-Raten im Bereich Karstädt
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Die Messstandorte in Brandenburg, an denen im Jahr 2020 Spezialmessungen durchgeführt wurden, sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt. Die Abbildungen zeigen die farbcodierten regionalen Verteilungen der Ping-Zeiten und der Download-Raten (Datendurchsatz). Allgemein sind sowohl die ermittelten Datenraten als auch Ping-Zeiten zu etwa 90 % in guten Bereichen.

Im Folgenden werden die einzelnen Parameter statistisch ausgewertet, um Aussagen über die Qualität der Messungen sowie der Verfügbarkeit und des Ist-Zustandes des Mobilfunknetzes zu machen.

kumulative Verteilungsfunktion für den Ping

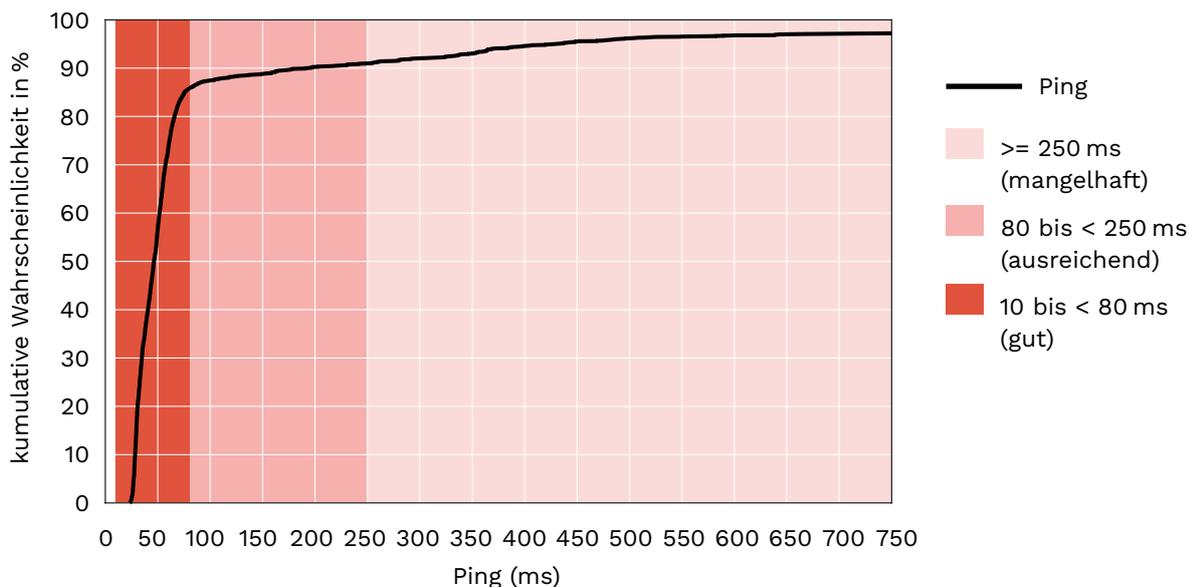


Abbildung 19: kumulative Verteilungsfunktion des Pings

Für die Messungen des Pings und der Downloadrate wurde immer der gleiche Server angesprochen, um eine Vergleichbarkeit zu sichern. Um die statistische Verteilung der Ping-Zeiten auszuwerten, wird in Abbildung 19 eine kumulative Verteilungsfunktion dargestellt. Für den Ping gilt: je geringer die Zeit des Pings, desto besser ist die Verbindung, das Routing der Verbindung und die Qualität des Routings. Beim Routing handelt es sich um den Weg, den ein Datenpaket durch das Netz nimmt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in Abbildung 19 nur Messwerte bis 750 ms dargestellt, Funklöcher haben deutlich höhere Werte bis zu 9 s oder einen Messabbruch aufgrund

fehlender Verbindungen zur Folge. Die geringste gemessene Ping-Zeit betrug 23 ms. Typische Ping-Werte für LTE liegen laut Anforderungen an 4G zwischen 10 bis 80 ms, sodass ein guter Ping vorliegt. Der Bereich bis 250 ms wird ausreichend benannt, da hier noch Services gut nutzbar sind. Ab 250 ms gilt der Ping als hoch, da ab hier Einschränkungen bei der Nutzung mobiler Dienste bemerkbar sind.

Downloadgeschwindigkeit im Verhältnis zu Ping

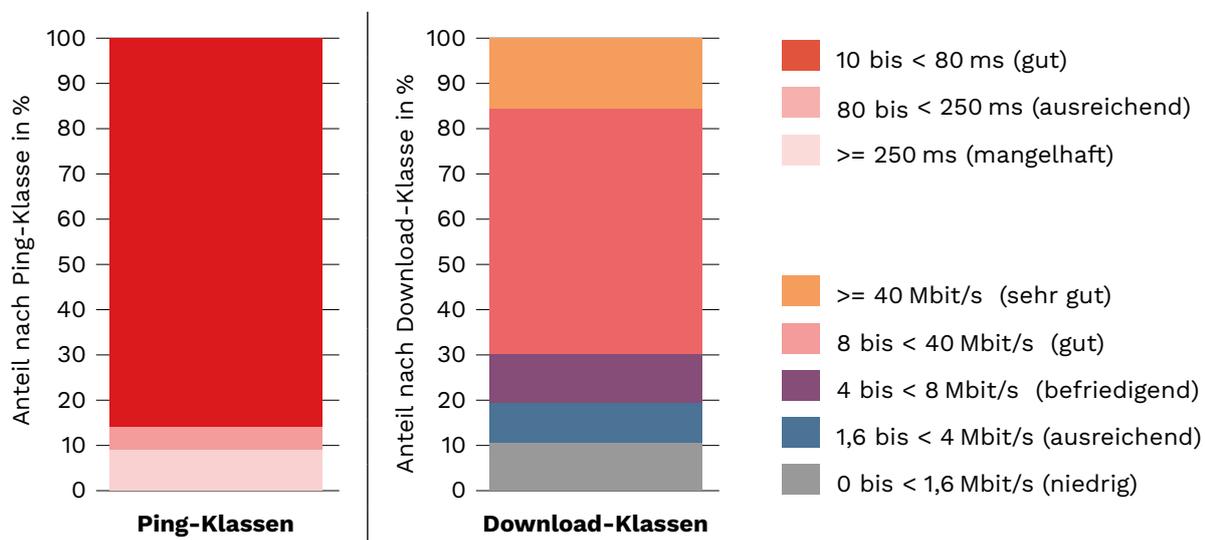


Abbildung 20: Darstellung Ping und Download-Rate

Abbildung 20 zeigt die prozentuale Verteilung als Balkendiagramm, links für den Ping, rechts für die Download-Geschwindigkeit. Der linken Darstellung ist zu entnehmen, dass etwa 85 % der Werte in dem für LTE typischen Bereich liegen. Überdies liegen 90 % der Werte unter einem Ping von 250 ms. Weniger als 10 % der Pings haben zu hohe Werte für die meisten Anwendungen oder stehen mit einem Abbruch der Verbindung im Zusammenhang.

Wie auch für RSRP und Ping, wird die kumulative Verteilungsfunktion für die Auswertung der Download-Raten genutzt. In Abbildung 21 wurde der Hintergrund entsprechend der verschiedenen Qualitätsbereiche farbcodiert. Mit steigender Download-Geschwindigkeit sind mehr Nutzungsanwendungen möglich. Die meisten VoD-Dienste benötigen je nach Videoqualität 1 bis 15 Mbit/s im Downstream. Die Qualitätsbereiche sind wie folgt eingeteilt: Eine niedrige Rate gilt für Werte < 1,6 Mbit/s. Ausreichende Download-Raten,

kumulative Verteilungsfunktion für den Download

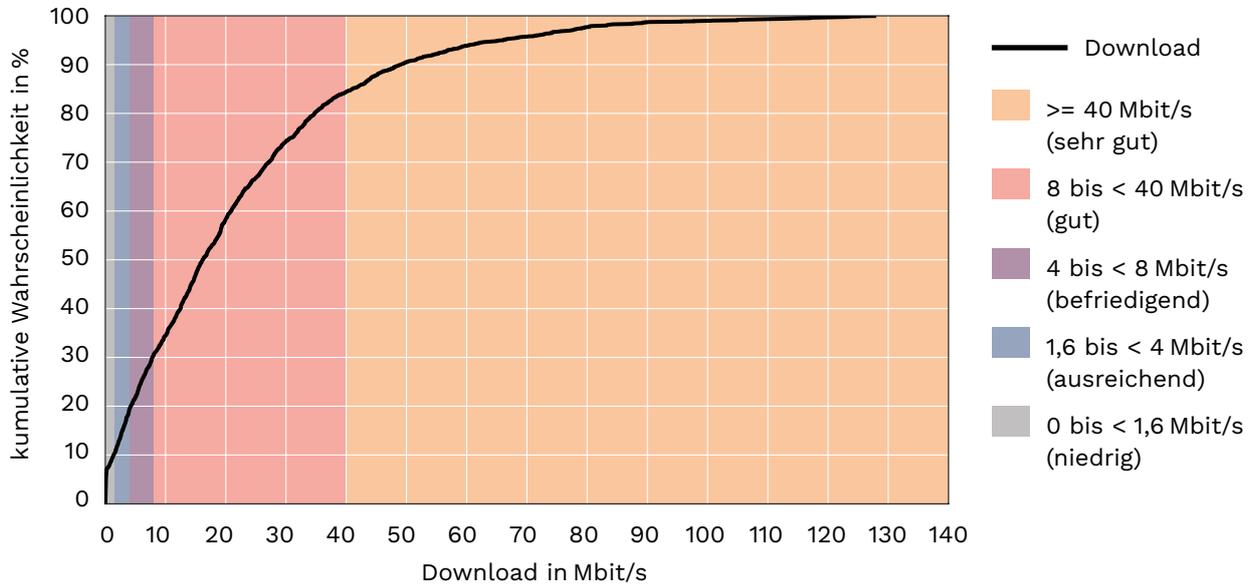


Abbildung 21: kumulative Verteilungsfunktion der Download-Rate

kumulative Verteilungsfunktion für den Download (niedrig)

