

Jahresbericht

Mobilfunkerfassung Brandenburg

Unterstützung leistungsfähiger
Mobilfunknetze

Auftraggeberin:
DigitalAgentur Brandenburg GmbH

Auftragnehmerin:
atene KOM GmbH



Befahrungszeitraum: 14.11.2022 bis 13.01.2023

Stand: September 2023

Eine hochqualitative Mobilfunkinfrastruktur ist unerlässlich und eine Voraussetzung für mehr Innovationen, Wachstum und Beschäftigung

In einer Zeit, in der Kommunikation und Information so eng mit unserem Alltag verknüpft sind, ist eine zuverlässige Mobilfunkverbindung von entscheidender Bedeutung.

Das Land Brandenburg hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte in Bezug auf die digitale Infrastruktur gemacht. Doch wir sind uns bewusst, dass es noch immer Gebiete gibt, in denen die Mobilfunkversorgung nicht den Ansprüchen genügt.

Die Mobilfunkbefahrung, die von der DigitalAgentur Brandenburg durchgeführt wurde, ist ein wichtiges Projekt, das uns wertvolle Einblicke in die aktuelle Situation der Mobilfunkversorgung in unserem Land bietet. Über Straßenkilometer hinweg und mit Millionen von Datensätzen haben sie eine umfassende Analyse der Mobilfunkqualität in Brandenburg durchgeführt. Mit dem vorliegenden Bericht werden die gewonnenen Erkenntnisse über die Mobilfunknetze und die zugrundeliegenden Messmethoden nun veröffentlicht.

Diese Informationen sind von großem Wert. Sie sind nicht nur für die Verantwortlichen in Politik und Verwaltung von großer Bedeutung, sondern auch für unsere Bürgerinnen und Bürger sowie die Wirtschaft. Sie ermöglichen es uns, gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung zu ergreifen und sicherzustellen, dass niemand in unserem Land von den Vorteilen der digitalen Welt ausgeschlossen wird.

Die Integration dieser Analysedaten in das Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) stellt einen weiteren Meilenstein dar. Es ermöglicht unseren Kommunen, die Mobilfunkversorgung vor Ort besser zu überwachen und zu planen. Dies ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer flächendeckenden und hochwertigen Mobilfunkversorgung für alle Bürgerinnen und Bürger.

Henrik Fischer

Staatssekretär des Ministeriums für Wirtschaft,
Arbeit und Energie Brandenburg

Vorsitzender des Aufsichtsrats der
DigitalAgentur Brandenburg GmbH

Henrik Fischer © Till Budde



Die Entwicklung von digitalen Infrastrukturen ist eine wichtige Voraussetzung für den Ausbau der Daseinsvorsorge

Eine lückenlose Mobilfunkabdeckung ist nicht nur von großer Bedeutung für Unternehmen, die nach attraktiven Standorten suchen, sondern auch für die Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse in städtischen und ländlichen Gebieten. Die Bereitstellung öffentlicher Daseinsvorsorge hängt inzwischen eng mit dem Zustand der digitalen Infrastrukturen und damit auch mit der Mobilfunkversorgung zusammen. Um das Land Brandenburg zukunftsfähig und attraktiv zu gestalten sind daher umfassende Kenntnisse über den Zustand der Mobilfunkabdeckung und entsprechende Optimierungsmaßnahmen unerlässlich.

Die Zielsetzung der Mobilfunkerfassung war im ersten Erhebungszeitraum von 2020 bis 2021 eine landesweite Bestandsaufnahme und Analyse der aktuellen Mobilfunkversorgung, um die Planung von mobilen Anwendungsszenarien sowie einen gezielten Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur in Brandenburg zu unterstützen. Für die zweite Erhebung, für die im Jahr 2022 Teile Brandenburgs erneut befahren wurden, wurden die Messverfahren kontinuierlich verbessert und enthalten neben den 2G-, 4G- und 5G-Informationen nun auch Spezialmessungen zur Upload- und Downloaderhebung als Standard-Messmethode.

Die ermittelten Daten stehen im Breitbandinformationssystem Brandenburg (BiBB) für registrierte Nutzende der öffentlichen Hand zur Verfügung und können gemeinsam mit weiteren Standortinformationen genutzt werden.

Ich möchte an dieser Stelle meinen herzlichen Dank an alle Beteiligten aussprechen, die dazu beigetragen haben, dass dieser Bericht entstehen konnte. Mein besonderer Dank gilt unseren Projektpartnern atene KOM und GESBRO, die die technische Umsetzung ausgeführt haben.

Daniela Lehmann
Geschäftsführerin der
DigitalAgentur Brandenburg GmbH



Daniela Lehmann © Kathleen Friedrich

Zusammenfassung

Für Brandenburgs Bürger:innen, Tourist:innen und Wirtschaft ist eine flächendeckende, hochleistungsfähige Mobilfunkinfrastruktur absolut unerlässlich. Gerade in ländlichen Regionen ist sie Voraussetzung für mehr Innovationen, Wachstum und Beschäftigung.

Deutschland ist noch entfernt von einer lückenlosen und leistungsfähigen 4G/5G-Mobilfunkversorgung. Beschwerden über Verbindungsabbrüche bei Telefonaten bzw. unzureichende Datenraten ebbeln nicht ab – auch in Teilen Brandenburgs. Vielerorts besteht noch eine Diskrepanz zwischen der wirtschaftlich und gesellschaftlich erforderlichen und der von den Mobilfunknetzbetreibern bisher erreichten Versorgung. Das gilt sowohl für den ländlichen Raum, als auch für viele Städte und Ballungsgebiete, öffentliche Straßen- und Schienennetze, sowie Tourismus- und Gewerbegebiete.

Die Diskrepanz kann noch zunehmen, wenn – wie von vielen Expert:innen erwartet – die zu bewältigenden Datenmengen entsprechend dem bisherigen Trend weiter exponentiell steigen. Insbesondere datenintensive Anwendungen wie Augmented und Virtual Reality sowie perspektivisch autonomes Fahren sind zukünftige Datentreiber. Aber auch Smart Farming, E-Health und intelligente Mobilitätskonzepte benötigen lückenlose und leistungsfähige Mobilfunknetze – in Stadt und auf dem Land.

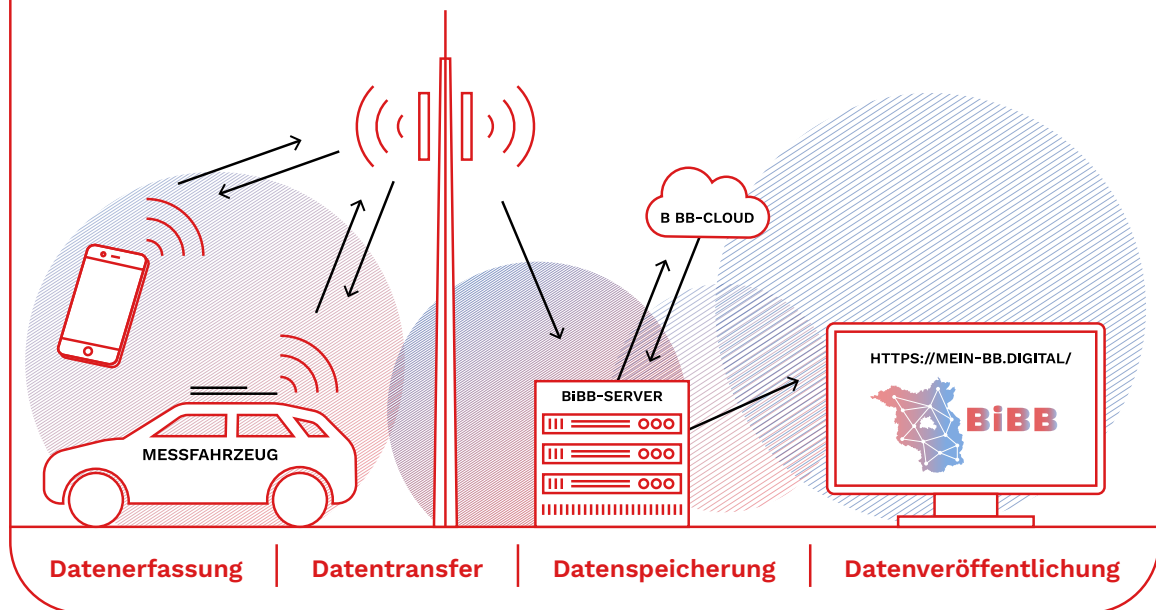
Die Mobilfunknetzbetreiber (MNB) treiben ihren Netzausbau stetig voran. Die Entwicklungen können z.B. den Monitoringberichten und Karten der Bundesnetzagentur (BNetzA) entnommen werden. Den veröffentlichten Daten ist jedoch lediglich zu entnehmen, ob 4G LTE oder 5G NR vorhanden ist. Aussagen über die Qualität können nur durch Vor-Ort-Messungen getroffen werden.

Verantwortliche von Kommunen und Landkreisen benötigen daher zunehmend genaue Kenntnis über die örtliche Mobilfunkversorgung. Ein reales Abbild sorgt für mehr Transparenz und kann als Grundlage für Gespräche mit Akteur:innen und Stakeholdern und für den weiteren Mobilfunkausbau dienen. Die Landesregierung Brandenburgs hat das frühzeitig erkannt und als erstes und bisher einziges Bundesland vom 01.11.2020 bis zum 31.12.2021 eine landesweite Mobilfunkbefahrung vornehmen lassen. Die Ergebnisse können dem Jahresbericht, der auf der Website der DABB veröffentlicht ist, entnommen werden.

In regelmäßigen Abständen beabsichtigt das Land Brandenburg, Wiederholungsfahrten in ausgewählten Gebieten vornehmen zu lassen, um so ein kontinuierliches Monitoring der bestehenden Mobilfunkversorgung zu erhalten. In der Zeit von 14.11.2022 bis 13.01.2023 haben daher durch die atene KOM beauftragte Messfahrten in ausgewählten Gemeinden in Nord-, Mittel- und Südbrandenburg stattgefunden. Untersucht wurde erneut die Mobilfunkversorgung der drei etablierten Netzbetreiber Telekom, Vodafone und Telefónica. Insgesamt wurden 8.250 Kilometer befahren und über 14 Millionen Datensätze erhoben.

Das Befahrungsgebiet wurde für die Erfassung in Hexagone mit 80m Kantenlänge gerastert. Die im Rahmen der Messungen ermittelten Daten wurden innerhalb eines

Messtechnik zur Mobilfunkversorgung



Hexagons aggregiert. Das heißt, für die Betrachtung der Mobilfunktechnologien und -frequenzen wurden die verfügbaren Technologien bzw. Frequenzbänder pro Hexagon ermittelt, für die Analyse der Signalpegelqualität wurden die erfassten Pegel gemittelt.

Die Analyse der erfassten Daten zeigt, dass der Rollout der 5G-Technologie¹ in den untersuchten Gebieten deutlich an Fahrt gewonnen hat: in 66,3 % der Hexagone konnte 5G gemessen werden. Bei der Befahrung 2021 war 5G lediglich in 17,9 % der Messhexagone verfügbar. Die Analyse zeigt aber auch, dass die Empfangsbedingungen in 24,4 % der Hexagone nicht ausreichend waren - hier konnte weder bei 4G noch bei 5G die erforderliche Signalpegelversorgung von -109 dBm ermittelt werden. Gebiete, in denen -109 dBm unterschritten und die Datenvorgaben von 2 Mbit/s Down- und 512 Kbit/s Upload nicht erreicht werden, gelten gemäß der Bundesnetzagentur (BNetzA) als unterversorgte Gebiete [1, 2]. In diesen sogenannten weißen Flecken wird der Mobilfunkausbau gefördert, wenn keine Erschließung durch die Mobilfunknetzbetreiber geplant ist und eine Versorgung über den Markt auch in den nächsten drei Jahren nicht zur erwarten ist.

¹Hierbei handelt es sich um die sog. 5G NR NSA-Variante (mehr dazu in Kapitel 4.3).

Die Straßen in Brandenburg sind überwiegend mit LTE versorgt²: auf 98,6 % der Autobahnen, 93,4 % der Bundesstraßen und 86,4 % der Gemeindestraßen ist anbieterübergreifend LTE verfügbar. Für die weiteren Straßentypen wurde eine LTE-Versorgung von 85,6 % für Land- und 82,3 % für Kreisstraßen, sowie 69,3 % für Wirtschaftswege ermittelt. Insgesamt wurde bei 84,3 % der Straßenkilometer eine ausreichende LTE-Versorgung festgestellt. Allerdings wird diese Versorgung mehr mit als -109 dBm nur durch die Präsenz verschiedener Mobilfunknetzbetreiber erreicht: Telekom deckt 73,5 % der Straßenkilometer ab, Telefónica 58,9 % und Vodafone 42,6 %.

In über 85 % der Messungen wurde eine Downloadrate von über 2 Mbit/s und ein Pingwert unter 80ms gemessen. Damit lassen sich gängige Internetanwendungen wie Videotelefonie oder Video- und Audiostreaming nutzen.

Ein Blick auf die betrachteten Regionen ergibt zusammenfassend folgendes Bild:

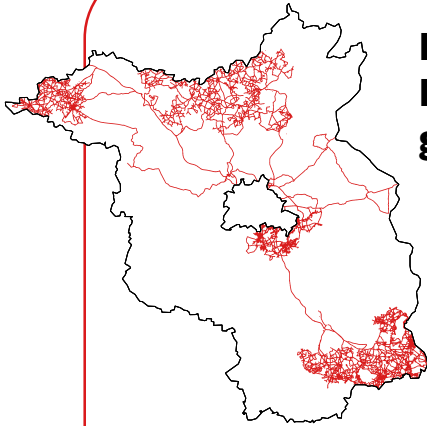
- Die Versorgung in Nordbrandenburg kann als ausbaufähig bezeichnet werden. Viele Gemeinden profitieren bereits von dem 5G NR NSA Ausbau, allerdings noch in einer geringen Qualität. Das gilt auch für die 4G-Abdeckung. Die Versorgung der Gemeinden Weisen, Gransee, Karstädt oder Sonnenberg kann mit Blick auf 4G und 5G dagegen bereits als gut bezeichnet werden.
- Die Mobilfunkversorgung im betrachteten Teilgebiet Mittelbrandenburg ist bereits gut. Der 5G NR NSA-Ausbau ist weit fortgeschritten, die Signalpegel überschreiten zu einem Großteil den kritischen Wert von -109 dBm, sowohl für 4G als auch für 5G.
- In Südbrandenburg wurde in vielen Gemeinden eine schlechte Mobilfunkversorgung ermittelt. Für 24 Gemeinden wurde in weniger als 85 % der Hexagone 5G NR NSA ermittelt, in fünf Gemeinden wurde kein 5G gemessen. Die 4G LTE-Signalpegelversorgung ist in 16 Gemeinden in weniger als 70 % der aggregierten Messdaten ausreichend. Es gilt hier künftig die Pegelqualität zu steigern. Gleiches gilt für 19 Gemeinden in Bezug auf die 5G NR NSA Signalpegelversorgung.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die bestehenden Mobilfunknetze noch Ausbau- und Verbesserungspotenzial aufweisen. Neben der Schließung unversorgter Gebiete gilt es nun zunehmend, den Fokus auf die Qualität der Netze zu richten. Um die künftigen Datenmengen zu bewältigen und mobile Echtzeit- und 5G-Anwendungen flächendeckend implementieren zu können, wird eine mittelfristige Netzverdichtung mit Spektrum oberhalb 1 GHz auch außerhalb der städtischen Gebiete notwendig. Innovative mobile Lösungen und 5G-Anwendungen lassen sich nur dann erfolgreich und zeitnah einführen, wenn auch entsprechend leistungsfähige Netze zur Verfügung stehen. Dabei dürfen derartige Innovationen nicht auf Städte und Ballungsgebiete begrenzt sein.

Die im Rahmen der Messfahrten gewonnenen Daten können als Grundlage dienen und dabei unterstützen, den Netzausbau gezielt voranzutreiben.

²Bezogen auf die in der Befahrung erfassten Straßen.

Factsheets



In Brandenburg wurden von
November 2022 bis Januar 2023
großräumig Messwerte erhoben.

8.250

befahrene
Kilometer

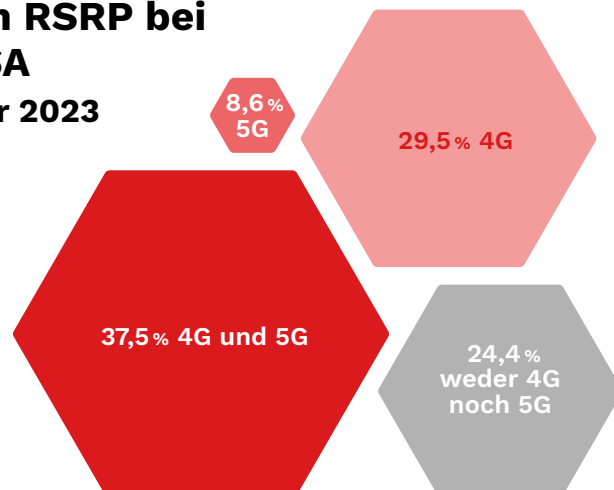
14,2 Mio.

erfasste
Messwerte

Mobilfunkversorgung mit
mindestens -109 dBm RSRP bei
4G LTE und 5G NR NSA
November 2022 bis Januar 2023

75,6%

≥ -109 dBm RSRP
bei 5G und/oder 4G

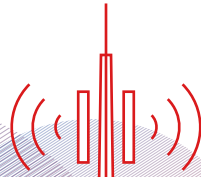


Datenraten und Latenzmessungen November 2022 bis Januar 2023

89,9%
Ping < 250 ms



85%
Ping < 80 ms



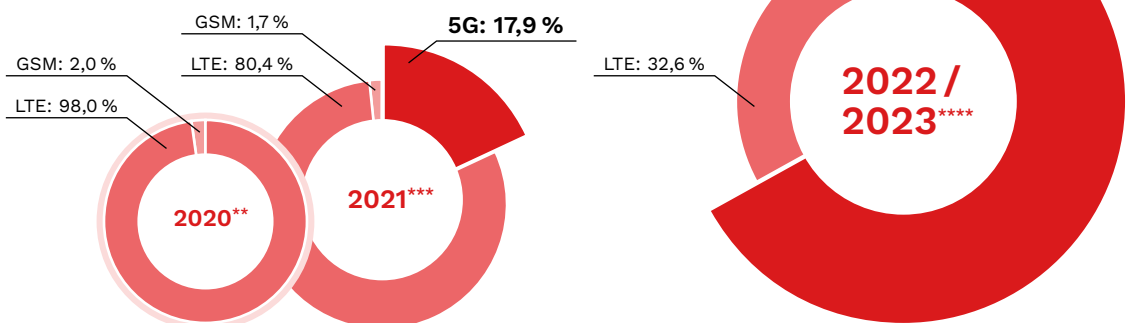
88,9%

Downloadrate
> 2 Mbit/s



Ermittelte Netzabdeckung seit Technologieeinführung

5G*: 67,0%



* Hierbei handelt es sich um die sog. 5G NR NSA-Variante (mehr dazu in Kapitel 4.3)

** 2020: Flächendeckende Erhebung ca. 38.468 km

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

**** 2022/2023: Folgerhebung ausgewählter Gebiete ca. 8.250 km

Inhaltsverzeichnis

Grußwort	2
Zusammenfassung	4
Factsheets	7
Inhaltsverzeichnis	9
1 Einleitung	10
2 Messung	11
2.1 Messfahrzeuge	12
2.2 Methodische Auswertung	13
3 Messkampagne 2022/2023	21
4 Messergebnisse	23
4.1 Mobilfunktechnologie	24
4.2 LTE-Signalpegel	30
4.3 NR-Signalpegel	35
4.4 Mobilfunkversorgung	40
4.5 Frequenzbänder	42
4.6 Datendurchsatz und Ping	45
5 Ergebnisse nach Regionen	49
5.1 Nordbrandenburg	50
5.2 Mittelbrandenburg	54
5.3 Südbrandenburg	56
6 Weiterführende Auswertungen	60
6.1 LTE-Versorgung nach Straßentypen	60
6.2 Plausibilisierung der Messdaten	61
6.3 Modellierung der LTE-Flächenversorgung	65
7 Fazit	67
Abbildungsverzeichnis	70
Kartenverzeichnis	71
Tabellenverzeichnis	71
Abkürzungsverzeichnis	72
Literaturverzeichnis	73
Impressum	75

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Digitalisierungsvorhaben in Brandenburg, spielen Technologien zur Vernetzung eine entscheidende Rolle. Innovationen, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Stärkung der gesellschaftlichen Teilhabe sind ohne leistungsfähige Kommunikationsnetze nicht realisierbar. Der Mobilfunk stellt eine Schlüsseltechnologie für die digitale Vernetzung dar und bietet somit eine Grundlage für viele neue und innovative Anwendungen. Die lückenlose Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit und Stabilität der Mobilfunknetze erhöhen die Lebensqualität der Bürger:innen, stärken die Wirtschaftskraft des Standortes und steigern die touristische Attraktivität der Region.

Insbesondere in dünn besiedelten Regionen lassen sich durch ein lückenloses und stabiles Mobilfunknetz verbesserte Standortbedingungen realisieren, die die Grundlage für moderne Lebensverhältnisse darstellen. Die Ermittlung von Chancen und Herausforderungen digitaler Infrastrukturen in der Daseinsvorsorge sowie der Bedarf einer wirksamen und gezielten Planung von digitalen Anwendungen machen eine valide Datenbasis in diesem Zusammenhang unabdingbar. Mehr noch, um ein kontinuierliches Monitoring der Mobilfunkversorgungslage abzubilden und Fortschritte im Netzausbau zu erkennen, ist die Erfassung von Daten zur Mobilfunkabdeckung auch in regelmäßigen Abständen sinnvoll und empfehlenswert.

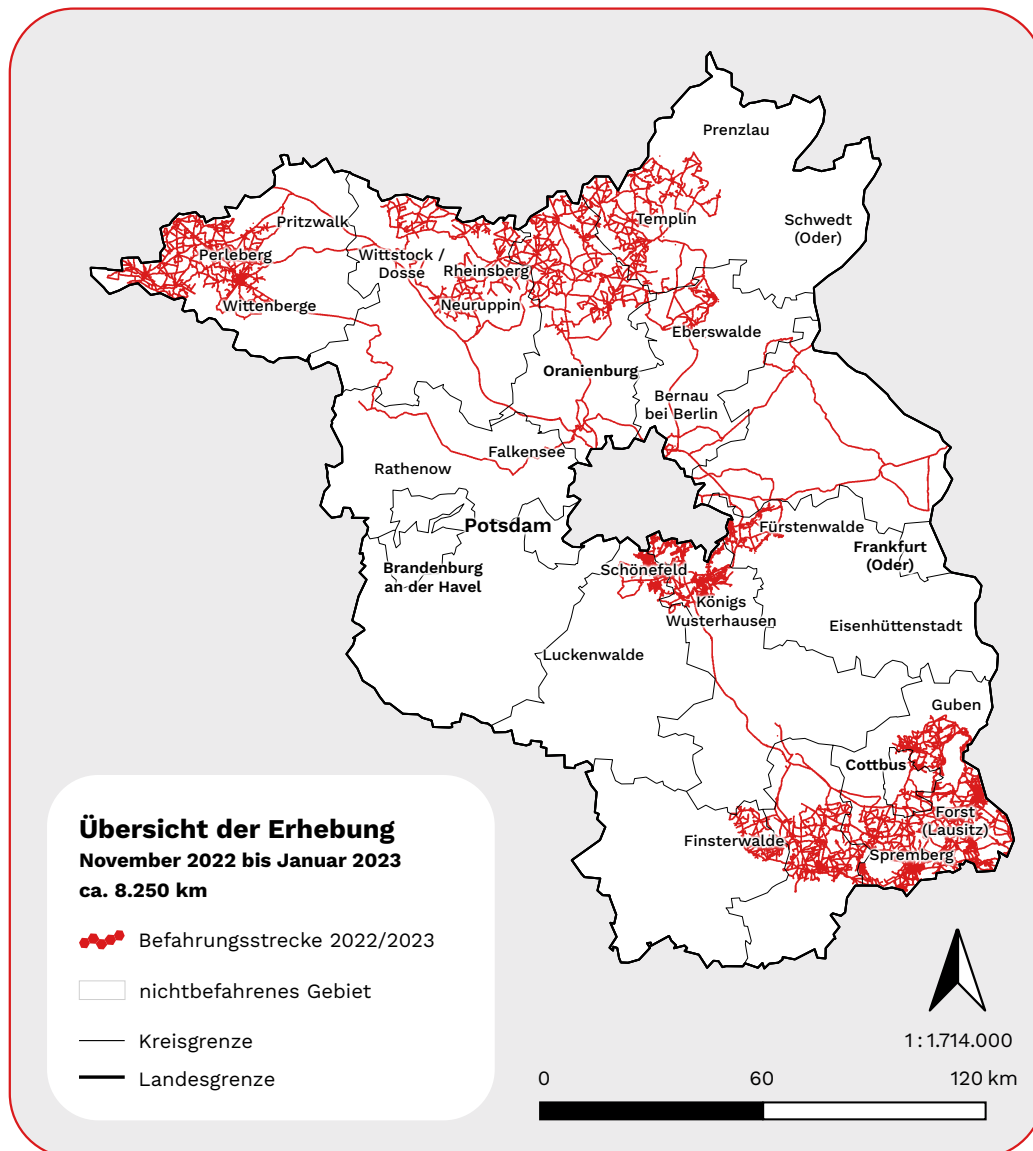
Infolgedessen hat die DigitalAgentur Brandenburg GmbH (DABB) die atene KOM GmbH (atene KOM) erneut mit einer partiellen Bestandsaufnahme und Analyse der aktuellen Mobilfunkversorgungslage beauftragt. Im Zeitraum vom 14.11.2022 bis 13.01.2023 wurden Teilgebiete in Nord-, Mittel- und Südbrandenburg durch die Befahrung des öffentlichen Straßennetzes vermessen.

Mithilfe von Mobilfunkscannern wurde die Zellabdeckung für alle Technologien 2G, 4G und 5G NR NSA und aktive Netzanbieter aufgezeichnet. Zudem wurde eine mobile Datendurchsatzratenmessung durchgeführt. Auf dieser Basis wurde die Mobilfunkversorgung in den jeweiligen Messbereichen ausgewertet und dargestellt, sodass unzureichend versorgte Strecken, sowie sogenannte weiße und/oder graue LTE-Flecken identifiziert wurden. Während bei den 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 Gesamtzeitraum vom 01.11.2020 bis 17.03.2022 wurden bereits verschiedene Messkampagnen durchgeführt. Zunächst erfolgte eine Messkampagne der Mobilfunkversorgung für das gesamte Straßennetz in Brandenburg, sowie eine Folgebefahrung in ausgewählten Gebieten. Mit der nun dritten Untersuchung der Mobilfunkversorgung wurden insgesamt 8.250 Straßenkilometer befahren und bei den Messungen über 14,3 Millionen Datensätze erhoben.

2 Messung

Zur Bestimmung der Mobilfunkversorgung in ausgewählten Gebieten in Brandenburg wurde eine Befahrung mit Messfahrzeugen durchgeführt (siehe Karte 1). Die Befahrungen wurden entlang öffentlicher Straßen³ sowie auf zuvor abgestimmten Hauptwirtschaftswegen im Gebiet Brandenburg durchgeführt.



Karte 1: Befahrene Straßen der Gebiete Brandenburgs
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

³Es wurden Bundesstraßen, Landesstraßen, Kreisstraßen, Gemeindestraßen befahren.

Insgesamt wurden 8.250 km befahren. Während der Befahrungen wurden die Signalpegel der verfügbaren Mobilfunktechnologien sowie mobile Datendurchsatzraten erfasst. Im Fokus stand dabei, wie gut die Mobilfunkversorgung vor Ort ist und ob sich Schlüsse und Ziele für den künftigen Mobilfunkausbau in Brandenburg ableiten lassen.

2.1 Messfahrzeuge

Die speziell ausgestatteten Fahrzeuge sind mit identischen Messaufbauten versehen. Diese bestehen aus eigens entwickelten und kalibrierten Mobilfunkscannern. Abbildung 1 zeigt ein Messfahrzeug von außen. Durch die eingesetzte Messroutine wurden Datenpunkte im Abstand von wenigen Sekunden während der Befahrung erzeugt. Um Signaldämpfungen und Messbeeinträchtigungen durch das Fahrzeugmaterial auszuschließen, ist eine Außenmontage der Messantennen notwendig. Die Antennen der Mobilfunkscanner sind jeweils im Außenbereich des Fahrzeugs auf 1,5 m Höhe⁴ montiert. Dafür wurde ein entsprechender Aufbau auf dem Dach des Messfahrzeugs konstruiert.

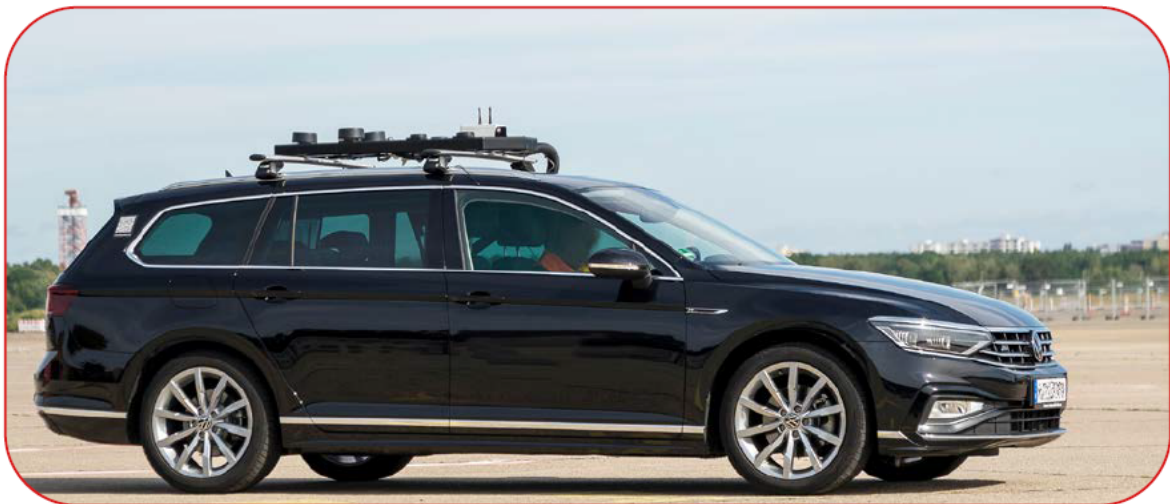


Abbildung 1: Außenansicht eines Messfahrzeugs
Quelle: Florian Schuh, atene KOM GmbH

⁴Gemäß Vorgaben der BNetzA.

2.2 Methodische Auswertung

Mobilfunktechnologie

Bei den durchgeführten Messungen wurden die Signale der drei in Deutschland etablierten Mobilfunknetzbetreiber Telekom, Vodafone und Telefónica ermittelt. Zudem wurde die jeweilige Mobilfunktechnologie erfasst. Hierbei handelt es sich um die drei folgenden Mobilfunkgenerationen:

- 2G Global System for Mobile Communications (GSM)
- 4G Long Term Evolution (LTE)
- 5G New Radio (NR) Non-Standalone (NSA)

5G NR ist die modernste Mobilfunkgeneration und zum Messzeitpunkt nur als sogenannte Non-Standalone (NSA) Variante messbar. Bei NSA baut die Technologie auf den vorhandenen LTE-Strukturen auf. Es handelt sich dabei also um die erste Stufe von 5G, die eingeschränkte Bestandteile der 5G-Technologie zur Verfügung stellt. Das Hauptnetz, das die Weiterleitung der Datenverbindungen übernimmt, basiert also auf der aktuellen LTE-Technologie, wodurch die niedrigen Latenzen von 5G nicht erreicht werden. Die Zugangsnetze nutzen 5G-NR-Technologie. Langfristig soll diese Übergangstechnologie durch die reine 5G NR Standalone (SA) ersetzt werden. 4G LTE ist als vierte Generation des Mobilfunks derzeit noch weit verbreitet. 2G GSM ist in Deutschland die Rückfallebene, d.h. sollte keine andere Technologie verfügbar sein, wird auf 2G zurückgegriffen.