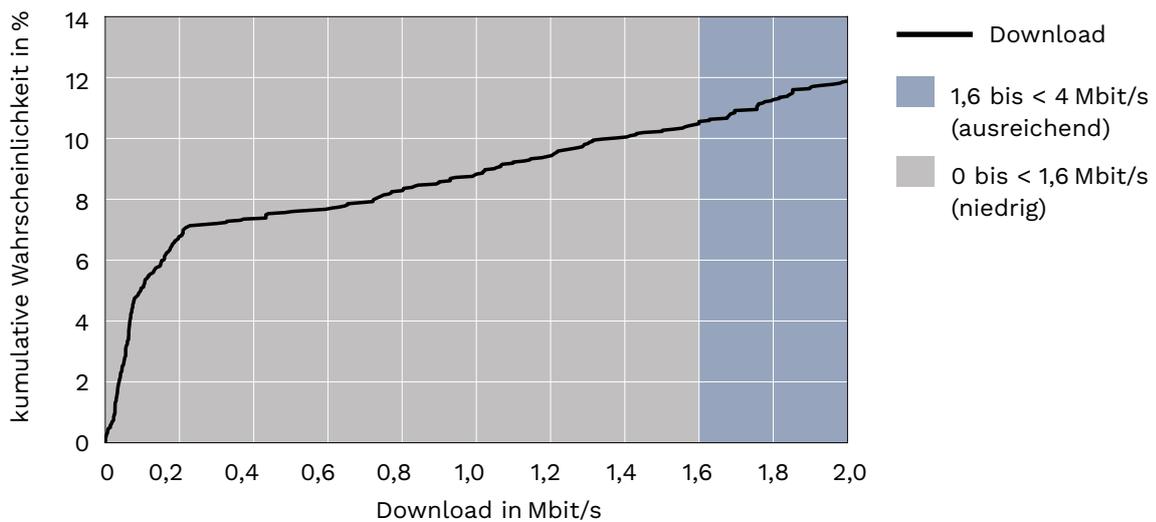


Abbildung 22: kumulative Verteilungsfunktion der Download-Rate für 0 bis 2 Mbit/s

welche die Nutzung der meisten Internetdienste, wie Video- und Musik-Streaming, in niedriger Qualität ermöglichen, gelten zwischen Raten von 1,6 Mbit/s bis < 4 Mbit/s. Der Bereich mit befriedigender Geschwindigkeit, in welchem VoD-Dienste in mittlerer Qualität gewährleistet sind, liegt zwischen 4 bis < 8 Mbit/s. Von einem Bereich mit gutem Datendurchsatz wird aktuell ab 8 bis < 40 Mbit/s gesprochen. Hier sind fast uneingeschränkt VoD-Dienste in hoher Qualität verfügbar. Wenn die Werte 40 Mbit/s überschreiten, gilt eine sehr gute Geschwindigkeit. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die kumulative Verteilungsfunktion der Download-Ratenbereich zwischen 0 Mbit/s und 2 Mbit/s in einer vergrößerten Ansicht in Abbildung 22 dargestellt. 2 Mbit/s ist ein Schwellwert, der von der Parametervorgabe der BNetzA und den Förderrichtlinien vorgegeben wird, ab dem die LTE-Versorgung garantiert ist. Abbildung 22 ist zu entnehmen, dass etwa 12 % der Werte unter dieser Schwelle liegen. Etwa 7 % der Raten in der Kategorie „niedrig“ liegen unter 0,2 Mbit/s. Insgesamt wurden für etwa 10,5 % der Raten die Kategorie „niedrig“ ermittelt. Umgekehrt heißt das, für 89,5 % der Download-Raten könnten VoD-Dienste genutzt werden. Aufgrund des unterschiedlichen Verhaltens von Nutzer:innen im Mobilfunknetz können auch niedrigere Datenraten durchaus für andere Anwendungen ausreichen. Eine Datenrate der Kategorie „gut“ oder „sehr gut“ erzielten 70 % der Werte, die meisten Anwendungen sind in dem Fall in höchster Qualität verfügbar. Dies spiegelt sich im rechten Balkendiagramm in Abbildung 20 wider.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind beispielhaft für das Land Brandenburg und ergeben sich aus den Sondermessungen im Jahr 2020. Die standortspezifischen Einzeldaten sind dem Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) zu entnehmen und können als Richtschnur im Dialog mit Brandenburger Kommunen, Unternehmen und der Wirtschaftsförderung dienen. Zusätzlich können die Daten für eine präzise Standortplanung genutzt werden oder eine Indikation des Ausbaubedarfs für relevante Standorte stützen.

Da diese Werte auch die wahrgenommene Breitband-Verfügbarkeit in den Mobilfunknetzen für die Nutzenden besser als die rein technischen Messwerte widerspiegeln, werden ab dem Jahr 2022 die Durchsatzmessungen grundsätzlich Bestandteil der DABB-Mobilfunkerfassung in Brandenburg sein. Ab dann wird ein neu entwickeltes Messverfahren zum Einsatz kommen, das diese Analysen während der Fahrt ermöglicht.

4.5 5G-Versorgung

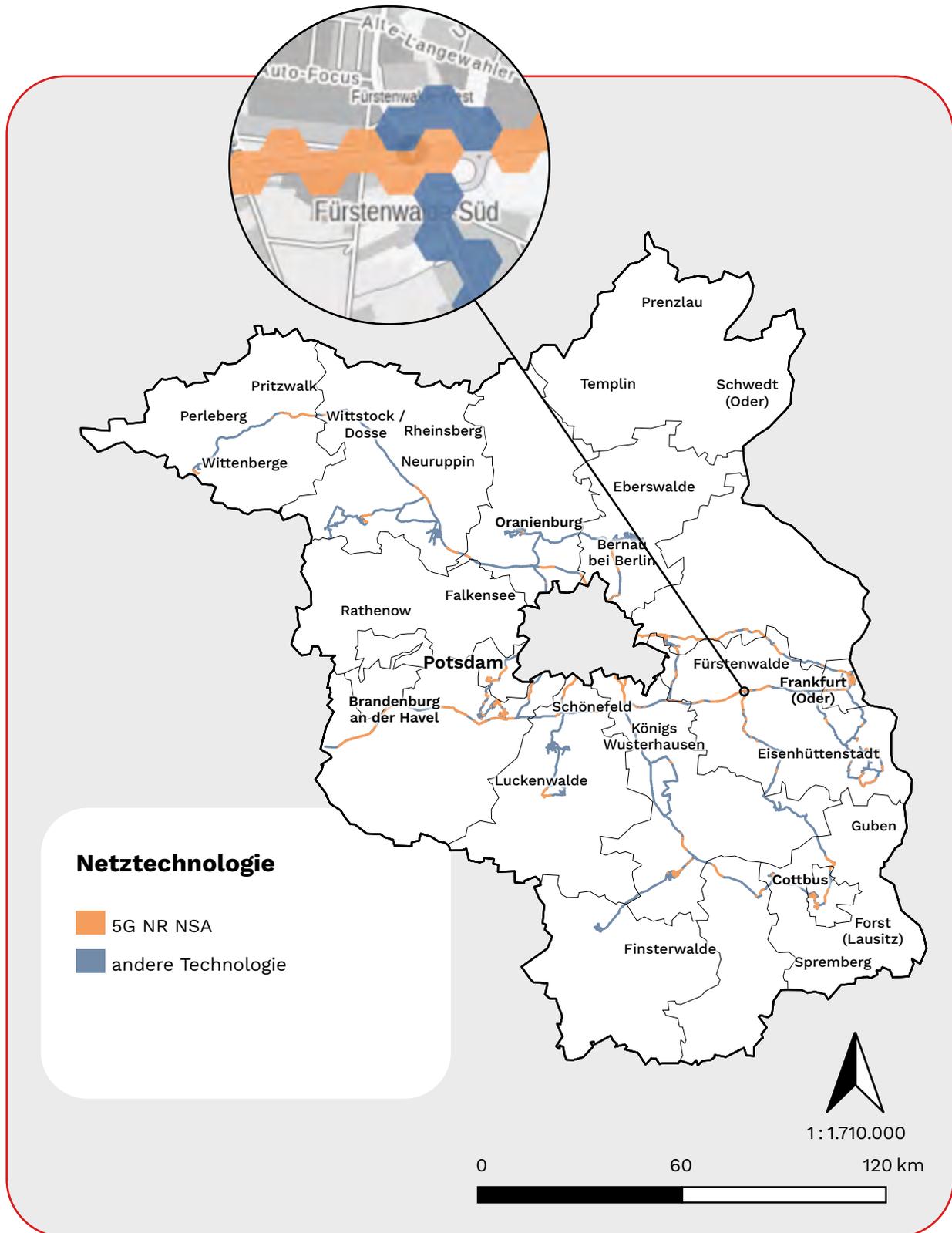


Abbildung 23: Netztechnologie 5G NR NSA im Bereich Fürstenwalde
Messwerte: atene KOM GmbH 2021