RSRP-Signalpegel

Der gemessene LTE- und NR-Signalpegel Reference Signal Received Power (RSRP) spiegelt die verfügbare Netzqualität wider und wird in Dezibel Milliwatt (dBm) gemessen. Der RSRP-Wert entscheidet für die Auswahl der Funkzelle, in die sich das Endgerät einbucht. Hierbei gilt, je höher der Wert, desto besser der Pegel und damit auch die Versorgungssituation. Zusätzlich ist der RSRP-Wert entscheidend für einen nötigen Zellwechsel bei Verschlechterung des Signalpegels.

Der bei den Messfahrten ermittelte RSRP-Wert kann durch Interferenzen (Einflüsse der Signalstörungen) und Effekte, die durch hohe Zelllasten (hohe zeitgleiche Anzahl von aktiven Nutzenden in einer Mobilfunkzelle) entstehen, beeinflusst werden. Die maximale Anzahl von aktiven Nutzenden ist abhängig von der verfügbaren Bandbreite und der Signalpegelqualität. Der RSRP lässt sich gleichermaßen für LTE und NR in unterschiedliche Qualitätsklassen einteilen (siehe Tabelle 1).

Wie bereits erläutert, hat der RSRP-Wert von -109 dBm — bezogen auf die Förderfähigkeit — eine besondere Bedeutung. Dieser Grenzwert spiegelt die von der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) [2] und der Bundesnetzagentur (BNetzA) [1] angegebene Schwelle für nutzbaren Empfang wider. Gebiete, bei denen sowohl LTE- als auch NR-RSRP -109 dBm unterschreiten und bei denen die Datenvorgaben von 2 Mbit/s Down- und 512 Kbit/s Upload nicht erreicht werden, gelten als förderfähig.

Signalpegel	Benennung	Einschätzung der Nutzerfahrung
≥ -80 dBm	sehr gut/gut	sehr gute / gute Empfangsbedingungen maximale Datenraten möglich
< -80 bis -95 dBm	befriedigend	zweckmäßige Empfangsbedingungen hohe Datenraten möglich
< -95 bis -109 dBm	ausreichend	dürftig aber nutzbar hohe Datenraten selten möglich, es ist mit Abbrüchen zu rechnen
< -109 bis -120 dBm	mangelhaft	wesentlich verschlechterte Nutzbarkeit keine guten Datenraten, eingeschränktes Internet, nahe -120 dBm Verbindungsver- luste
< -120 dBm	kein Signal	kein Verbindungsaufbau möglich Abbruch bestehender Verbindungen

Tabella 1: RSRP-Signalpegel-Abstufungen für 4G LTE und 5G NR

Ein automatischer Auswertungsprozess verarbeitet die Messdaten und erstellt Datensets, die automatisch bei der Berichterstellung eingebunden werden. Der Einteilung von Signalpegeln und Downloadraten in die jeweiligen Qualitätsklassen liegen Erfahrungen aus vergangenen Messfahrten und Feedback aus vergangenen Projekten zu Grunde. Bei der Schärfung der Qualitätsklassen wurde der Blickwinkel – anders als bei den Befahrungen in den Jahren 2020/2021 – von der technologischen Sicht auf die Nutzersicht verschoben. Die Perspektive der nutzenden Person ist für die Lesenden einfacher mit Erfahrungen im Alltag zu assoziieren als die Perspektive der technologischen Möglichkeiten. Zusätzlich wurden die Signalklassen gut und sehr gut zusammengefasst, da die Werte über -65 dBm selten auftraten. Der Wert -109 dBm wurde aufgrund der besonderen Bedeutung bezüglich der Förderfähigkeit gemäß dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) in Zusammenarbeit mit der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) als Übergang zur mangelhaften Versorgung eingeführt [2]. Trotz dieser Anpassungen und der Weiterentwicklung der Messtechnik lassen sich die Messergebnisse der befahrenen Gebiete mit den Messergebnissen aus 2020/2021 vergleichen und Trends in der Versorgungsgüte in den Befahrungsgebieten ableiten.

Messdatenaggregation

Das Befahrungsgebiet wurde zur Analyse der erhobenen Mobilfunkmessdaten in 67.759 Hexagone mit jeweils 80 m Kantenlänge unterteilt. Die im Rahmen der Messungen ermittelten Daten werden jeweils innerhalb der entsprechenden Hexagonfläche aggregiert. Die räumliche Zusammenfassung von Messwerten wirkt der Messdatenverzerrung entgegen, da auf diese Weise die Anzahl der gemessenen Punkte keinen Einfluss auf das Messergebnis nimmt. Explizit heißt das, dass die Orte an denen viele Messdaten aufgenommen wurden, auf der Fläche nicht höher priorisiert werden, als die Orte mit einer geringeren Messdatendichte. So entstehen beispielsweise an einem Stau auf einer Autobahn wesentlich mehr Messdaten als bei normaler Fahrt, da Messdaten pro Zeiteinheit aufgenommen

werden und nicht pro Meter. Je nach Auswertung werden die Messdaten unterschiedlich zusammengeführt. Für die Betrachtung der Mobilfunktechnologien und -frequenzen wurden die modernste Technologie bzw. die Verfügbarkeit der jeweiligen Frequenzbänder pro Hexagon ermittelt und entsprechend klassifiziert, für die Analyse der Signalpegelqualität wurde der Mittelwert aller erfassten Pegelwerte pro Hexagon zur Klassifizierung herangezogen. Zur Auswertung der Datendurchsatz- und Pingmessung wurden für die Up- und Downloadraten jeweils der Maximalwert, für die Ping-Zeiten der Minimalwert pro Hexagon betrachtet. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Aggregation von RSRP-Messdaten zu Hexagonen.

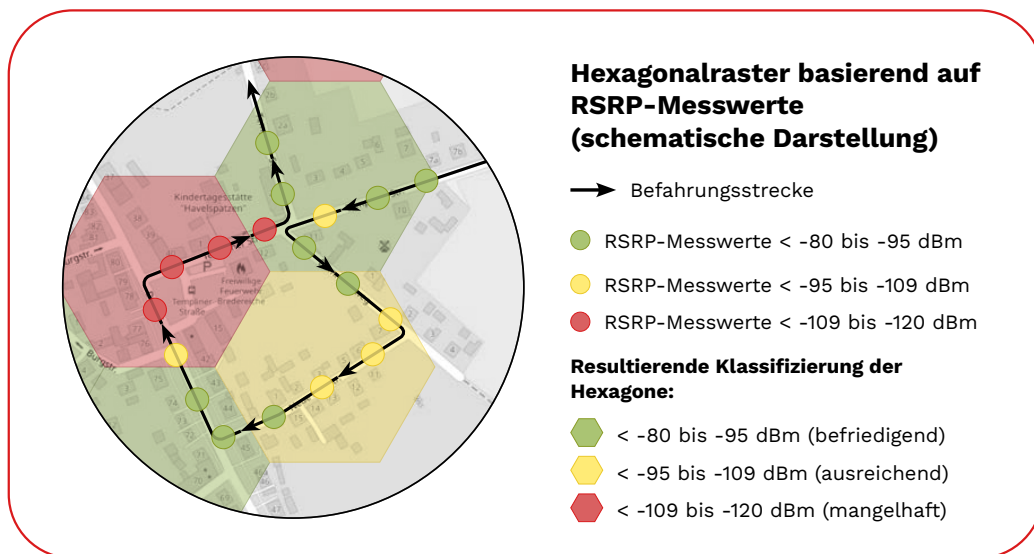


Abbildung 2: RSRP-Messdatenzusammenfassung in einem Hexagon

Frequenzbänder

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. Dafür steigt die verfügbare Bandbreite und die damit erreichbaren Datenraten. Bei der Evaluation wird zwischen Niedrigband (Trägerfrequenzen bis 1,0 GHz), Mittelband (Trägerfrequenzen zwischen 1,0 GHz und 2,0 GHz) und Hochband (2,0 GHz bis 6,0 GHz) unterschieden. Das Millimeterband (Trägerfrequenzen zwischen 24,25 GHz und 27,5 GHz) wurde zum Erhebungszeitpunkt in der Messregion nicht gemessen, da kompatible Messgeräte zum Zeitpunkt der Messungen nur sehr eingeschränkt oder gar nicht verfügbar waren. Zusätzlich war zum Zeitpunkt der Befahrung das Millimeterband in Deutschland nur rudimentär ausgebaut.

GSM wird seit der Einführung 1992 in Deutschland auf den Bändern GSM900 (900 MHz) und GSM1800 (1,8 GHz) betrieben. Für LTE sind aktuell in Deutschland die Frequenzbänder n1 (2,1 GHz), n3 (1,8 GHz), n7 (2,6 GHz), n8 (900 MHz), n20 (800 MHz), n28 (700 MHz) und n32 (1,5 GHz) in Nutzung.

Für 5G sind in Deutschland die Bänder n1 (2,1 GHz), n3 (1,8 GHz), n28 (700 MHz), n78 (3,6 GHz) und n258 (26 GHz) vorgesehen.⁵ 5G Dynamic Spectrum Share (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 in Band n78 (3,6 GHz) 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 schrittweise bundesweit aus.

Das Niedrigband wird generell für größere Abdeckungen genutzt und ist in der Regel am besten ausgebaut. Es besitzt die größte Reichweite, kann allerdings auf Grund der limitierteren Bandbreite pro Trägerfrequenz nicht so hohe Datenraten erzielen, wie höhere Frequenzbänder. Zusätzlich zeichnen sich die niedrigeren Frequenzen durch eine bessere Vegetations- und Materialdurchdringung auf. Es ist mit einer maximalen Reichweite bis zu 10 km zu rechnen. Zu dem Niedrigband werden die Bänder GSM900, n8, n20 und n28 gezählt.

Das Mittelband besitzt eine relativ große Abdeckung, allerdings nehmen die Durchdringungseigenschaften ab. Daher wird bei kleineren Gemeinden, Ortschaften und kleinen Städten häufig zusätzlich auf das Mittelband gesetzt. Die maximalen Datenraten sind höher als beim Niedrigband und es können mehr Nutzer gleichzeitig auf das Mobilfunknetz zugreifen. Hier sind mit maximalen Reichweiten bis 3 km zu rechnen. Die Bänder GSM1800, n3 und n32 sind dem Mittelband zuzuordnen.

Für das Hochband gilt: geringere Reichweite bei mehr Nutzern und höheren Datenraten im Vergleich mit den anderen Frequenzbereichen. Die Penetrations-eigenschaften sind schlechter als die der niedrigeren Frequenzbändern, die

⁵Vgl. BMUV - Welche Frequenzen nutzen die 5G-Netze?

maximale Reichweite beträgt bis zu 2,5 km. Hier werden die Bänder n1, n7 und n78 zugerechnet. In größeren Städten und Orten mit höherer temporärer Population (z.B. für Events, touristische Gebiete mit saisonaler Schwankung) ist daher ein größerer Ausbau mit Hochbandfrequenzen zu erwarten.

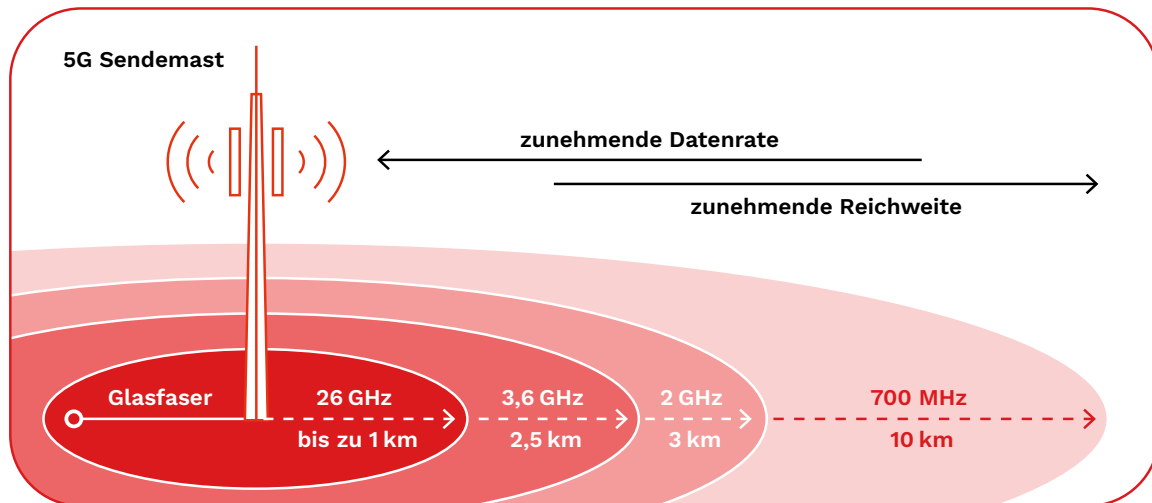


Abbildung 3: Darstellung Zusammenhang Reichweite, Datenrate und Frequenz

Abbildung 3 stellt die Reichweiten schematisch im Zusammenhang mit der Frequenz dar. Die Reichweitenangaben sind hierbei unter Annahme bester Bedingungen erfolgt wie z.B. trockenes Wetter, minimale Belaubung, keine Hindernisse in der Sichtlinie und keine Höhenunterschiede. Unter realen Bedingungen sind diese Reichweiten als Richtwerte zu betrachten und werden selten tatsächlich erreicht. Unter besonderen Umständen kann die Reichweite jedoch auch höher liegen, z.B. wenn ein Mobilfunkmast auf einer Erhöhung (Berg) mit wenig Bewaldung steht.

Der Frequenzplan für Deutschland wird von der BNetzA zur Verfügung gestellt [3]. In den verschiedenen Frequenzbereichen haben die Mobilfunknetzbetreiber Betriebsbänder, die für die Mobilfunkübertragung genutzt werden können.

Datendurchsatz und Ping

Die Up- und Downloadrate sind ein Maß dafür, wie viele Daten pro Sekunde verarbeitet werden können. Die Datenrate wird in der Einheit Megabit pro Sekunde (Mbit/s) ermittelt. Hierzu wird ein Datenpaket auf einen bzw. von einem Server geladen. Der Server ist im Laufe der Messfahrt stets identisch. Zur Analyse der Daten wird die maximal ermittelte Datenrate innerhalb eines Hexagons, wie in Abbildung 2 erläutert, betrachtet. Tabelle 2 stellt typische Internetanwendungen aus den Bereichen Voice over IP (VoIP) und Videokonferenzen, Video- und Audiostreaming und Cloud Gaming dar, für die eine entsprechende Downloadrate benötigt wird.

Anwendung	Downloadratenanforderungen
Voice over IP (VoIP) und Video over IP	Sprache [4] 0,1 Mbit/s Video over IP [5] 0,2 bis 4 Mbit/s
Videokonferenzen	Cisco Webex [6] 0,5 bis 2,5 Mbit/s Zoom [7] 0,6 bis 3,8 Mbit/s
Videostreaming	Youtube [8] 0,7 bis 20 Mbit/s Netflix [9] 3 bis 15 Mbit/s
Audiostreaming	Spotify [10] 0,02 bis 0,32 Mbit/s
Cloud Gaming	Xbox Cloud Gaming [11] mindestens 7 Mbit/s

Tabelle 2: Anwendungen und Downloadratenanforderungen

Die Einteilung der Downloadraten in Qualitätsklassen kann Tabelle 3 entnommen werden. Grundlage zur Einteilung sind die Anforderungen aus Tabelle 2.

Downloadrate	Qualität	Einschätzung der Nutzererfahrung
≥ 50 Mbit/s	sehr gut	sehr hohe Datenrate Nutzung von Services in höchster Qualität, selbst von mehreren Nutzenden
20 bis < 50 Mbit/s	gut	gute Datenraten Nutzung von Services in hoher bis höchster Qualität
6 bis < 20 Mbit/s	befriedigend	befriedigende Datenraten Nutzung von Services in mittlerer bis hoher Qualität, Cloud Gaming unter Umständen nicht möglich
2 bis < 6 Mbit/s	ausreichend	ausreichende Datenraten Videokonferenzen nur mit schlechter Qualität, Videostreaming ist in Standardauflösung möglich, Audiostreaming und VoIP uneingeschränkt nutzbar
0,1 bis < 2 Mbit/s	mangelhaft	mangelhafte Datenraten Niedrige Auflösungen bei Videostreaming möglich, es ist mit Buffering zu rechnen, Audiostreaming eingeschränkt, VoIP uneingeschränkt nutzbar
> 0 bis < 0,1 Mbit/s	nicht nutzbar	nicht nutzbare Datenraten
0 Mbit/s	keine Verbindung	kein Verbindungsaufbau möglich

Tabelle 3: Einteilung in Qualitätsklassen für verschiedene Downloadraten und deren Auswirkungen auf Beispielanwendungen

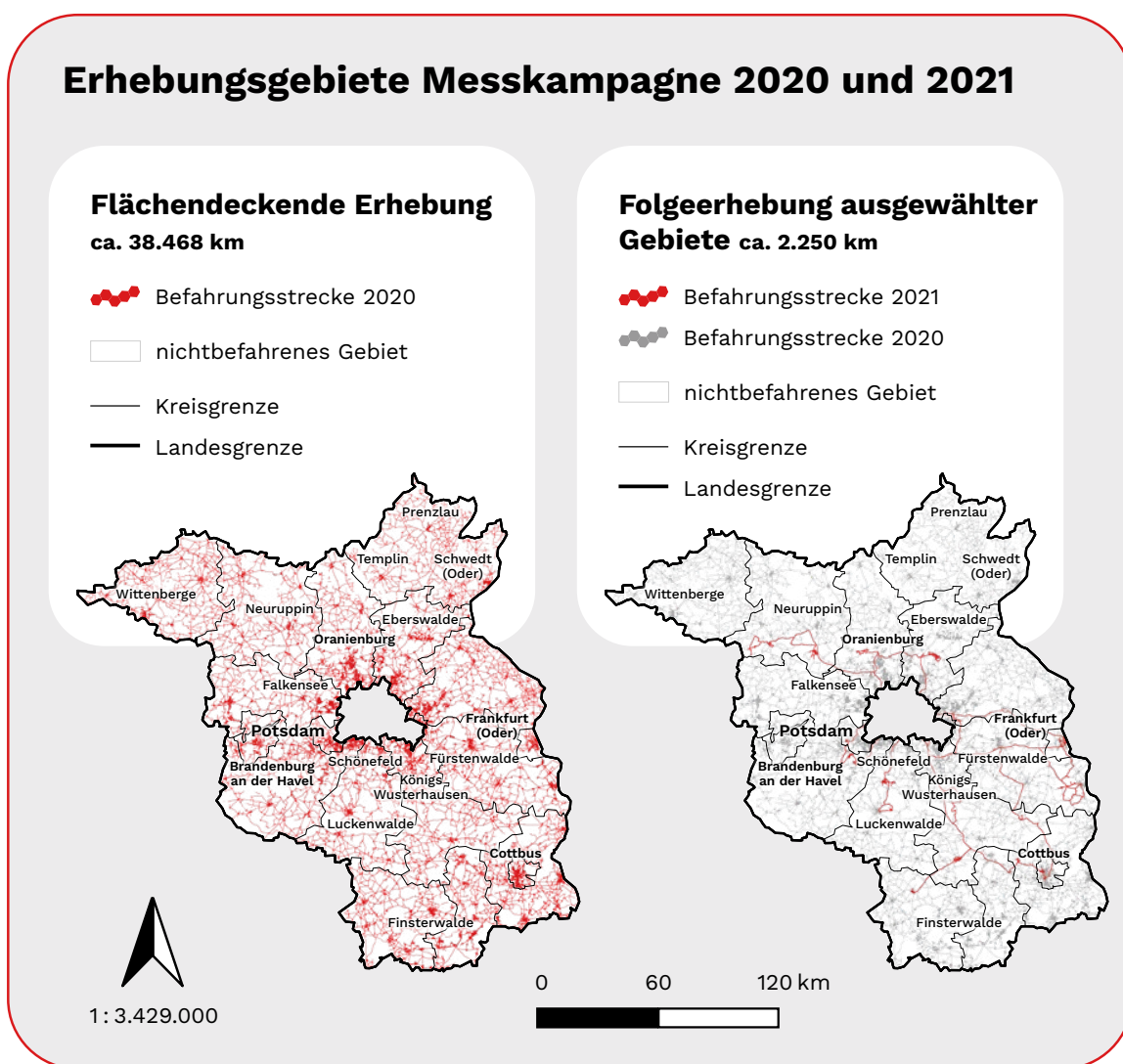
Der Ping bzw. die Latenz misst die Zeitspanne, wie lange ein kleines Datenpaket von einem Endgerät zu einem Server im Internet und zu diesem Gerät zurück benötigt. Dieser Messvorgang wird pro Messung drei Mal ausgeführt, anschließend wird aus diesen drei Messungen der Mittelwert gebildet. Die Ping-Zeit wird in Millisekunden (ms) gemessen. Je niedriger der Ping-Wert, desto schneller kann das Netzwerk auf Anfragen der Nutzenden reagieren. Bei der Analyse der Daten wird der Minimalwert der Latenz innerhalb eines Hexagons betrachtet. Eine Abstufung der Ping-Zeiten mit Einschätzung der Erfahrung der Nutzenden findet sich in Tabelle 4.

Ping	Qualität	Einschätzung der Nutzererfahrung
< 80 ms	gut	gute Laufzeiten Videokonferenzen und VoIP-Anrufe nahezu ohne Verzögerung, Cloud Gaming möglich, kein Einfluss auf Downloadraten
< 250 bis 80 ms	ausreichend	ausreichende Laufzeiten Kommunikation versetzt, Laufzeit zu hoch für Cloud Gaming, Downloadraten können beeinflusst sein
≥ 250 ms	mangelhaft	lange Laufzeiten unbefriedigende Nutzererfahrung, lange Wartezeiten, wahrscheinlich schlechte Datenraten, Verbindungsverluste möglich

Tabelle 4: Einteilung von Pingwerten in Qualitätsklassen und deren Auswirkungen auf Beispielanwendungen

3 Messkampagne 2022/2023

Im Zeitraum vom 14.11.2022 bis 17.03.2023 wurde im Rahmen einer Messkampagne Daten zur Mobilfunkversorgung in Teilgebieten in Nord-, Mittel und Südbrandenburg (siehe Karte 1) erhoben. Es handelt sich dabei bereits um die dritte Messkampagne für die Mobilfunkversorgung im Land Brandenburg. Die erste Messkampagne wurde vom 01.11.2020 bis zum 19.01.2021 durchgeführt. Sie umfasste das gesamte Straßennetz in Brandenburg. Die zweite Messkampagne wurde als Folgebefahrung im Jahr 2021, vom 08.11.2021 bis zum 31.12.2021 durchgeführt. Dabei wurde die Mobilfunkversorgung in kleineren Gebieten, über Brandenburg verteilt, erfasst. In Karte 2 sind die Befahrungen aus den Vorjahren dargestellt.



Karte 2: Befahrene Straßen 2020 und 2021
Quelle: atene KOM GmbH 2020/2021

Im Rahmen der Erhebung der Messkampagne 2022/2023 wurden in den verschiedenen Regionen im Land Brandenburg 8.250 Straßenkilometer systematisch erfasst. In Nordbrandenburg wurden die Gebiete Prignitz, Oberhavel und Teilgebiete der Ostprignitz-Ruppin und Uckermark befahren. In Mittelbrandenburg wurden Teilgebiete der Landkreise Teltow-Fläming, Dahme-Spreewald und Oder-Spree gemessen. In Südbrandenburg wurde die Lausitz befahren. Zum einen handelt es sich hier um Gebiete, in denen künftige (Förder)- Projekte zum Beispiel im 5G-Bereich realisiert werden sollen. Zum anderen sollten Gebiete betrachtet werden, in denen Mobilfunknutzer: innen eine Unterversorgung meldeten.

Die Messung des Mobilfunks und des Datendurchsatzes wurde entlang öffentlicher Straßen während der Fahrt durchgeführt. Die Messung des Datendurchsatzes erfolgte erstmalig mobil und nicht wie im Jahr 2021 stationär. Damit ist eine umfassendere Betrachtung des Datendurchsatzes möglich und es können weitere Tendenzen abgeleitet werden. Die befahrenen Straßen können der Karte 1 entnommen werden.

4 Messergebnisse

Verwendung der Ergebnisse

Die Erkenntnisse aus dem Projekt ermöglichen Rückschlüsse über Potenziale und Herausforderungen beim Netzausbau und der digitalen Daseinsversorgung 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 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 erfassten Daten und deren Visualisierung können unterschiedliche Auswertungen durchgeführt werden, um die Netzabdeckung, Versorgungsgüte und die sogenannten weißen bzw. grauen Flecken im Mobilfunknetz darzustellen und zu bewerten⁶. Anhand weiterer Informationsgrundlagen im BiBB, wie zum Beispiel Einwohnerzahlen, Besiedlungsdichte oder Flächennutzungen, können tieferegehende Handlungsempfehlungen zum weiteren Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur generiert werden.

Durch die parallele Integration der Daten des Mobilfunk-Monitors und der Funkloch-App in das Breitbandinformationssystem Brandenburg (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 erfassten Mobilfunk-Messdaten in Brandenburg zentral im BiBB gebündelt und können effektiv als Unterstützung im weiteren Ausbau der digitalen Infrastrukturen in Brandenburg eingesetzt werden. Auf Basis valider geplanter Digitalisierungsanwendungen kann daraus für Bürger:innen und die Wirtschaft eine Verbesserung der Standortqualität in Brandenburg geschaffen werden.

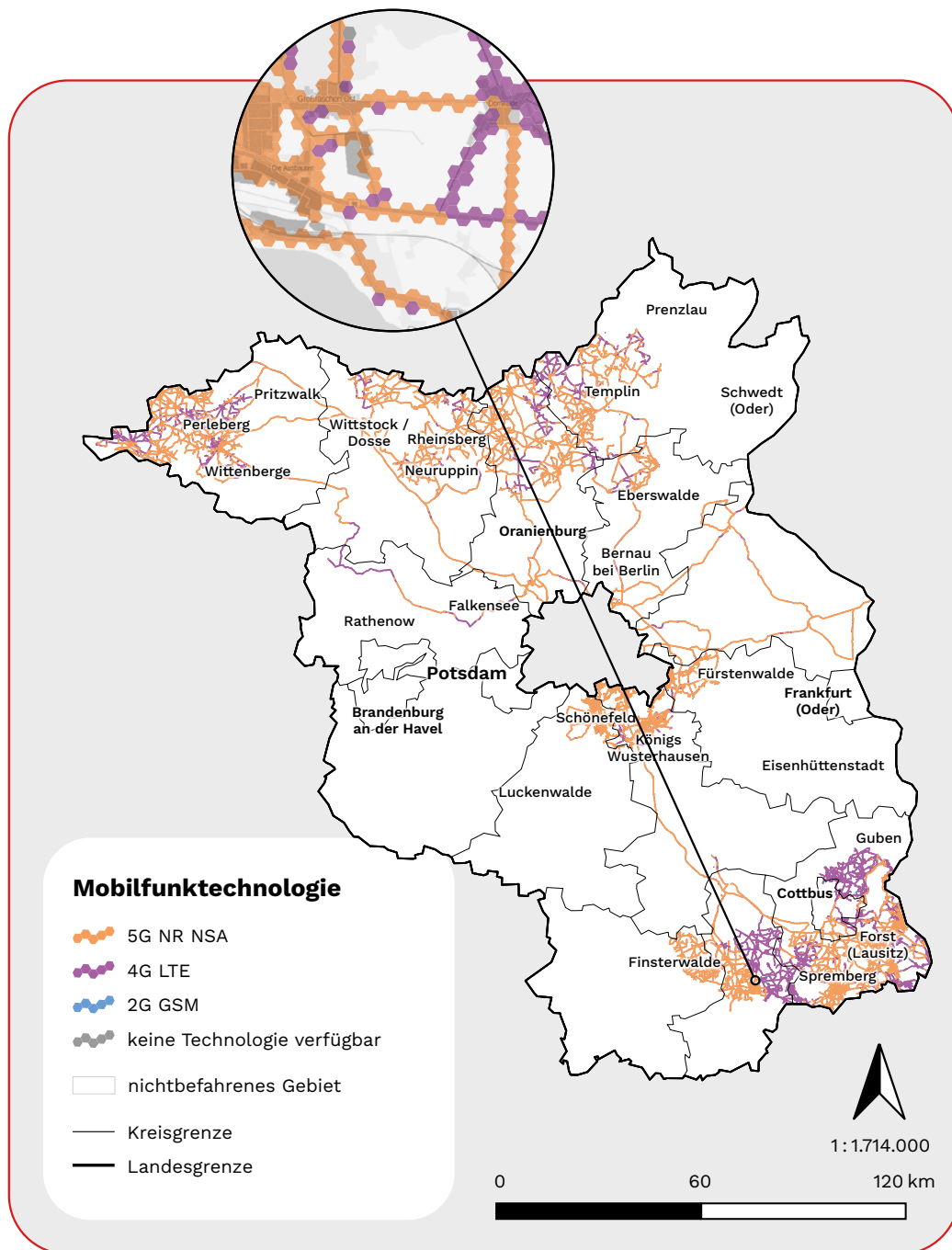
Zur Veranschaulichung der Messergebnisse wurden unterschiedliche Kartendarstellungen angefertigt und in das BiBB übertragen. Auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Darstellungen wird in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen. Die Ergebnisse der Auswertungen werden jeweils anhand von Beispielausschnitten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

^{6*}Im BiBB werden die Befahrungsjahre mit dem aktuelleren Jahr dargestellt. Das heißt beispielsweise das Befahrungsjahr 2020/2021 wird im BiBB mit dem Jahr 2021 abgebildet.

4.1 Mobilfunktechnologie

Modernste Mobilfunktechnologie

Eine Übersicht der gemessenen Mobilfunktechnologien ist der Karte 3 zu entnehmen. Hier wird die modernste verfügbare Mobilfunktechnologie in Hexagonen farbcodiert dargestellt. Großräschen ist in Karte 3 exemplarisch vergrößert dargestellt. Die jeweilige Zuordnung der Technologien kann der Legende entnommen werden.



Karte 3: Modernste gemessene Mobilfunktechnologie im Befahrungsbiet
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

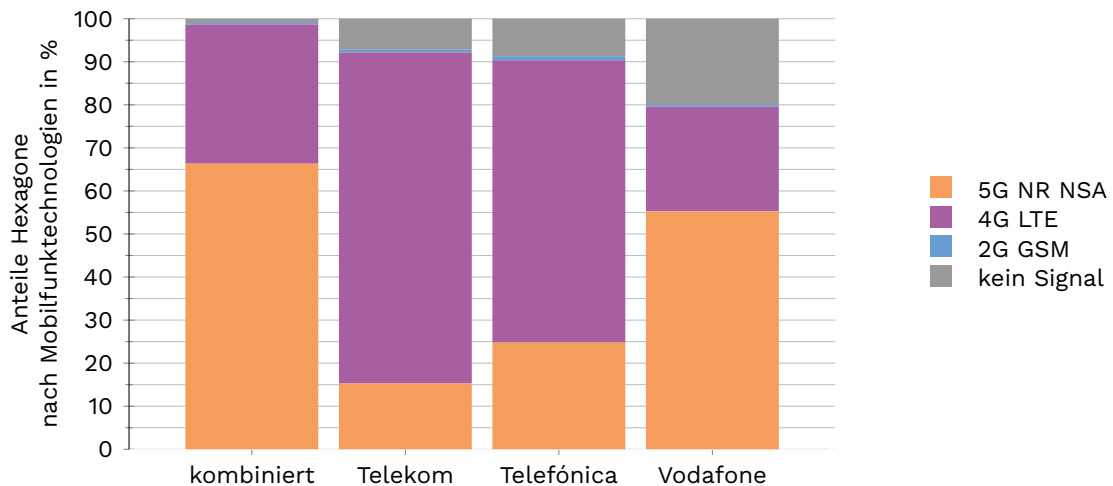


Abbildung 4: Modernste Mobilfunktechnologie kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

Im Messdatenverschnitt sind insgesamt 67.759 Hexagone für die Auswertung der Mobilfunktechnologie entstanden. Alle Prozentangaben beziehen sich auf diese Anzahl an Hexagonen. Für jedes Hexagon wurde jeweils die modernste Mobilfunktechnologie, aller ins Raster fallenden Messwerte bestimmt. Diese Berechnung wurde zunächst für die erfassten Messwerte aller Mobilfunknetzbetreiber durchgeführt. Anschließend wurde auf dieselbe Weise die beste Technologie für die einzelnen Mobilfunknetzbetreiber bestimmt.