Die neue Generation des Mobilfunks, 5G New Radio (NR), ist aktuell selten in Deutschland als Standalone-Variante zu finden. Bei den Befahrungen im Jahr 2021 wurde 5G NR lediglich als sogenannte Non-Standalone (NSA)-Variante gemessen. Hierbei baut die Technologie auf den vorhandenen LTE-Strukturen auf. Es handelt sich dabei also um kein „echtes“ 5G, sondern um eine Verbesserung des LTE-Angebots, das eingeschränkte Bestandteile der 5G-Technologie zur Verfügung stellt. Das Hauptnetz, das die Weiterleitung der Datenverbindungen übernimmt, basiert also noch auf Basis der aktuellen LTE-Technologie. Die Zugangsnetze hingegen nutzen 5G-NR-Technologie. Als Konsequenz ist es den Mobilfunknetzbetreibern möglich den Technologieeinsatz zu steuern, sodass 5G-Verbindungen nur bei entsprechenden Datenanforderungen eingesetzt werden. Ansonsten werden Nutzende mit LTE versorgt. In Zukunft wird die Infrastruktur allerdings komplett auf die Standalone-Technologie umgestellt, in der sowohl Zugangs- als auch Hauptnetz die 5G-Technologie aufweisen. Zum Zeitpunkt der 2021-Messkampagne konnte auf den befahrenen Straßen ausschließlich die NSA-Variante gemessen werden.

Hintergrund und Perspektiven für Brandenburg

In Deutschland sind für 5G aktuell die Bänder n28 (700 MHz), n3 (1,8 GHz), n1 (2,1 GHz), n78 (3,6 GHz) und n258 (26 GHz) vorgesehen.⁵ 5G Dynamic Spectrum Sharing (DSS) wird auf den Bändern n1, n3 und n28 genutzt. Hier belegen LTE und 5G NR parallel das gleiche Spektrum und es wird die jeweilige Technologie dem Bedarf entsprechend genutzt. Das Ausrollen von Versorgungsgeräten im Millimeterband und n78 soll bundesweit in den nächsten Jahren vorangetrieben werden. Zusätzlich soll 5G in Zukunft auch für Trägerfrequenzen bis 86 GHz genutzt werden. Die Mobilfunknetzbetreiber bauen die Verfügbarkeit von 5G bundesweit weiter aus.

Künftige Messfahrten der DABB werden aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Technologie deshalb auch auf die Erfassung von 5G-Signalen ausgelegt, um entsprechende Ausbaufortschritte zu erfassen. Abbildung 23 zeigt beispielhaft die ermittelte Verfügbarkeit von 5G im Bereich um Fürstenwalde. Diese Möglichkeiten werden im Rahmen des entsprechenden Service der DABB dem Land Brandenburg zur Verfügung gestellt. Details hierzu finden sich auf der Homepage der DigitalAgentur.

⁵ vgl. <https://www.bmuv.de/faq/welche-frequenzen-nutzen-die-5g-netze>, 3GPP TS 38.104 Table 5.2-1 und Table 5.2-2

5 Weiterführende Auswertungen

Neben den in Kapitel 4 dargestellten direkten Auswertungen der Messergebnisse wurden weitere Auswertungen durchgeführt, welche die digitale Daseinsvorsorge und den Ausbau der Breitbandinfrastrukturen in Brandenburg unterstützen sollen. Diese werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

5.1 LTE-Versorgung nach Straßentypen

Die Befahrungsdaten aus dem Jahr 2020 wurden genutzt, um die LTE-Versorgung differenziert nach Straßentypen zu analysieren. Wie in Kapitel 3 erläutert, wurde das komplette Straßennetz mit über 38.000 km in Brandenburg befahren und entsprechend über 24,7 Millionen Messwerte aufgenommen. Abweichend zu den vorherigen Auswertungen wurden die Messpunkte in einem 100 mal 100 Meter Raster verschnitten und, wie bei den Hexagonen, pro Quadrat arithmetisch gemittelt. Diese Daten wurden mit den Straßendaten aus dem digitalen Landschaftsmodell⁶ konsolidiert und nach Straßentyp ausgewertet. Insgesamt wurden 1.135 km Autobahn, 2.827 km Bundesstraßen, 5.731 km Landesstraßen, 2.990 km Kreisstraßen, 21.783 km Gemeindestraßen und 4.002 km sonstige Straßentypen befahren.

Die LTE-Versorgung gilt ab definierten Leistungsgrenzwerten als gesichert. Die BNetzA⁷ und MIG geben hierfür als Wert -109 dBm für 4G an. Bei diesem Wert soll eine Mindest-downloadrate von 2 Mbit/s möglich sein. Bei 5G-Netzen gilt die gleiche Leistung für Frequenzen unter 3 GHz.

Analog zu Kapitel 4.1 werden die RSRP-Messwerte herangezogen. In Abbildung 24 ist der prozentuale Anteil mit LTE versorgter Straßen nach Straßentyp dargestellt. Die Prozentskala bezieht sich auf den Anteil der Straßenkilometer, bei denen die jeweilige Leistungsschwelle in Bezug auf die gesamte befahrene Strecke des jeweiligen Straßentyps erreicht wurde. Die Anteile der Straßenkilometer mit LTE-Versorgung (≥ -109 dBm) sind in einem stärkeren Farbton mit Querstreifen dargestellt. Anteile mit geringerer

6 Quelle der Straßentypen: Digitales Landschaftsmodell 1:250 000 (Ebenen) (DLM250) von GeoBasis-DE / BKG

7 Datenabruf Mobilfunk-Monitoring: November 2020; Parametervorgabe: https://download.breitband-monitor.de/202201_Parametervorgabe.pdf

LTE-Versorgung aufgeschlüsselt nach Straßentypen

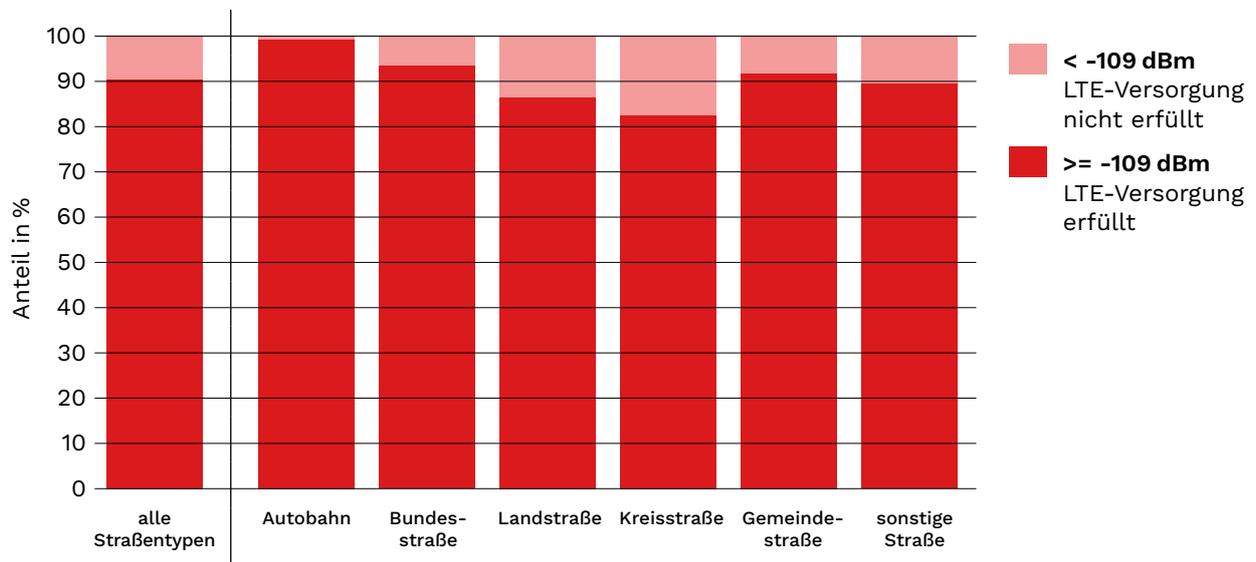


Abbildung 24: LTE-Versorgung (aufgeschlüsselt nach Straßentypen)

Versorgung (< -109 dBm) oder ohne ermittelbare Leistungswerte weisen hingegen ein transparenteres Farbschema auf. In Abbildung 24 wurde der Schwellenwert der BNetzA von -109 dBm angewendet.