Abbildung 4 zeigt die prozentuale Verteilung der gemessenen modernsten Mobilfunktechnologien für alle Anbieter kombiniert sowie aufgeschlüsselt nach den Mobilfunknetzbetreiber (MNB). Mit Blick auf die kombinierte Betrachtung wurde bei 66,3 % der Hexagone die 5G-Versorgung als stärkste verfügbare Technologie ermittelt. Ein Großteil dieser Versorgung erfolgt durch den MNB Vodafone - der Anteil beläuft sich in der Einzelversorgungsmessung auf 55,3 %. MNB Telefónica folgt mit 24,7 %, MNB Telekom erreicht 15,3 %. Dort wo kombiniert kein 5G verfügbar war, wurde zu 32,3 % LTE als modernste Technologie erfasst. Bei dem MNB Vodafone liegt dieser Wert bei 24,3 %, bei dem MNB Telefónica 65,6 % und bei dem MNB Telekom 76,9 %. 2G GSM kommt laut der Messungen mit 0,3 % insgesamt selten als Rückfallebene zum Einsatz. Pro MNB ergeben sich für den MNB Vodafone 0,4 %, für den MNB Telekom 0,6 % und für den MNB Telefónica 0,9 %. Schließlich wurden 1,0 % von keinem MNB abgedeckt werden. Die von dem MNB Vodafone zugeordneten Werte wiesen zu 20,1 % „kein Signal“ auf, das heißt, es konnte keine Verbindung zu einem Mobilfunknetz aufgebaut werden. Bei dem MNB Telefónica ist dies in 8,7 % und bei dem MNB Telekom in 7,2 % der Messungen der Fall.

Verteilte Mobilfunktechnologie

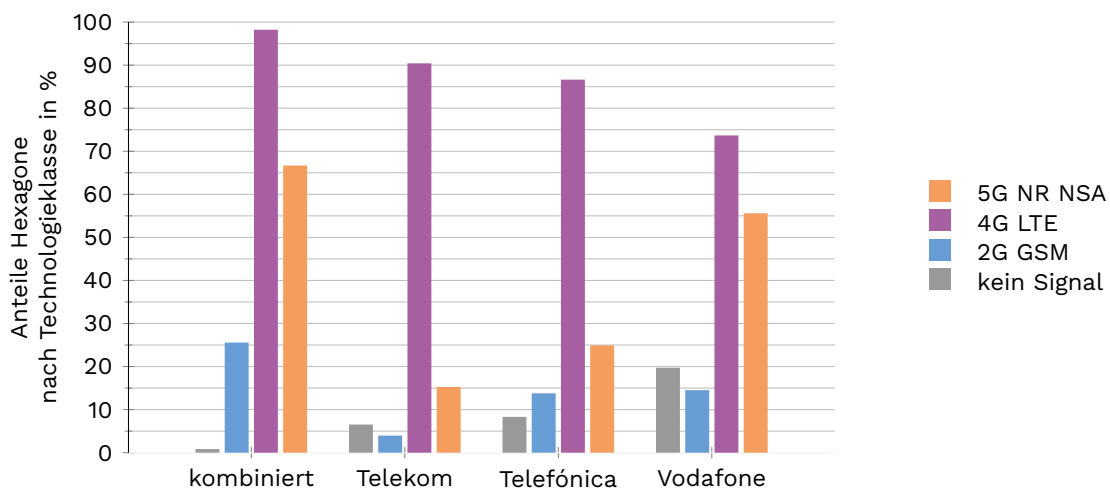


Abbildung 5: Mobilfunktechnologien kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

In dieser Auswertung wird pro Rasterabschnitt nicht nur die modernste, sondern alle verfügbaren Mobilfunktechnologien ermittelt. Anschließend wird bestimmt, in wieviel Prozent aller Rasterabschnitte der Befahrung die jeweilige Technologie gemessen werden konnte. In Abbildung 5 sind die auf die Hexagone verteilten Mobilfunktechnologien je MNB dargestellt. Diese Auswertung unterscheidet sich von der Darstellung der modernsten Technologie, da die Säulen in Abbildung 5 nicht kumuliert 100 % vergeben.

Für 5G NR konnten, analog zur vorigen Auswertung, die gleichen Anteile ermittelt werden, da alle NR-Hexagone zuvor bereits als beste Technologie berücksichtigt wurden. In 98,2 % der Hexagone wurde eine 4G LTE-Abdeckung ermittelt, die MNB tragen zum Teil allein, zum Teil gemeinsam zum Erreichen dieser Werte bei: der MNB Telekom stellt in 90,4 % der Hexagone 4G LTE bereit, der MNB Telefónica in 86,6 % und der MNB Vodafone in 73,7 %.

Die Verfügbarkeit der zweiten Mobilfunkgeneration GSM wurde in 25,6 % aller Hexagone ermittelt. Für die einzelnen Netzbetreiber zeigen sich bei der GSM-Versorgung folgende Anteile: der MNB Vodafone 14,5 %, der MNB Telefónica 13,8 % und der MNB Telekom 4,0 %. Für die Ermittlung „kein Signal“ gelten die gleichen Werte wie bei der Auswertung der besten Technologie in Abbildung 4.

Vergleich mit den Befahrungen in den Jahren 2020 und 2021

In den Jahren 2020 und 2021 wurde die Mobilfunkversorgung im Bundesland Brandenburg durch Befahrungen ermittelt. Im Jahr 2020 wurde das gesamte Bundesland befahren, im Jahr 2021 ein ausgewähltes Teilgebiet. Im Jahr 2020 sind 247.230 Hexagone im Messdatenverschnitt für die Auswertung entstanden, im Jahr 2021 12.699 Hexagone und im Jahr 2022/2023 67.759 Hexagone. Überlappend wurden 3.849 Hexagone in allen drei Befahrungsjahren ermittelt.

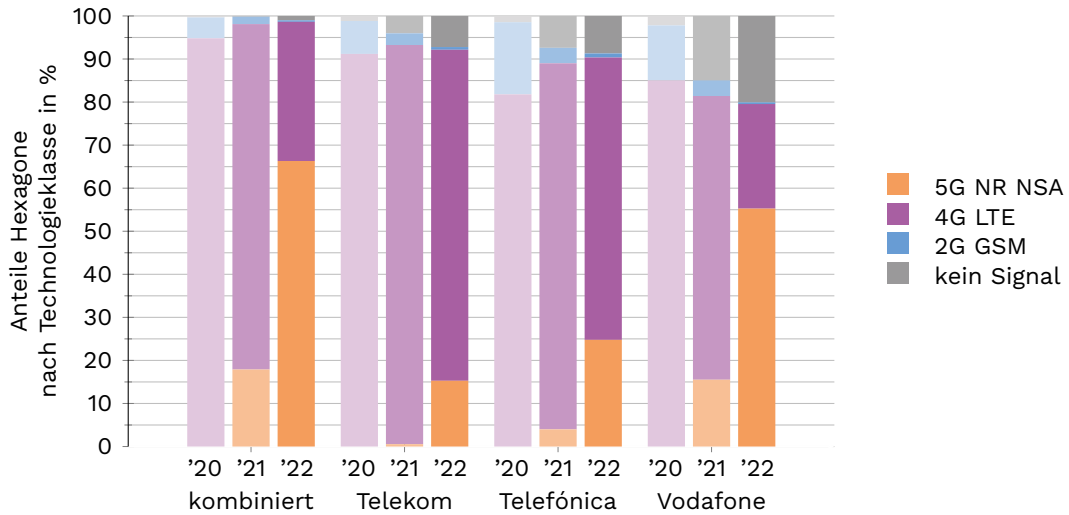


Abbildung 6: Vergleich Mobilfunktechnologie kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber gesamtes Befahrungsgebiet 2020, 2021 und 2022/2023

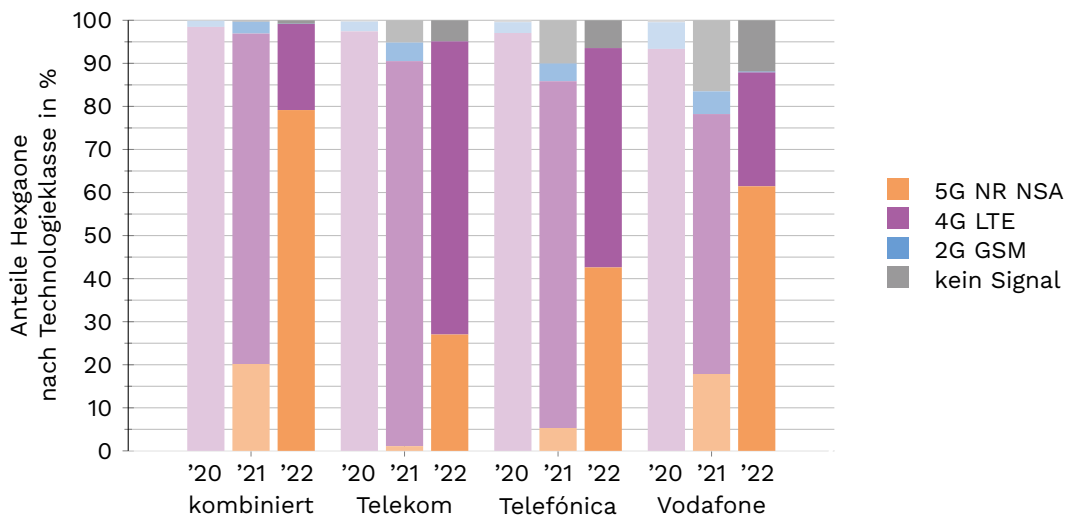


Abbildung 7: Vergleich Mobilfunktechnologie kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber identische Befahrungsgebiete 2020, 2021 und 2022/2023

Abbildung 6 stellt die Messergebnisse der jeweils modernsten Mobilfunktechnologie aus den Befahrungsjahren 2020, 2021 und 2022 gegenüber. Es werden pro MNB die

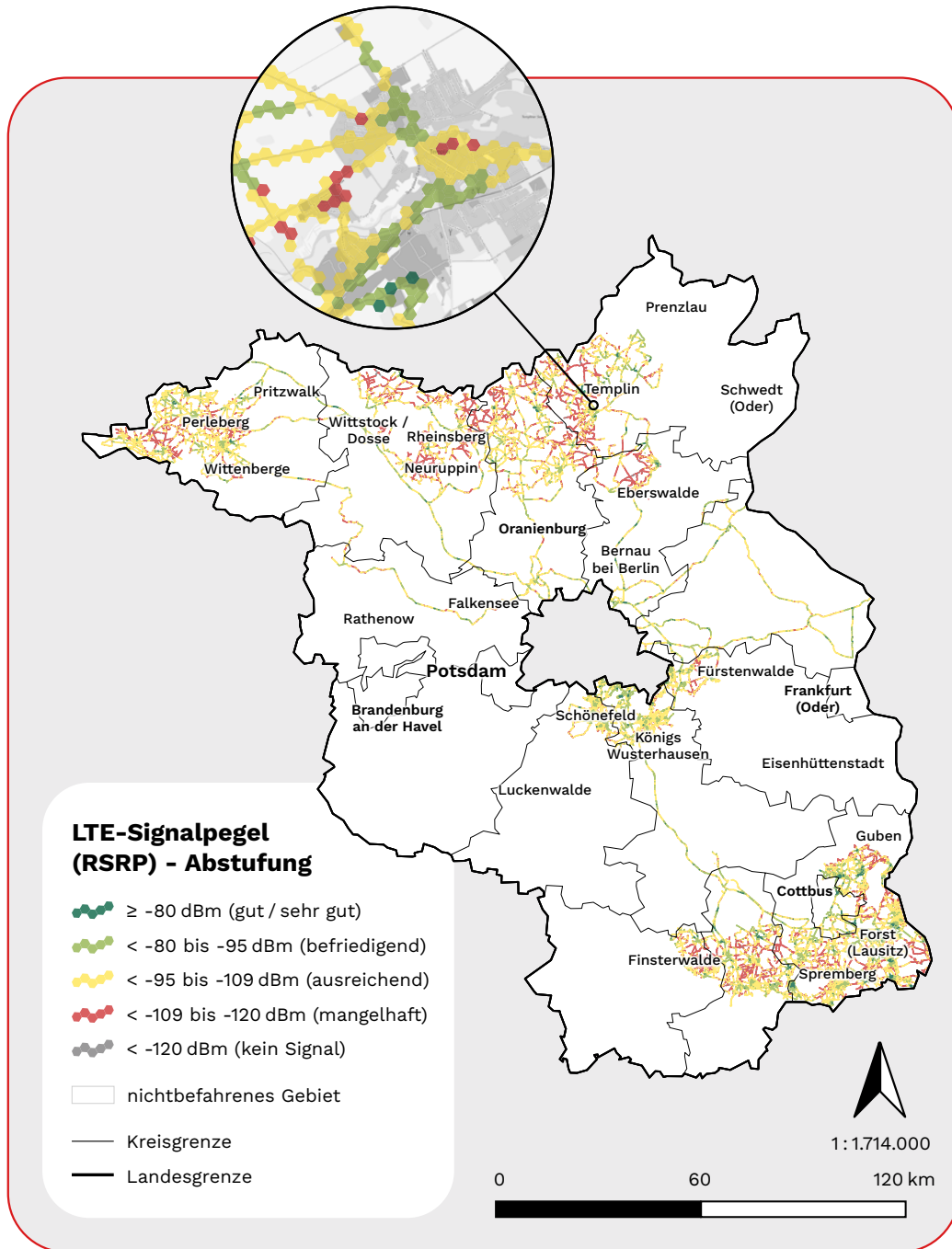
Mobilfunktechnologie-Anteile dargestellt. In dieser Abbildung geht es explizit um die gesamten Befahrungsgebiete der jeweiligen Befahrungen. Zu beachten ist, dass in den Befahrungen nicht immer alle Regionen Brandenburgs erfasst wurden. Damit sind die Säulendiagramme nicht zum direkten Vergleich geeignet, sondern als Auswertung der kompletten Messdaten zu sehen. In Betrachtung aller Messdaten aus den Befahrungen ist ein steigender Wert an 5G ermittelt worden, sowohl kombiniert als auch für jeden einzelnen MNB. Von 2021 mit 17,9 % in der kombinierten Betrachtung zu 66,3 % im Jahr 2022. Der Anteil an 2G GSM als modernste verfügbare Technologie ist zurückgegangen, von 4,8 % in 2020 auf 0,3 % in 2022. Diese beiden Beobachtungen sprechen für einen weiteren 4G- und 5G-Ausbau von 2020 bis 2022.

In Abbildung 7 wird die gleiche Auswertung wie in Abbildung 6 vorgenommen, jedoch nur für diejenigen Hexagone, die in allen drei Jahren befahren wurden. Damit sind die Verteilungen vergleichbar und können den Ausbaufortschritt zeigen.