Bei 99,19 % der Werte wurde entlang Autobahnen eine LTE-Versorgung ermittelt. Das entspricht etwa 1.126 km der befahrenen Autobahnstrecke. Für die anderen Straßentypen konnten in Bezug auf die LTE-Versorgung folgende Werte festgestellt werden: Bundesstraßen 93,59 % (etwa 2.646 km), Landesstraßen 86,43 % (etwa 4.953 km), Kreisstraßen 82,43 % (etwa 2.465 km), Gemeindestraßen 91,78 % (etwa 19.992 km) und sonstige 89,64 % (etwa 3.586 km). Bei der Betrachtung aller Straßentypen lässt sich eine Gesamtversorgung von 90,38 % feststellen, was etwa 34.769 km entspricht.

5.2 Plausibilisierung der Messdaten

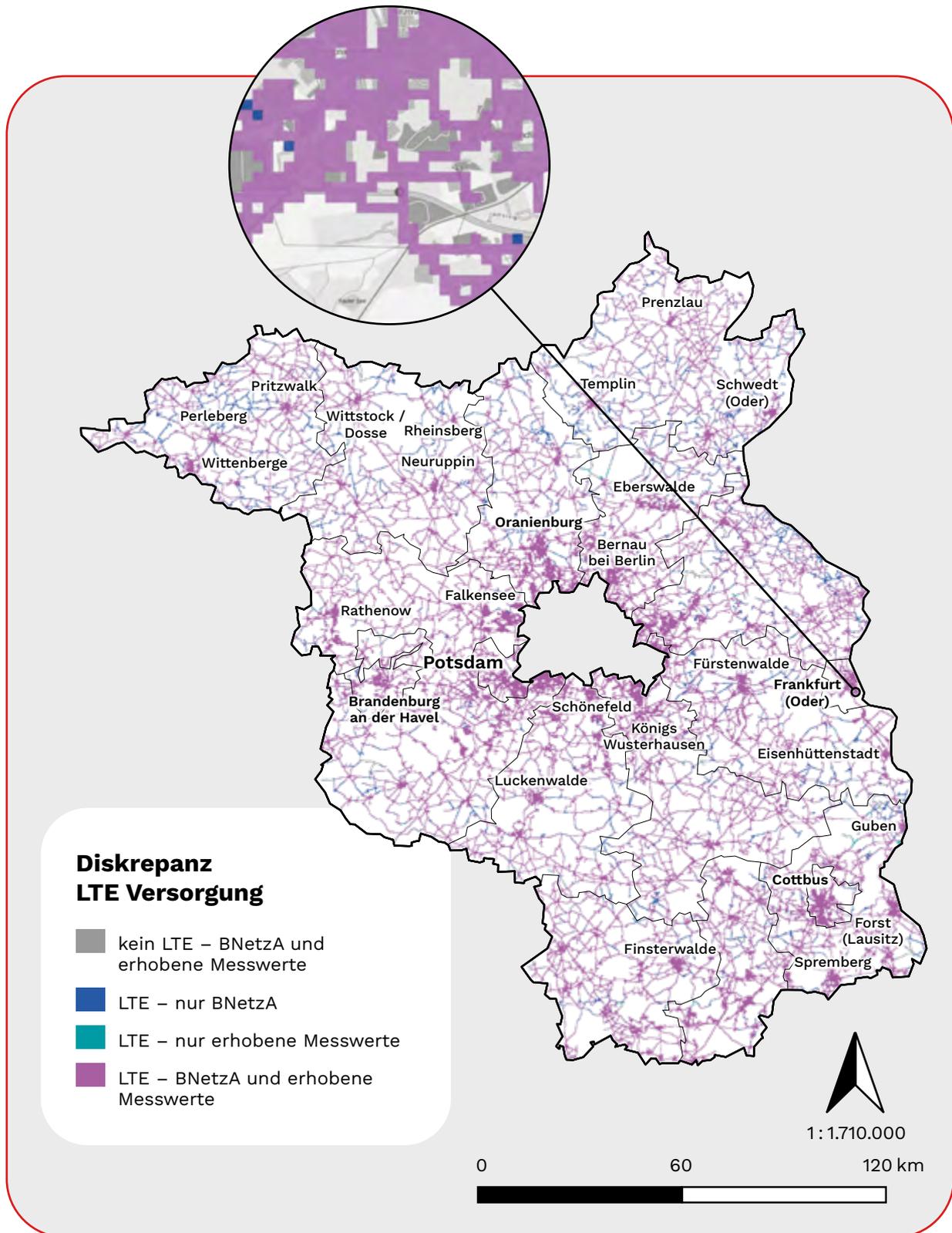


Abbildung 25: Diskrepanz LTE-Versorgung im Bereich Frankfurt (Oder), Raster: 100 × 100 m
Messwerte: atene KOM GmbH 2020; Datenabruf Mobilfunk-Monitoring: November 2020

Um eine Plausibilisierung der Messdaten zu ermöglichen, werden die erhobenen Messwerte mit den Versorgungsmeldungen der Mobilfunknetzbetreiber verglichen. Die entsprechenden Werte werden regelmäßig im Rahmen des Mobilfunk-Monitorings durch die BNetzA veröffentlicht und sind öffentlich zugänglich. Hierbei ist anzumerken, dass dieses Vorgehen der Validierung und Vergleichbarkeit der erhobenen Daten dient und keine Bewertung oder Prüfung der Versorgungsmeldungen darstellt. Die Erfassung der real existierenden Mobilfunkversorgung stellt zwangsläufig immer nur eine Momentaufnahme dar und wird durch externe Faktoren beeinflusst.

Netzvermessungen sind daher, wie in 4.1 bereits erwähnt, von vielen, nicht beeinflussbaren Umweltparametern abhängig. Zum einen hat die Vegetation einen maßgeblichen Einfluss. Je nach Belaubung der Bäume in Straßen- oder Mobilfunknähe kann die Reichweite von Mobilfunkmasten stark variieren. Witterungseffekte haben einen großen Effekt auf die Ausbreitungscharakteristik des Funkkanals. Die Auslastung der befahrenen Zellen ist je nach Zeitpunkt unterschiedlich. Zu bestimmten Tageszeiten sind mehr Nutzer aktiv im Netz vertreten als zu anderen, gleiches gilt für die jeweiligen Wochentage und spezielle Ereignisse.

Wie im Methodenkapitel 2 beschrieben, wurden die Ergebnisse der atene KOM durch eine Befahrung des Straßennetzes erhoben. Entsprechend unterliegen die Messungen Schwankungen gegenüber anderen erhobenen Abdeckungsdaten. Beim Vergleich zum Mobilfunk-Monitoring der BNetzA ist dadurch mit Abweichungen zu rechnen. Die BNetzA erhält modellierte Daten der Mobilfunknetzbetreiber, welche durch stichprobenhafte Messungen seitens der BNetzA geprüft werden. Es handelt sich bei diesen Daten also um kein vollständiges Messmodell, wie es für die vorliegende Studie erstellt wurde.⁸ Für eine Vergleichbarkeit wurden von der BNetzA einheitliche Vorgaben hinsichtlich der Berechnung der Mobilfunknetzabdeckung gemacht.⁹ Darüber hinaus bietet die Funkloch-App den Nutzer:innen die Möglichkeit, der BNetzA Messdaten zur Validierung zur Verfügung zu stellen. Diese Daten stehen ebenfalls im Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) durch die DigitalAgentur des Landes zur Verfügung.

Ähnlich zu Kapitel 5.1 werden im Folgenden die ermittelten Abweichungen zwischen den durchgeführten Messungen und den offiziellen Versorgungsdaten der BNetzA¹⁰ in

8 Im Vergleich stehen sich also reine Messdaten der Mobilfunkbefahrung und Daten der BNetzA gegenüber die sich aus einem Mix aus Simulationen bzw. Prognosen und Messdaten ergeben. Das kann zwangsläufig nicht deckungsgleich sein.

9 Vgl.: <https://www.breitband-monitor.de/mobilfunkmonitoring/fragen-und-antworten>

10 Vgl.: <https://www.breitband-monitor.de/mobilfunkmonitoring/karte>

Bezug auf unterschiedliche Straßentypen dargestellt. Um eine Vergleichbarkeit der beiden Datenquellen zu gewährleisten, wurde für die Messergebnisse ebenfalls der von der BNetzA angegebene Grenzwert des Signalpegels von -109 dBm angewendet.

Abbildung 25 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Messwert-Diskrepanz-Karte im Bereich Frankfurt (Oder). Die Karte zeigt, an welchen Standorten von der atene KOM und der BNetzA LTE ermittelt wurde. Zudem sind die Unterschiede aufgeführt. Da die BNetzA das Mobilfunk-Monitoring in einem Raster der Größe 100 mal 100 Meter darstellt, werden in Abbildung 25 die Ergebnisse ebenfalls in der Darstellungsform der BNetzA abgebildet. Auf diese Weise ist eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet.

In Abbildung 26 ist im linken Diagramm die LTE-Versorgung für alle Straßentypen (2020) der LTE-Versorgung der BNetzA gegenübergestellt. Wie bereits in diesem Kapitel erläutert, konnten erwartbare Diskrepanzen festgestellt werden. Die Daten, die für das Mobilfunk-Monitoring der BNetzA genutzt werden, stellen die Mobilfunknetzbetreiber selbst per Modellierung zur Verfügung. Daher können Abweichungen zum Ist-Zustand des Netzes zu einem bestimmten Zeitpunkt auftreten. Die in den Messungen der Mobilfunkbefahrung ermittelte LTE-Versorgung nach Straßenkilometern von 90,38 % (siehe Kapitel 5.1) steht der ausgewiesenen Versorgung der BNetzA mit 98,97 % gegenüber.

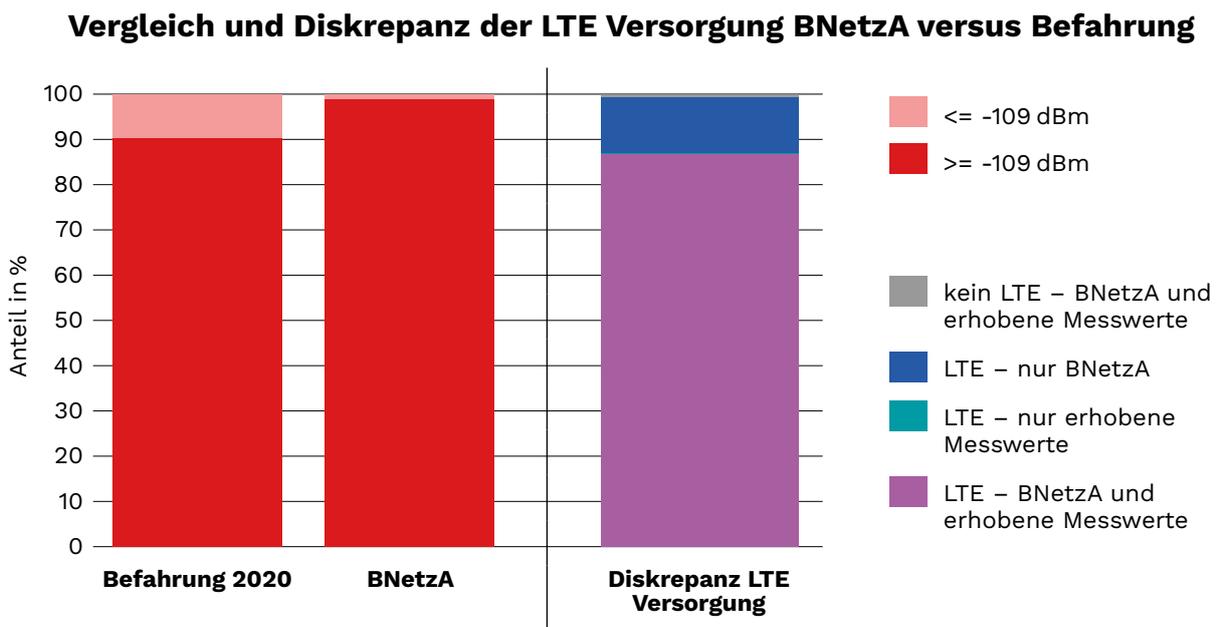


Abbildung 26: Vergleich LTE-Versorgung BNetzA und Befahrung im Jahr 2020 (alle Straßentypen)

kumulative Verteilungsfunktion für die RSRP Differenz 2020/2021

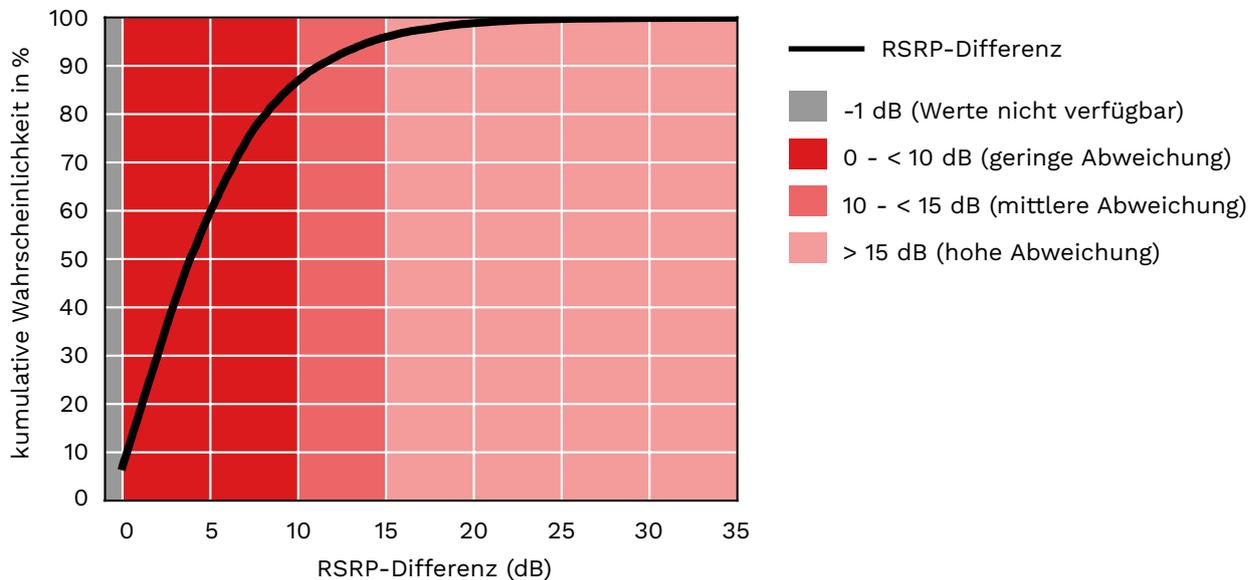


Abbildung 27: Kumulative Verteilungsfunktion der ermittelten Differenzen zwischen 2020 und 2021

Das rechte Diagramm in Abbildung 26 stellt den direkten Vergleich der gerasterten Messwerte aus der Mobilfunkbefahrung mit den Daten der BNetzA dar. Es werden vier Fälle unterschieden: LTE ermittelt durch Mobilfunkmessung und BNetzA, LTE nur von der BNetzA ausgewiesen, LTE nur durch Messwerte ermittelt und kein LTE bei beiden Quellen festgestellt. Diese Darstellung bietet ein differenzierteres Bild: es wird deutlich, dass ein Großteil der Unterschiede in der Kategorie „LTE – nur BNetzA“ vorzufinden ist. In diesem Fall konnte anhand der Messwerte kein LTE ermittelt werden, laut BNetzA sollte jedoch in diesen Bereichen LTE vorhanden sein.

Zusätzlich werden die in Kapitel 4.1 der 2020 und 2021 befahrenen Strecken in Abbildung 27 dargestellt. Wieder wird die kumulative Verteilungsfunktion für die statistische Auswertung genutzt. Im Hintergrund ist eine Farbcodierung zu sehen, die der Legende entnommen werden kann. Der linke Bereich bis 0 dB stellt die Messungen dar, bei denen in den Jahren 2020, 2021 oder in beiden Jahren zusammen keine Werte ermittelt wurden. Der Bereich zwischen 0 dB bis 10 dB beschreibt relativ geringe Abweichungen, der Bereich von 10 dB bis 15 dB steht für Abweichungen, die durch Umwelteinflüsse erklärbar sind. Der Bereich ab 15 dB bildet schließlich Abweichungen ab, bei denen Datenausreißer individuell überprüft werden mussten. Prinzipiell sind die dargestellten Werte zwar Mittelwerte der Messungen innerhalb eines Hexagons, beinhalten aber augenblickliche Messwerte, die Schwankungen unterliegen können. Generell kann festgestellt werden, dass über 95 % der gemessenen Werte innerhalb der erwartbaren Schwankungen liegen. Für die Werte im roten Bereich kann eine Überprüfung im Rahmen von Folgebefahrungen weitere Aufschlüsse über die Ursachen dieser Abweichung geben.