Die Beobachtungen aus den gesamten Befahrungsgebieten setzen sich auch hier fort. Wieder ist der kombinierte Anteil an 5G von 20,2 % in 2021 auf 79,1 % in 2022 angestiegen. Auch 2G wurde seltener gemessen, 2020 waren 1,4 % mit maximal 2G versorgt, 2021 etwas mehr, nämlich 2,7 % und 2022 lediglich 0,05 %. Der Rückgang von 2G spricht für einen breiteren Ausbau von 4G.

4.2 LTE-Signalpegel

Die gemessenen RSRP-Hexagone LTE-Signalpegel, die in Kapitel 2.2 näher beschrieben sind, wurden in Karte 4 visualisiert. Der RSRP, eine Metrik für die Empfangsleistung, wird pro Hexagon über alle Messdaten der drei Mobilfunknetzbetreiber gemittelt und in Signalpegelabstufungen kategorisiert. Templin ist in Karte 4 exemplarisch vergrößert dargestellt.



Karte 4: Gemessene RSRP LTE-Signalpegel im Befahrungsgebiet
Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

Für die befahrende Straßenfläche wurde zu 98,2 % (66.556 von 67.759 Hexagonen) eine LTE-Versorgung ermittelt (siehe Karte 4). Von dieser Fläche bedient der MNB Telekom 92,0 %, der MNB Telefónica 88,2 % und der MNB Vodafone 75,0 % mit LTE. Für 1,8 % der befahrenen Fläche konnte keine LTE-Versorgung gemessen werden.

Abbildung 8 stellt die kumulative Verteilungsfunktion der RSRP-Werte innerhalb der 66.556 LTE-Hexagone dar. Auf der x-Achse sind die ermittelten Messwerte dargestellt. Die y-Achse zeigt die kumulative Wahrscheinlichkeit in Prozent, d.h. wie viel Prozent der Messwerte über oder unter dem jeweiligen Messwert liegen. Zusätzlich ist der Hintergrund der Darstellung mit den erläuterten Signalpegelabstufungen farbcodiert. Der Grenzwert von -109 dBm ist mit einer schwarz gestrichelten Linie hervorgehoben. Dieser Grenzwert spiegelt die von der MIG [10] und der BNetzA [11] angegebene Schwelle für ausreichenden Empfang wider. Der Darstellung können so die Verteilung der Werte, Tendenzen und die prozentuale Anzahl der Werte in den RSRP-Klassen entnommen werden. Generell gilt, je weiter links eine Kurve verläuft, desto schlechter ist die Empfangsleistung. Ist die Kurve steiler, sind weniger Schwankungen zwischen den Werten auszumachen.

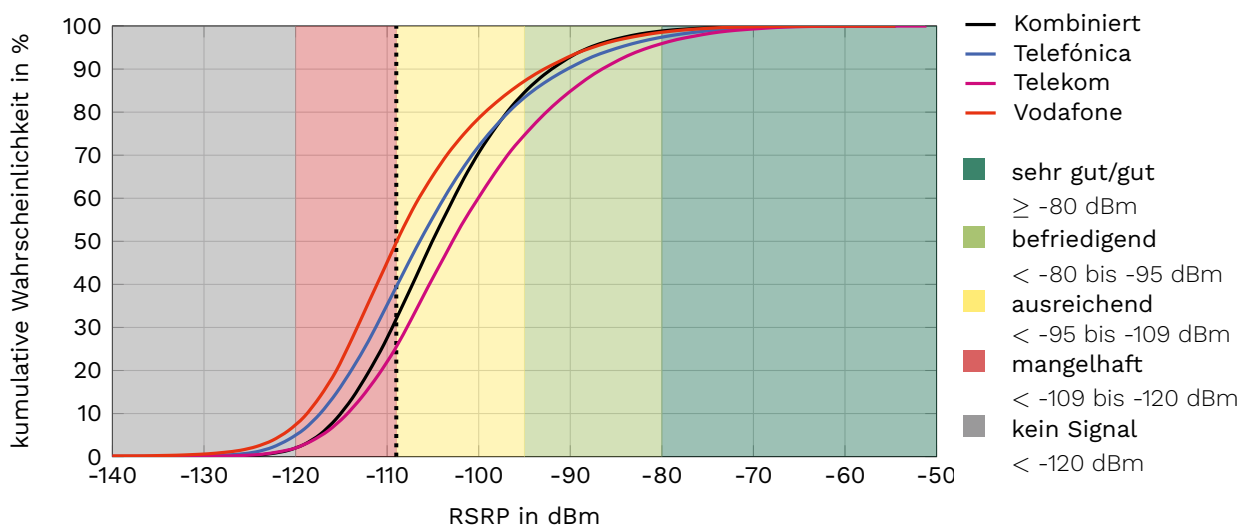


Abbildung 8: Kumulative Verteilungsfunktion 4G LTE RSRP
kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Kurve des MNB Vodafone am weitesten links liegt, rechts daneben die des MNB Telefónica und davon rechts die Kurve des MNB Telekom. Die Kurve der kombinierten Werte aller MNB liegt zum großen Teil zwischen den Kurven der jeweiligen MNB. Je größer dieser Anteil ist, desto gleichmäßiger ist die Versorgung der MNB. Generell besitzen die Kurven aller MNBs einen sehr ähnlichen Verlauf, nur an unterschiedlichen Leistungspegeln. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass die gemessenen Vodafone-Werte im Schnitt die geringste Leistung aufzeigen. Die Kombination aller Messwerte kann außerhalb der einzelnen MNB-Kurven liegen. Ab -95 dBm entspricht die kombinierte Kurve in etwa der Kurve von dem MNB Vodafone. Sollte ein MNB gute RSRP-Werte aufweisen, sind für die anderen MNB häufig schlechtere Werte auszumachen. Die kombinierte Kurve wird dadurch zentrierter und im Bereich -115 dBm bis -95 dBm auch steiler als die anderen Kurven.

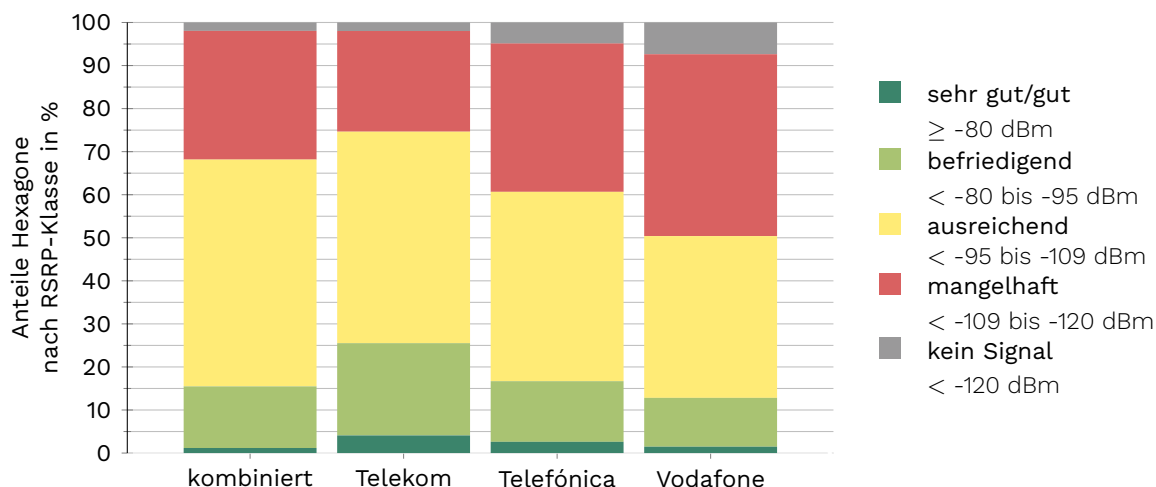


Abbildung 9: 4G LTE-Signalpegelklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

In Abbildung 9 sind die kombinierte, sowie die einzelne LTE-Versorgung der drei MNB aufgeschlüsselt. Die LTE-Signalpegelqualität der kombinierten Versorgung liegt zu 68,2 % im Bereich ausreichend bis sehr gut, wobei 52,7 % der Werte der Pegelklasse ausreichend zugeordnet werden können. Bei den gemessenen Werten des MNB Telekom liegen 74,6 % bei einem RSRP von -109 dBm oder besser. Der MNB Telefónica folgt mit 60,7 %. Der MNB Vodafone erreicht 50,4 % mit mindestens befriedigender LTE-Versorgung. Damit deckt der MNB Telekom die größte gemessene Fläche mit LTE der besten Signalpegelqualität in der 4G-Technologie ab, sehr dicht gefolgt von dem MNB Telefónica. Der MNB Vodafone besitzt die geringste Flächenabdeckung mit 4G und zeigt im Schnitt die niedrigsten Empfangspegel. 1,95 % der Werte sind sogenannte weiße Flecken, die nicht versorgt werden. Bei der Betrachtung der einzelnen MNB ergeben sich Werte von 1,98 % für den MNB Telekom, 4,9 % für den MNB Vodafone und 7,4 % bei dem MNB Telefónica.

Auffällig ist der geringe Prozentsatz von 1,2 % an einem sehr guten LTE-Signalpegel. Die dargestellte kombinierte LTE-Versorgung zeigt in 31,8 % der Hexagonfläche einen LTE-RSRP unter -109 dBm und liegt damit im Bereich von mangelhafter bis keine LTE-Flächenversorgung. Diese LTE unterversorgten Flächen gilt es, durch einen gezielten Mobilfunknetzausbau zu erschließen, sollte dort nicht NR als Ausweichtechnologie verfügbar sein.

Vergleich mit den Befahrungen in den Jahren 2020 und 2021

In den Jahren 2020 und 2021 wurden in Brandenburg Befahrungen zur Bestimmung der Mobilfunkversorgung durchgeführt. Im Jahr 2020 wurde das gesamte Bundesland befahren, 2021 sind vereinzelt Nachbefahrungen durchgeführt worden. 239.197 Hexagone sind im Jahr 2020 im Messdatenverschnitt für die 4G-LTE-Auswertung entstanden. Für das Jahr 2021 liegt dieser Wert bei 12.527 Hexagonen und für 2022/2023 bei 66.556 Hexagonen.

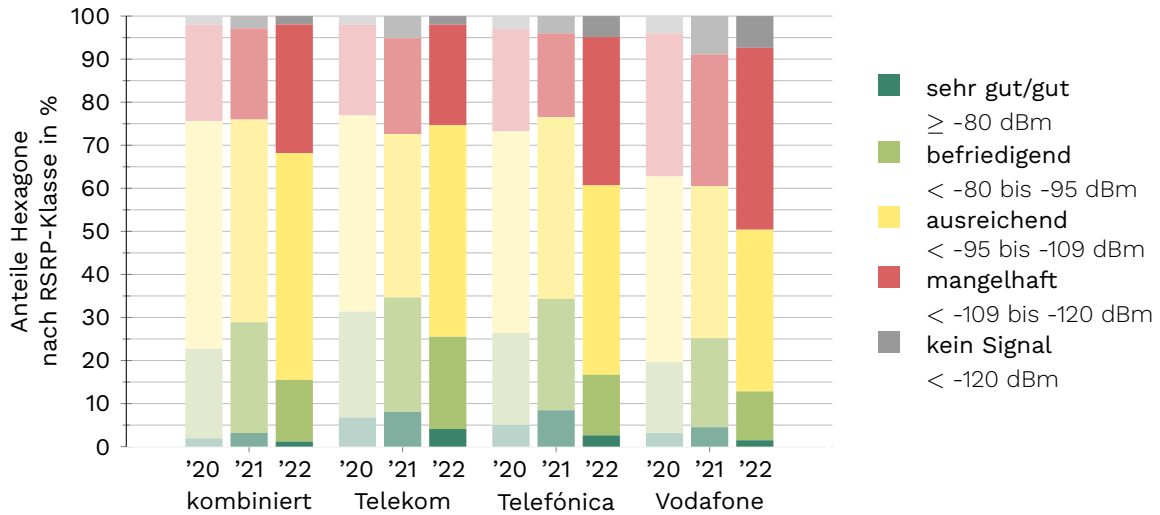


Abbildung 10: Vergleich LTE-Signalqualitätsklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber gesamtes Befahrungsgebiet 2020, 2021 und 2022

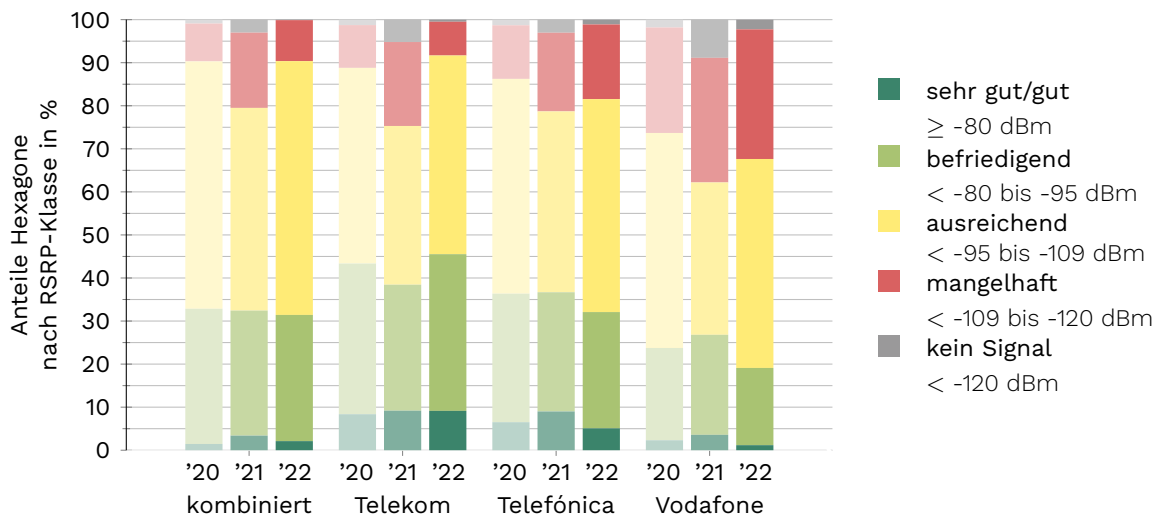


Abbildung 11: Vergleich LTE-Signalqualitätsklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber identische Befahrungsgebiete 2020, 2021 und 2022