5.3 Modellierung der LTE-Flächenversorgung

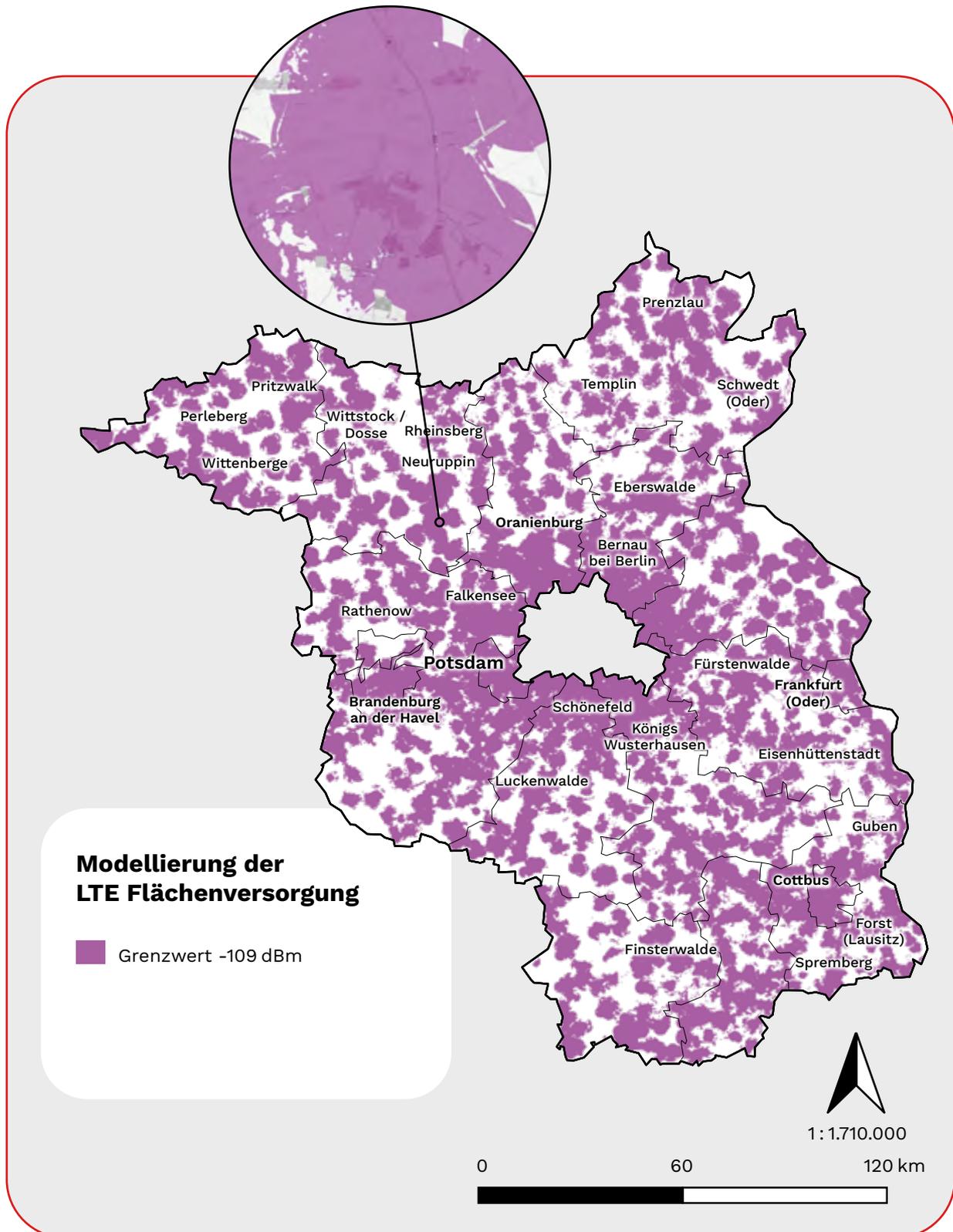


Abbildung 28:

Ausbreitungsmodellierung anhand der Mobilfunkmessungen im Bereich Fehrbellin
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

Neben der beschriebenen Darstellungsweise wurden weitere Modellierungen zur flächendeckenden Mobilfunkversorgung mit den Messdaten von 2020 durchgeführt. Da genaue Standortbescheinigungen und die verbaute Technik als Datengrundlagen seitens der zuständigen Stellen nicht bereitgestellt werden durften, wurden die gemessenen RSRP-Signale und die zugehörigen Mobilfunkzellenidentifikationsnummern mit den Koordinaten inter- und extrapoliert, um auf das Zentrum des Signals und die verbauten Techniken Rückschlüsse ziehen zu können. Die Berechnung besteht aus einer Reihe von Pfadverlustmodellen, die verschiedene Funkausbreitungsmodelle implementieren, sowie einer Verknüpfung der Daten. Dabei wird die Abschwächung des Funksignals mithilfe des sogenannten erweiterten Okumura-Hata-Modells ermittelt und mit verschiedenen Grenzwerten Karten erzeugt. Dieses Modell ermöglicht das Einbeziehen von digitalen Geländemodellen¹ und weiteren Datenquellen. Ziel dieser Vorgehensweise ist es, die Mobilfunkausbreitung auch außerhalb der gemessenen Werte zu modellieren.

Die Ausbreitungsmodellierung ist beispielhaft in Abbildung 28 als Karte, im Bereich Fehrbellin, für den Grenzwert der BNetzA und der MIG (Empfangsleistung ≥ -109 dBm) dargestellt. Die Maststandorte wurden, wie geschildert, aus den Messdaten inter- und extrapoliert. Daher besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit dieser Standorte. Ein Rückschluss auf ganz Brandenburg kann somit nicht geführt werden. Die Mobilfunkversorgungskarte mit weiteren Informationen ist im BiBB der DigitalAgentur Brandenburg zu finden. Durch die technische Gegebenheit der Befahrung, korreliert die Vollständigkeit der inter- und extrapolierten Maststandorte mit der Anzahl der Straßen in der Nähe der tatsächlichen Maststandorte. Nur die ermittelten Standorte wurden für die Ausbreitungsberechnung in Abbildung 28 verwendet. Besonders im Siedlungsstern um Berlin und den größeren Städten wie Cottbus, Frankfurt (Oder) sowie Eberswalde ist eine höhere Abdeckung mit Leistungen über -109 dBm zu erkennen.

Im Weiteren wird mit Hilfe der Ausbreitungsmodellierung die Empfangsleistung an Bildungsstandorten ohne vorhandene Messwerte berechnet. Kombiniert mit den Messwerten ist die Auswertung somit an allen Bildungsstandorten anwendbar.

Um Möglichkeiten zu finden, die Digitalisierung der Schulen voranzutreiben, wurde eine Auswertung, die Korrelation von Breitbandanschlüssen und verfügbaren Mobilfunk für Bildungseinrichtungen analysiert. Ziel war es zu ermitteln, welche Bildungseinrichtungen schon mit einem Glasfaseranschluss versehen worden sind und welche als Übergang zum Beispiel mit Mobilfunkroutern versehen werden könnten. Hierbei wurde ein

¹ CORINE Land Cover - CLC: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc>

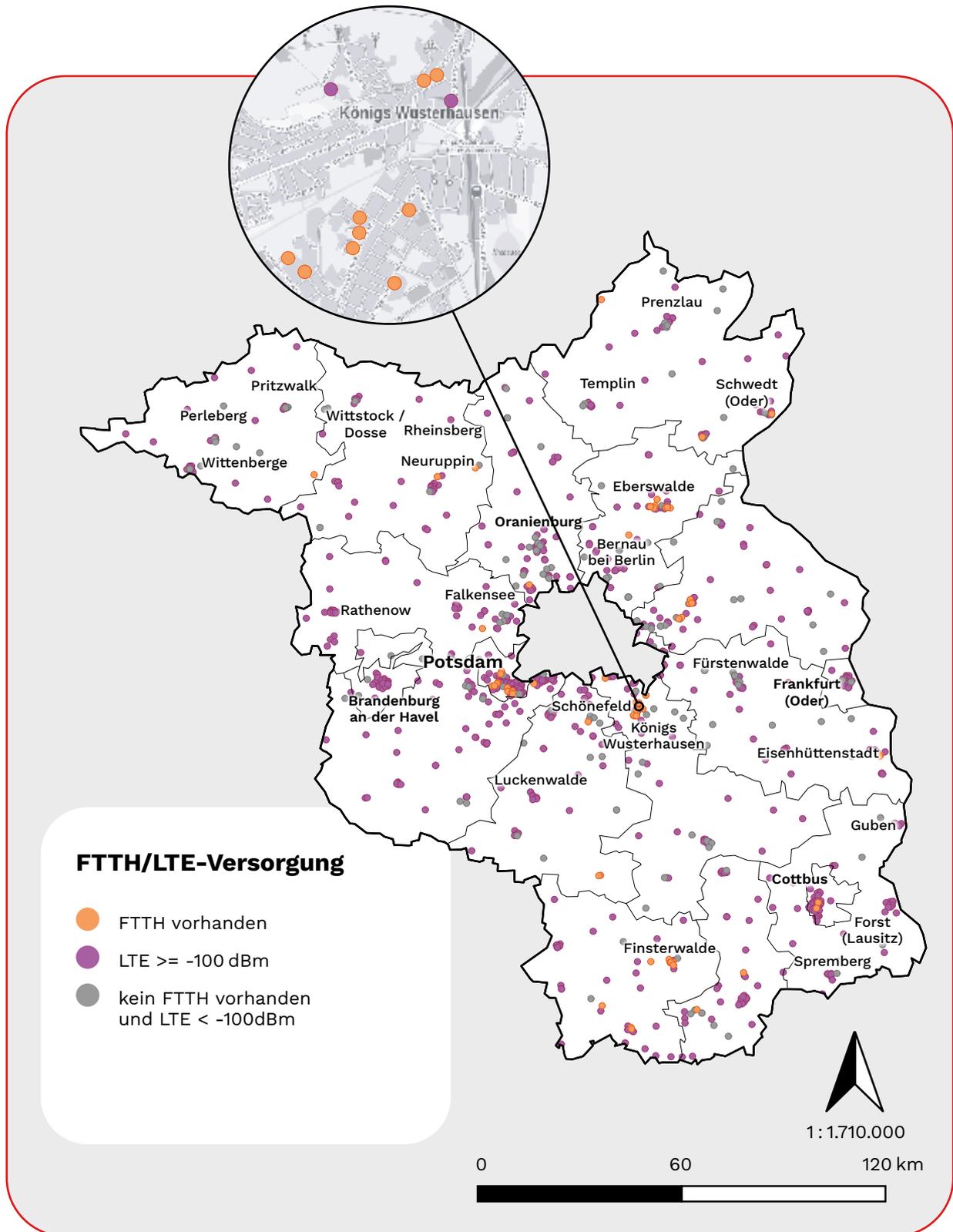


Abbildung 29:
FTTH-Anschluss und LTE-Versorgung an Bildungseinrichtungen im Bereich Königs Wusterhausen
Messwerte: atene KOM GmbH 2020

RSRP-Grenzwert der Mobilfunkversorgung von -100 dBm angewendet. Insofern wurde bewusst eine höhere Schwelle an Mobilfunkversorgung gewählt, da eine mögliche Übergangslösung mit LTE Routern auch mit höheren Leistungsanforderungen verbunden ist. Für diese Auswertung wurde daher die Ausbreitungsmodellierung entsprechend mit dem höheren Grenzwert angepasst.

In Abbildung 29 sind die 933 bestimmten Bildungseinrichtungen mit ihrer ermittelten Versorgung dargestellt. Es wird zwischen drei Fällen unterschieden: es existiert ein FTTH-Anschluss; es ist kein FTTH-Anschluss vorhanden, aber der LTE-Grenzwert von 100 dBm erreicht bzw. überschritten oder es ist weder ein FTTH-Anschluss noch ein entsprechende LTE-Versorgung vorhanden. In Abbildung 30 ist die Darstellung der

LTE und FTTH Anschluss von Bildungseinrichtungen

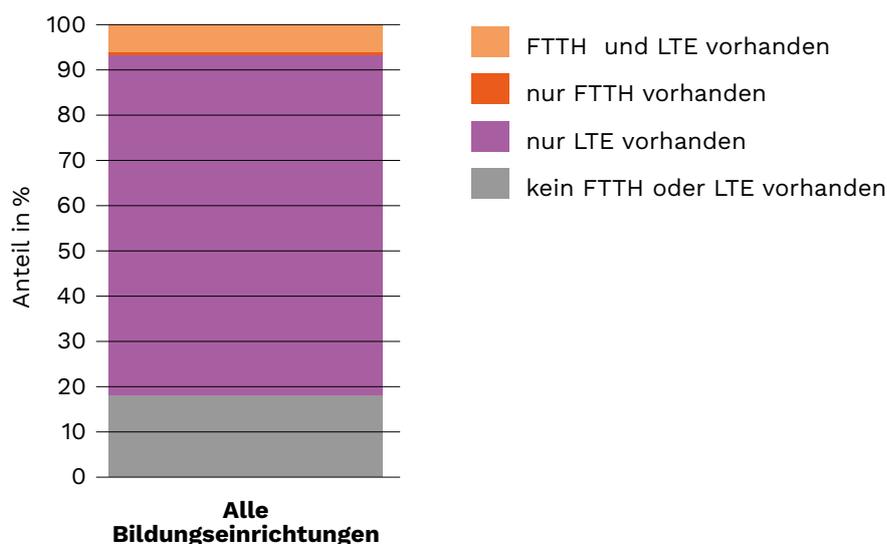


Abbildung 30: FTTH-Anschluss und LTE-Versorgung an Bildungseinrichtungen

Anschlusstypen der 933 Bildungseinrichtungen dargestellt. 57 Einrichtungen weisen LTE-Versorgung und einen FTTH-Anschluss auf, 7 Einrichtungen haben nur FTTH-Zugang, aber keinen LTE-Anschluss. 701 Standorte sind mit LTE versorgt, jedoch nicht mit FTTH und 168 Bildungseinrichtungen haben weder LTE- noch FTTH-Zugang. Insgesamt sind damit zum Zeitpunkt der Analysen 64 der 933 Einrichtungen mit FTTH versorgt gewesen, was 6,86 % entspricht. Ein LTE-Signalpegel von mindestens -100 dBm wurde bei 758 Bildungseinrichtungen ermittelt. Zusätzlich liegen 602 Bildungsanstalten in

geplanten Ausbaugebieten für FTTH, wodurch zukünftig der Anteil für eine FTTH-Abdeckung in Brandenburger Schulen deutlich steigen dürfte. Dies gilt es bei zukünftigen Befahrungen zu dokumentieren und zu ermitteln. Zum Zeitpunkt der Befahrungen 2020 sind damit allerdings 124 Standorte, an denen kein LTE oder FTTH ermittelt wurde, noch nicht in den FTTH-Ausbau inbegriffen, sodass eine Verbesserung der Versorgung dieser Bildungseinrichtungen besonderen Fokus erhalten muss.

6 Fazit und Ausblick

Durch die Messungen im Projekt der DigitalAgentur Brandenburg, die durch die atene KOM in 2020/2021 auf den Straßen des Landes Brandenburg und an mehr als 1.100 speziellen Messpunkten durchgeführt wurden, konnte ein differenziertes Bild der Mobilfunkversorgung in Brandenburg erstellt werden. Im Gegensatz zu Crowd-Daten oder Simulationen, die regelmäßig eingesetzt werden, sind diese Daten ein Ist-Zustand des Netzes und belastbar. Dadurch werden zukünftige Fortschritte im Netzausbau mess- und dokumentierbar. Die entwickelte Technik kann zudem proaktiv genutzt werden, um so den zielgerichteten Mobilfunkausbau in Brandenburg zu unterstützen. Die DigitalAgentur Brandenburg wird dazu zwei Messaufbauten direkt übernehmen und einen Service für das Land Brandenburg entwickeln.

Im Rahmen der Messfahrten von 2020 konnte ermittelt werden, dass ein Anteil von 90,38 % der befahrenen Straßenkilometer mit LTE und einem Leistungspegel von -109 dBm oder besser versorgt wird. Das bedeutet, dass technisch gesehen in großen Teilen Brandenburgs eine gute LTE-Versorgung vorhanden ist. Die unterversorgten Bereiche befinden sich erwartungsgemäß im ländlichen, dünner besiedelten Raum. Dort wurden weiße Flecken identifiziert, in denen weder eine LTE-, UMTS- oder GSM-Verbindung aufgebaut werden konnte.

Die Spezialmessungen im Jahr 2020, in denen Daten zur Latenz und Downloadrate erhoben wurden, zeigten ein recht uneinheitliches Bild. Die Leistungsdaten im Mobilfunknetz können auch regional sehr deutliche Unterschiede aufweisen. Gründe dafür liegen beispielsweise in der unterschiedlichen Auslastung der Mobilfunkzellen, die auch im Laufe eines Tages und saisonal stark variieren können, aber auch bei der Anbindung der Sendeanlage und den genutzten Frequenzen. Weiterhin wurde der neue Mobilfunkstandard 5G NR in der Variante NSA bei den Messungen im Jahr 2021 gemessen. Die geplante Abschaltung von 3G konnte nachvollzogen werden.

Ein Blick auf die LTE-Versorgung unterschiedlicher Straßentypen zeigt deutliche Abweichungen: während die Autobahnen in Brandenburg zu 99,19 % und Bundesstraßen zu 93,59 % mit LTE versorgt sind, sind Kreisstraßen nur zu 82,43 % versorgt. Für Autobahnen und Bundesstraßen wurden von der BNetzA im Rahmen der Frequenzversteigerungen Auflagen für den Ausbau vorgegeben: Bis Ende 2022 müssen alle Autobahnen und ein Großteil der Bundesstraßen mit 100 Mbit/s und einer Latenz von 10 ms versorgt werden. Der Fokus der Netzbetreiber beim Mobilfunkausbau lag daher in der Vergangenheit sichtbar im Bereich der Hauptverkehrswege.