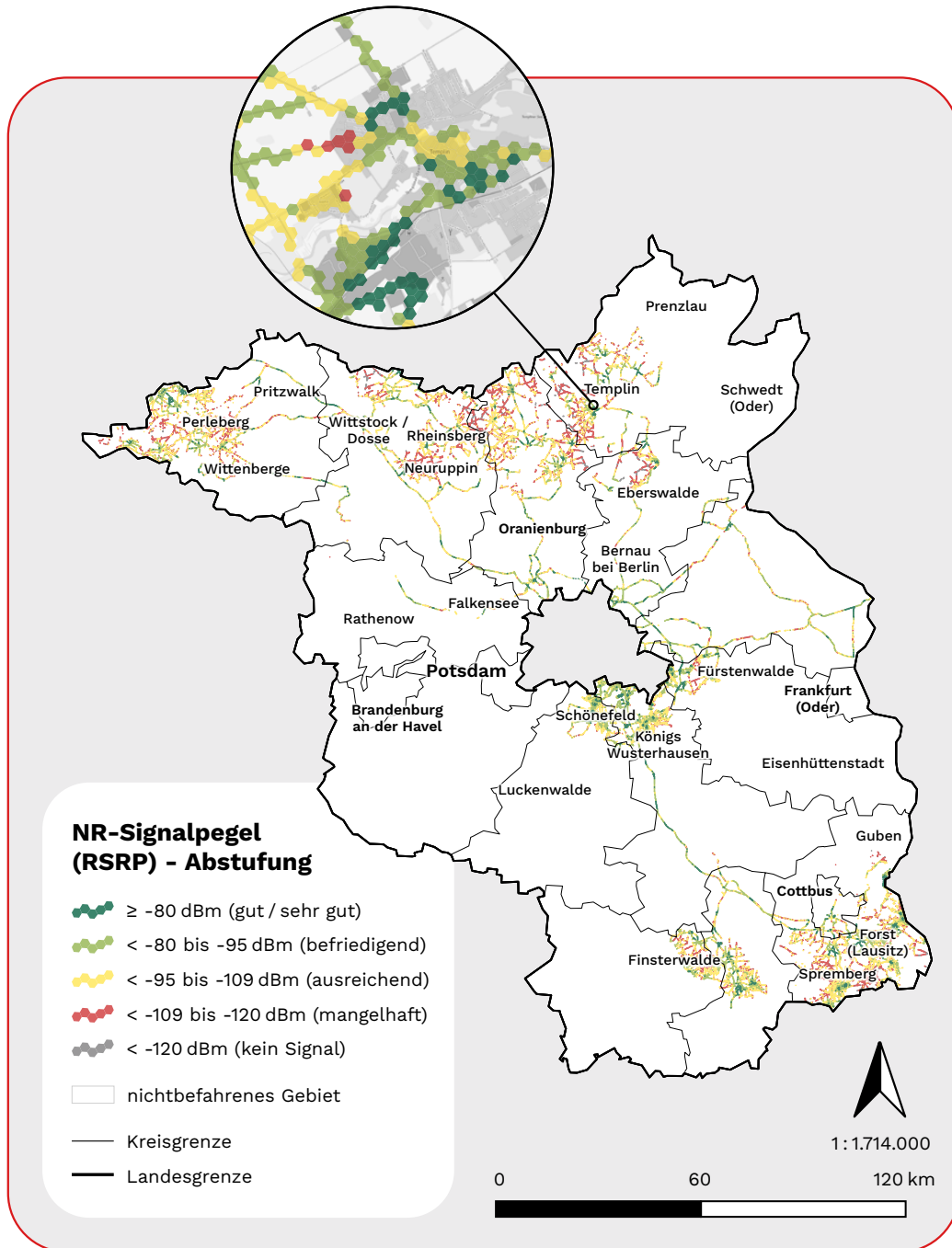
Abbildung 10 stellt die Messergebnisse der LTE-Signalpegelklassen gegenüber. Die Messwerte aus den vorherigen Befahrungen unterliegen den gleichen Signalpegelklassen wie die der aktuellen Befahrung. In Abbildung 10 werden pro MNB

die Signalpegelklassen-Anteile dargestellt. In dieser Abbildung geht es explizit um die gesamten Befahrungsgebiete der jeweiligen Befahrungen. Damit sind die Säulendiagramme nicht zum direkten Vergleich gedacht, sondern als Auswertung der kompletten Messdaten zu sehen. Da sich die Signalpegelklassen verglichen mit den vorherigen Auswertungen verändert haben, dient diese Ansicht der Einordnung der alten Messwerte. Eine Tendenz, die im Vergleich der Befahrungsgebiete auffällt, ist der höhere Anteil an mangelhaften Signalpegeln in der Befahrung 2022/2023 im Vergleich zu den vorherigen Jahren.

In Abbildung 11 wird die gleiche Darstellungsform wie in Abbildung 10 für den Vergleich der Befahrungsjahre 2020, 2021 und 2022/2023 genutzt. Der Unterschied besteht im Gebiet, das für den Vergleich genutzt wird. Nur Hexagone, die in allen drei Jahren befahren wurden, werden für diesen Vergleich herangezogen. Damit sind die Verteilungen vergleichbar und können den Fortschritt im Ausbau aufzeigen. In der kombinierten Betrachtung gibt es zwischen 2020 und 2022/2023 eine große Ähnlichkeit. So waren im Jahr 2020 90,3 % der Signalpegel besser als ausreichend, 2022/2023 liegt der Wert marginal höher bei 90,4 %. Im Befahrungsjahr 2021 waren 79,5 % der Signalpegel besser als ausreichend. In der Befahrung aus 2021 sind systematisch schlechtere Signalpegel ermittelt worden als 2020 und 2022/2023. Die Ursache hierfür könnten z.B. in unterschiedlichen Witterungsbedingungen liegen.

4.3 NR-Signalpegel

Die NR-Signalpegel wurden als RSRP in Karte 5 dargestellt. Die Methodik der Hexagonerstellung kann Kapitel 2.2 entnommen werden. Tabelle 1 im Kapitel 2.2 spiegelt die hierfür verwendeten Kategorien und deren Einschätzung für die Nutzungserfahrung wider. Templin ist in Karte 5 exemplarisch vergrößert dargestellt.



Karte 5: Gemessene NR-Signalpegel im Befahrungsgebiet
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

Für 45.179 Hexagone, und damit 66,7 % der befahrenden Fläche, wurde die Verfügbarkeit von 5G Technologie ermittelt (siehe Karte 4). Im Vergleich zu den in Abbildung 4 gezeigten Werten besteht eine Diskrepanz von 0,4 %. Der Grund liegt darin, dass RSRP-Werte unter -120 dBm in Kapitel 4.1 nicht berücksichtigt werden, da sie als „kein Signal“ gelten. Diese Messwerte werden jedoch bei der Auswertung der Signalpegelqualität berücksichtigt. Die Flächenversorgung der 5G-Technologie wird zu 22,9 % durch den MNB Telekom, zu 37,3 % durch MNB Telefónica und zu 83,3 % durch MNB Vodafone realisiert.

Abbildung 12 stellt, analog zur Auswertung der LTE-Signalqualität in Kapitel 4.2, die kumulative Verteilungsfunktion der RSRP-Werte innerhalb der mit NR versorgten Hexagone dar. Wieder ist auf der x-Achse das RSRP in dBm dargestellt und auf der y-Achse die kumulative Wahrscheinlichkeit in %.

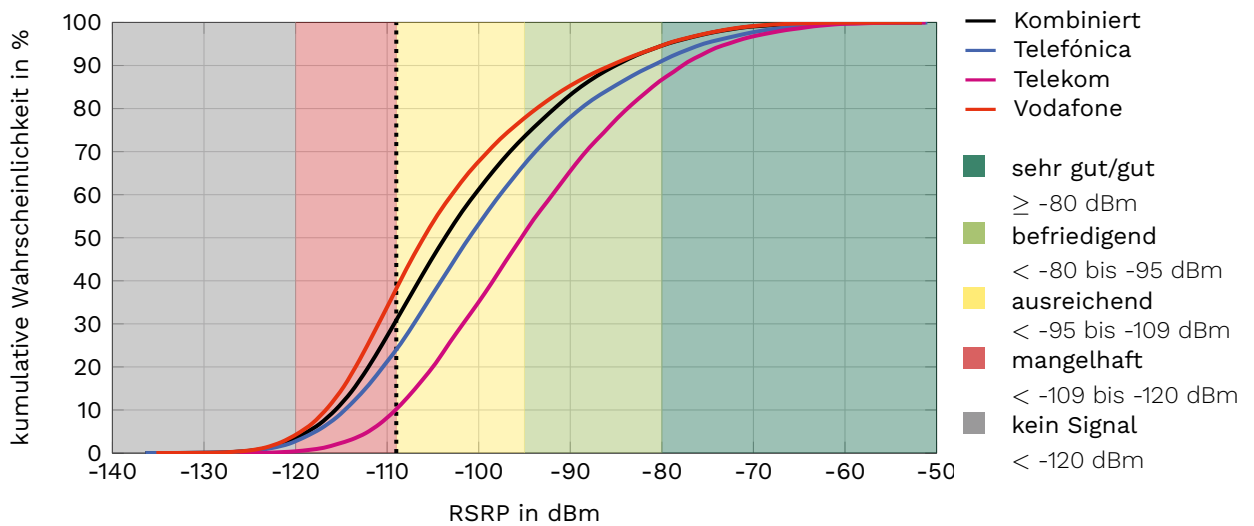


Abbildung 12: Kumulative Verteilungsfunktion NR RSRP
kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass die Kurve des MNB Vodafone am weitesten links liegt und die des MNB Telekom am weitesten rechts. Die Kurve der kombinierten Werte aller MNB liegt zum großen Teil zwischen den Kurven von dem MNB Vodafone und dem MNB Telefónica. Der MNB Telefónica und die kombinierte Kurve zeigen bis etwa -95 dBm einen sehr ähnlichen Verlauf. Die Kurve des MNB Telefónica ist stets zwischen der Kurve von dem MNB Vodafone und dem MNB Telekom. Die Vodafone-Werte zeigen im Schnitt die geringste Leistung. Die Verläufe der Kurven sind in den Tendenzen recht konstant. Verglichen mit Abbildung 8 verläuft die Kurve flacher.

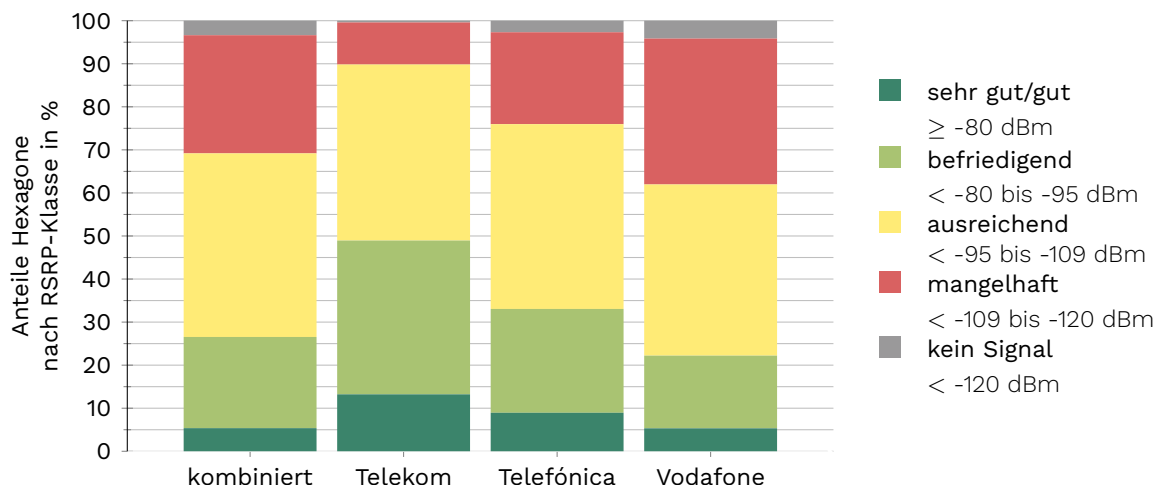


Abbildung 13: Anteil der Mobilfunknetzbetreiber an gemessenen 5G NR-Signalpegelklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

Insgesamt wird in 69,2 % der mit LTE versorgten Fläche in der kombinierten Betrachtung eine mindestens ausreichende RSRP-Empfangsleistung erreicht. 62,0 % der MNB-Werte, die als Vodafone-Versorgung gemessen wurden, haben mindestens einen befriedigenden Signalpegel. Für den MNB Telefónica liegt dieser Wert bei 76,0 % und für die Telekom bei 89,8 %. Die Empfangspegel der Telekom sind im Schnitt wesentlich höher, als die der anderen MNB. Das zeigt sich auch bei niedrigen Pegeln unter -120 dBm, die als „kein Signal“ gelten. Hier erreicht der MNB Telekom 0,4 %, bei dem MNB Telefónica liegt dieser Wert bei 2,7 % und bei dem MNB Vodafone bei 4,2 %. Aus den Messungen geht ein großer Anteil der 5G-Versorgung des MNB Telekom und des MNB Vodafone hervor. In den Bereichen, in denen 5G gemessen wurde, erreicht der MNB Telekom hohe Pegel, die Werte des MNB Vodafone haben im Schnitt die niedrigste Pegelqualität. Durch den MNB Telekom wird die kleinste Fläche versorgt. Kombiniert mit der Auswertung in Kapitel 4.2 können unterversorgte Gebiete identifiziert werden (siehe Kapitel 4.4).⁷

⁷Alle Daten können im Breitbandinformationssystem (BiBB) der DigitalAgentur Brandenburg (DABB) angezeigt werden.

Vergleich mit der Befahrung im Jahr 2021 und 2022/2023

Im Jahr 2020 wurde kein 5G ermittelt, da die Mobilfunktechnologie zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Brandenburg messbar war. Aus diesem Grund sind die folgenden Auswertungen auf die Befahrungen in den Jahren 2021 und 2022/2023 beschränkt. Im Jahr 2021 wurden 2.808 Hexagone erhoben und hinsichtlich der 5G-Versorgung ausgewertet, für 2022/2023 liegt der Wert bei 45.174 Hexagonen.

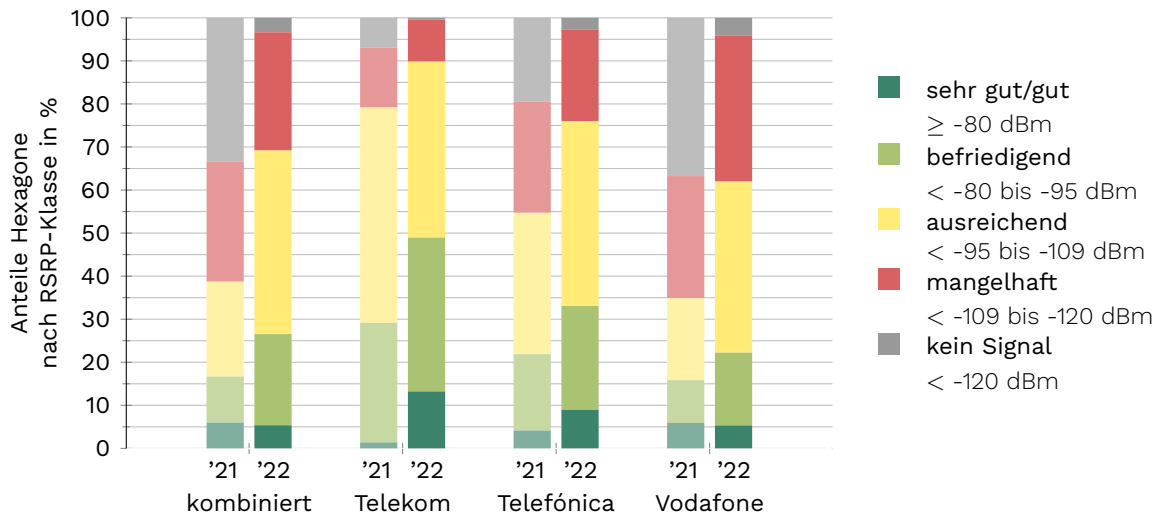


Abbildung 14: Vergleich NR-Signalpegelklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber gesamtes Befahrungsgebiet 2021 und 2022

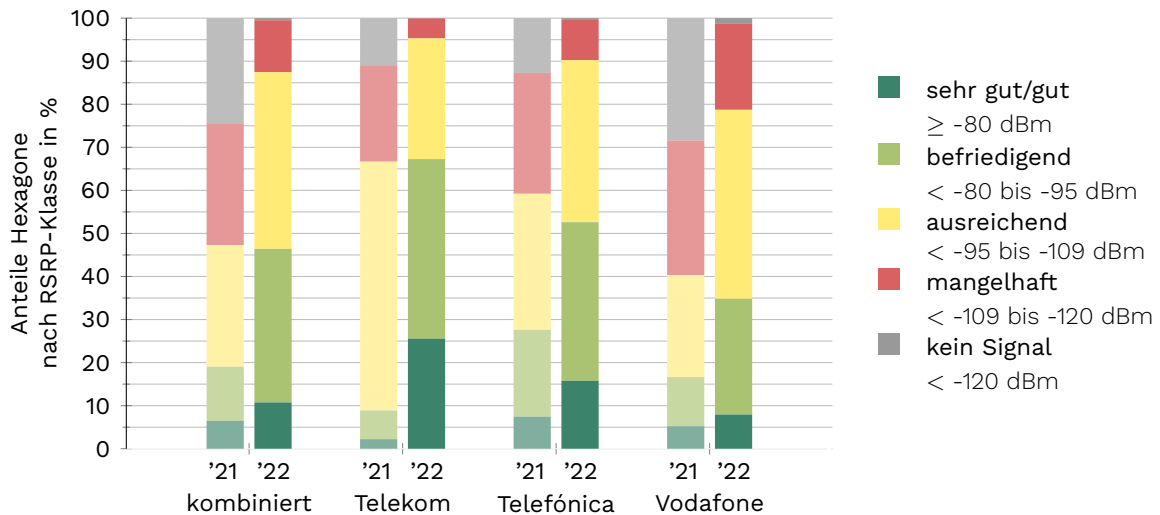


Abbildung 15: Vergleich NR-Signalpegelklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber identische Befahrungsgebiete 2021 und 2022