Die vorliegende Untersuchung fokussierte sich im Wesentlichen auf das Straßennetz in Brandenburg. In zukünftigen Messkampagnen sollten auch Bahnstrecken berücksichtigt werden, die ebenfalls eine herausragende Rolle bei der Nutzung von Mobilfunkdiensten spielen. Wie für Straßen wurden daher bei der Frequenzversteigerung 2019 auch für Schienenwege Versorgungsaufgaben seitens der BNetzA auferlegt.

Insbesondere für Unternehmen wird zukünftig auch eine hoch performante 5G-Versorgung eine wichtige Rolle spielen. Fernwartungssysteme, E-Health-Anwendungen – viele neue Dienste benötigen eine leistungsfähige 5G-Mobilfunkinfrastruktur. In zukünftigen Messungen bietet es sich an, auch ein differenziertes Bild der 5G-Versorgung aufzunehmen.

Beispiele finden sich in diesem Kontext auch heute schon in Brandenburg: Im Rahmen des 5G-Innovationsprogramms 5x5G werden durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) seit 2019 Modellprojekte in den Bereichen vernetzte Mobilität, Industrie 4.0, Smart City und E-Health gefördert. So wurde in Brandenburg zum Beispiel das Förderprojekt ALADIN (Advanced Low Altitude Data Information System) initiiert. Ziel des Projekts ist eine sichere Waldbrandbekämpfung durch eine bedarfsgerechte 5G-Vernetzung von Einsatzkräften und Einsatzmitteln.

Um Fortschritte in der Mobilfunkversorgung zu dokumentieren, bietet sich ein kontinuierliches Monitoring der Versorgung an. Durch Wiederholungsmessungen können Fortschritte bei Netzausbau oder weiterbestehende Unterversorgung festgestellt werden. Die regelmäßige Messung von unterversorgten Regionen bietet die Grundlage für Gespräche mit den Netzbetreibern, der MIG und der BNetzA, mit dem Ziel einer besseren Mobilfunkversorgung.

7 Verzeichnisse

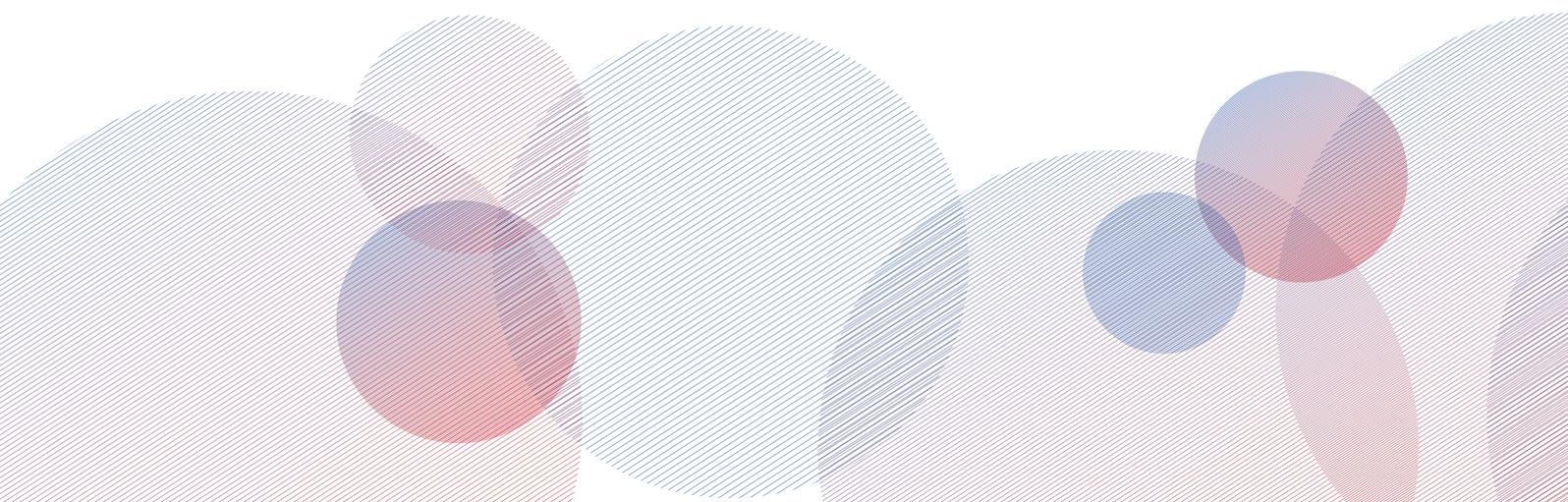
Abkürzungen

API	Application Programming Interface
BiBB	Breitbandinformationssystem Brandenburg
BNetzA	Bundesnetzagentur
dB	Dezibel
dBm	Dezibel Milliwatt
DABB	DigitalAgentur Brandenburg
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
FTTH	Fibre to the Home
GHz	Gigahertz
GIS	Geoinformationssystem
GSM	Global System for Mobile Communications
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
m	Meter
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MHz	Megahertz
MIG	Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft
MNB	Mobilfunknetzbetreiber
ms	Millisekunde
NR NSA	New Radio Non-Standalone
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Received Signal Strength Indicator
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USV	Unterbrechungsfreie Spannungsversorgung
VoD	Video-on-Demand

Abbildungen

Abbildung 1:	Fahrzeug mit Messeinrichtung als Dachaufbau 2020.....	13
Abbildung 2:	Fahrzeug mit Messeinrichtung als Dachaufbau 2021	13
Abbildung 3:	Übersicht Befahrungsgebiet 2020	15
Abbildung 4:	Übersicht Befahrungsgebiet 2021.....	16
Abbildung 5:	LTE-Signalpegelabstufungen im Bereich Templin	19
Abbildung 6:	LTE-Signalpegelabstufungen.....	20
Abbildung 7:	kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2020	22
Abbildung 8:	kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2021.....	23
Abbildung 9:	Signalpegelabstufungen der kompletten Befahrungsgebiete (aufgeschlüsselt nach MNB)	24
Abbildung 10:	kumulative Verteilungsfunktion RSRP 2020 (identisches Befahrungsgebiet wie 2021)	25
Abbildung 11:	Signalpegelabstufungen der überschneidenden Befahrungsgebiete (aufgeschlüsselt nach MNB)	25
Abbildung 12:	Mobilfunktechnologieklassen im Bereich Gielsdorf.....	27
Abbildung 13:	Technologie-Klassenanteile der Hexagone (2020 und 2021.....	28
Abbildung 14:	Frequenzbandklassen im Bereich Michendorf	30
Abbildung 15:	Darstellung Zusammenhang Reichweite, Datenrate und Frequenz	31
Abbildung 16:	Frequenz-Klassenanteile der Hexagone (2020 und 2021).....	32
Abbildung 17:	Regionale Verteilung der Ping-Zeiten im Bereich Schwedt.....	33
Abbildung 18:	Regionale Verteilung der Download-Raten im Bereich Karstädt	35
Abbildung 19:	kumulative Verteilungsfunktion des Pings.....	36
Abbildung 20:	Darstellung Ping und Download-Rate	37
Abbildung 21:	kumulative Verteilungsfunktion der Download-Rate	38
Abbildung 22:	kumulative Verteilungsfunktion der Download-Rate für 0 bis 2 Mbit/s.....	38
Abbildung 23:	Netztechnologie 5G NR NSA im Bereich Fürstenwalde	40

Abbildung 24:	LTE-Versorgung (aufgeschlüsselt nach Straßentypen).....	43
Abbildung 25:	Diskrepanz LTE-Versorgung im Bereich Frankfurt (Oder), Raster: 100 x 100 m.....	44
Abbildung 26:	Vergleich LTE-Versorgung BNetzA und Befahrung im Jahr 2020 (alle Straßentypen).....	46
Abbildung 27:	Kumulative Verteilungsfunktion der ermittelten Differenzen zwischen 2020 und 2021.....	47
Abbildung 28:	Ausbreitungsmodellierung anhand der Mobilfunkmessungen im Bereich Fehrbellin.....	48
Abbildung 29:	FTTH-Anschluss und LTE-Versorgung an Bildungseinrichtungen im Bereich Königs Wusterhausen.....	50
Abbildung 30:	FTTH-Anschluss und LTE-Versorgung an Bildungseinrichtungen.....	51



Impressum

Angaben gemäß §5 TMG

DigitalAgentur Brandenburg GmbH
Schiffbauergasse 14
14467 Potsdam

Vorsitzender des Aufsichtsrats:
Staatssekretär Hendrik Fischer

Handelsregister: HRB31591
Registergericht Potsdam

Vertreten durch:
Herrn Dr. André Göbel

Kontakt

Telefon: 0331.660-4000
Telefax: 0331.660-64000
E-Mail: kontakt@digital-agentur.de

Gefördert durch das
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg

Version 1.0

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Nennung - Keine Bearbeitungen 4.0 international (CC-BY-ND 4.0)