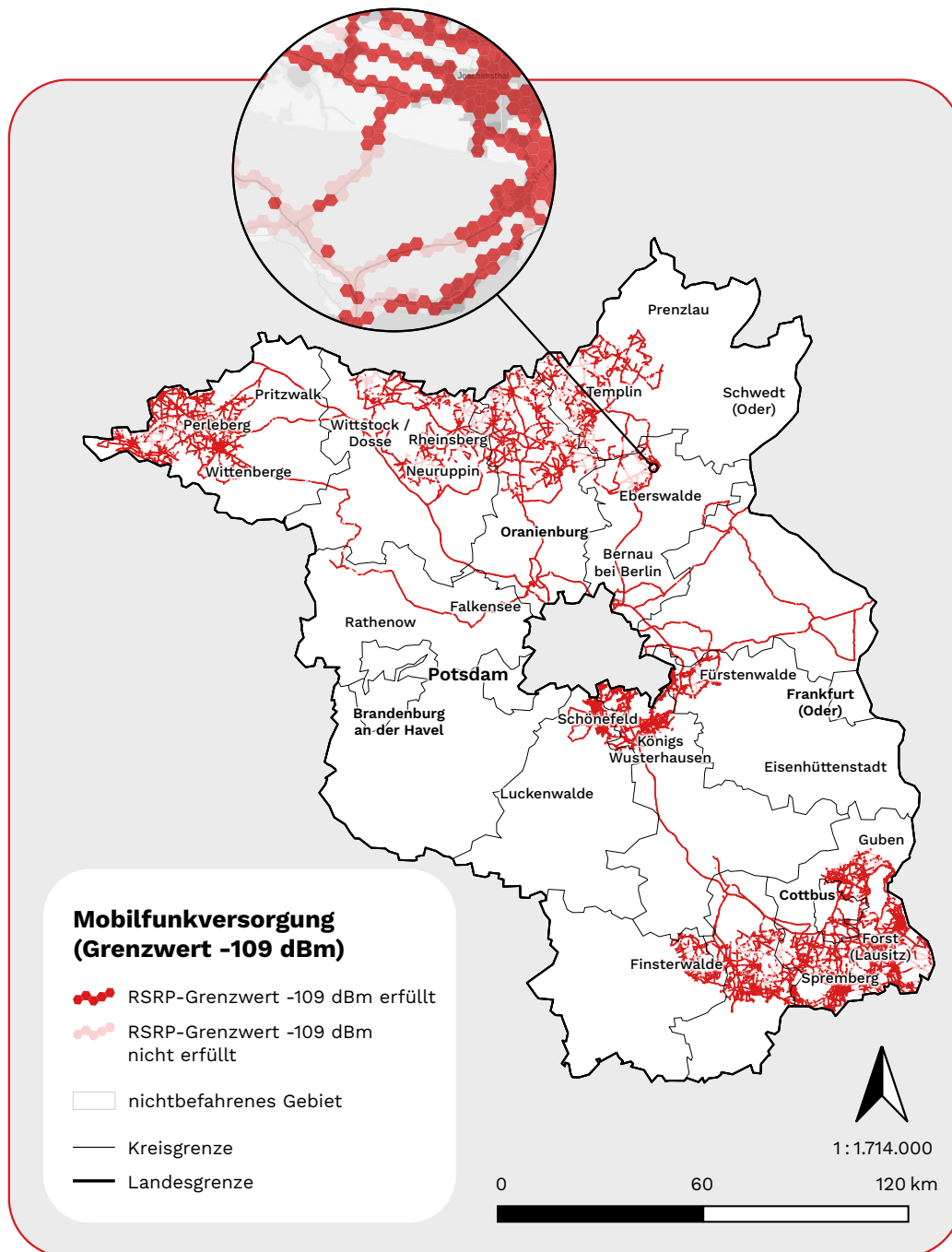
Abbildung 14 stellt die Messergebnisse der NR-Signalpegelklassen gegenüber. Die Farbcodierung kann der Legende entnommen werden und ist identisch zu Abbildung 10. Die Bewertung der Messwerte unterliegt für die Befahrung 2021 und

2022/2023 der gleichen Skala wie in Tabelle 1. In Abbildung 15 werden pro MNB die Signalpegelklassen-Anteile dargestellt. Diese Auswertung bezieht sich auf die gesamten Befahrungsgebiete, die in den Betrachtungsjahren unterschiedlich groß waren. Daher sind die Auswertungsergebnisse individuell zu betrachten. Zusätzlich ist, wie in Kapitel 2.2 erwähnt, eine Neubewertung der Signalpegelqualität erfolgt. Eine Tendenz, die im Vergleich der Befahrungsgebiete auffällt, ist der höhere Anteil an mangelhaften Signalpegeln in der Befahrung 2021 verglichen zu 2022/2023. Auch wurde 2021 häufiger „kein Signal“ ermittelt als 2022/2023. In der kombinierten Betrachtung fällt der Teil wenigstens ausreichender Signalpegel 2021 mit 38,7 % niedriger aus als 2022/2023 mit 69,2 %. Durch die breitere Verfügbarkeit an 5G NR ist auch eine Verbesserung der Signalpegelversorgung zu erwarten. Wie aus dem Vergleich der LTE-Signalpegel, bilden die Befahrungsjahre unterschiedliche Versorgungslagen ab und sind daher nur eingeschränkt zum direkten Vergleich geeignet.

In Abbildung 15 sind die NR-Signalpegelklassen für die Befahrungsjahre 2021 und 2022/2023 dargestellt. Nur Hexagone, in denen sowohl 2021 als auch 2022/2023 Messwerte ermittelt wurden, werden ausgewertet. Damit sind die Befahrungen vergleichbar. Im gleichen Befahrungsgebiet sind die Unterschiede zwischen den Befahrungen noch deutlicher zu erkennen. Während 2021 47,3 % der Werte wenigstens in die ausreichende NR-Signalpegelklasse eingeordnet wurden, waren es für 2022/2023 87,4 %. Nur in 0,5 % der Hexagone wurde 2022/2023 „kein Signal“ ermittelt. 2021 lag dieser Wert noch bei 24,4 %. Es gibt somit eine deutliche Steigerung der Signalpegelqualität im Zeitverlauf.

4.4 Mobilfunkversorgung

Die Mobilfunkversorgung wurde in Karte 6 dargestellt. Pro Hexagon wurde ermittelt ob der RSRP-Pegel pro Technologie -109 dBm übersteigt. Da für die Förderung generell eine Leistungsversorgung unter -109 dBm gilt, wird in Karte 6 sowohl 4G LTE als auch 5G NR betrachtet. Joachimsthal ist in Karte 6 exemplarisch vergrößert dargestellt.



Karte 6: Mobilfunkversorgung im Befahrungsgebiet
Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

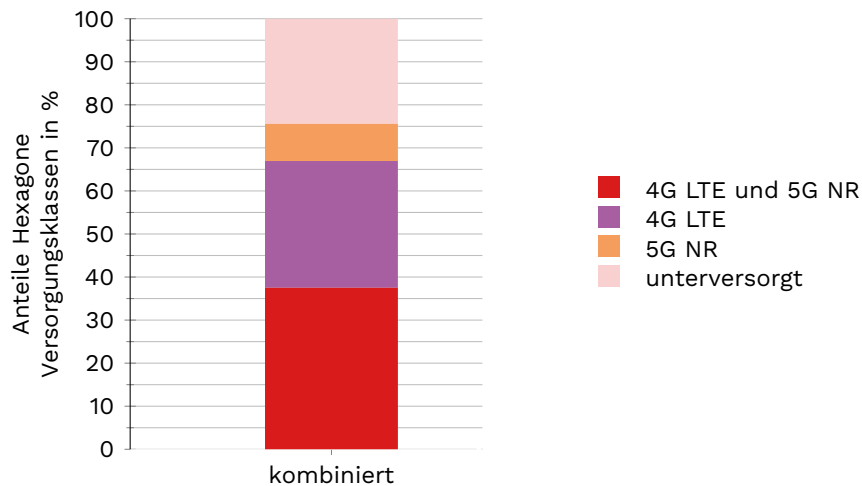


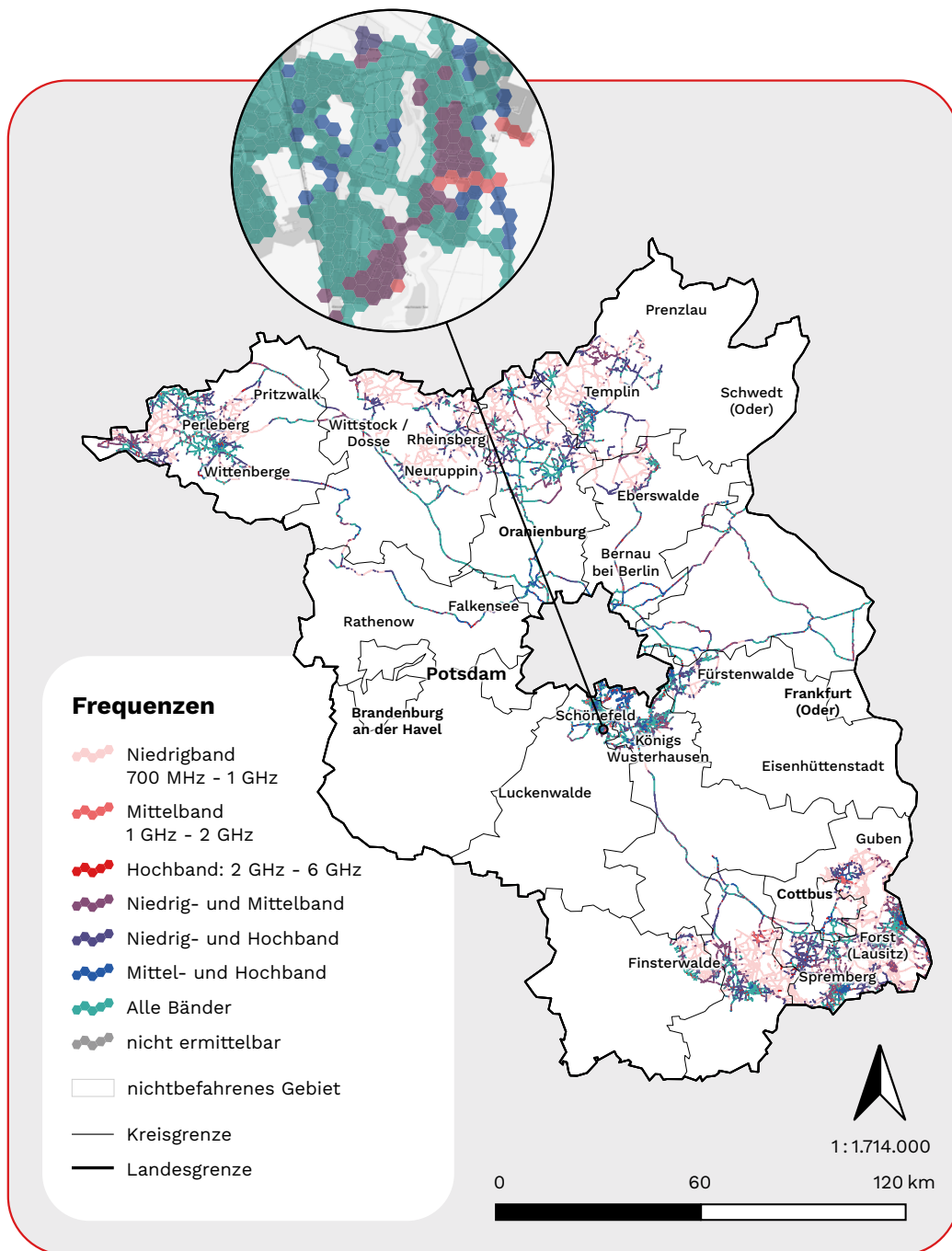
Abbildung 16: Mobilfunkversorgung (RSRP \geq -109 dBm) je Technologie

In Abbildung 16 ist, parallel zu Karte 6, die Signalpegelversorgung mit wenigstens -109 dBm dargestellt. Der Legende kann die Farbcodierung entnommen werden. Insgesamt wurde bei 24,4 % der Hexagone der Grenzwert sowohl bei der LTE- als auch bei der NR-Versorgung unterschritten. Umgekehrt gilt, dass 75,5 % der Hexagone über dem Grenzwert liegen und somit die Versorgungsaufgabe erfüllen. Hinsichtlich der jeweiligen Technologie verteilen sich die Anteile wie folgt: ausschließlich 5G NR wurden in 8,6 % der Messungen ermittelt, ausschließlich 4G LTE in 29,5 % der Messungen. Beide Technologien zusammen betrachtet überschritten in 37,5 % der Hexagone -109 dBm.

Die unterversorgten Gebiete befinden sich wie auf Karte 6 zu erkennen, insbesondere abseits der Bundesstraßen und größeren Städte in den Landkreisen Prignitz, Oberhavel und der Lausitz.

4.5 Frequenzbänder

Ebenso wurde der Einsatz der unterschiedlichen Frequenzbänder je Hexagon bestimmt. Diese Ermittlung wurde zunächst über alle Mobilfunknetzbetreiber kombiniert durchgeführt. Danach wurden die Frequenzbänder auf dieselbe Weise für die einzelnen Mobilfunknetzbetreiber bestimmt. In der zoomfähigen Karte 7 sind die ermittelten Frequenzbänder dargestellt. Pro Hexagon wurden alle gemessenen Frequenzbänder aggregiert und die Kombinationen entsprechenden Klassen zugeordnet. Weitere Informationen zu den Eigenschaften der Bänder sind in Kapitel 2.2 zu finden. Rangsdorf wurde in der Karte exemplarisch vergrößert dargestellt.



Karte 7: Gemessene Frequenzbänder im Befahrungsgebiet
Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

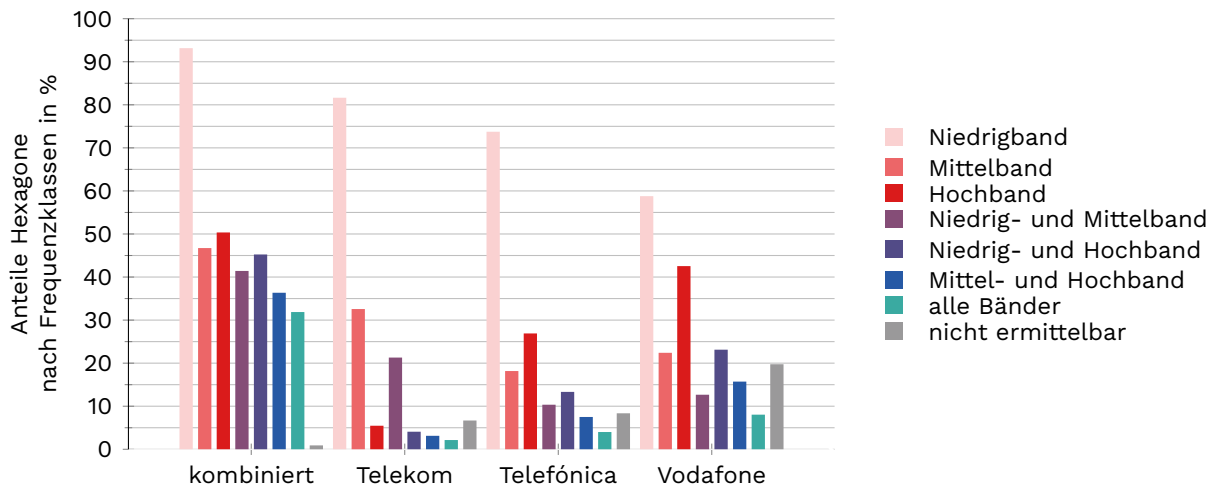


Abbildung 17: Verfügbarkeit verschiedener Frequenzbänder kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

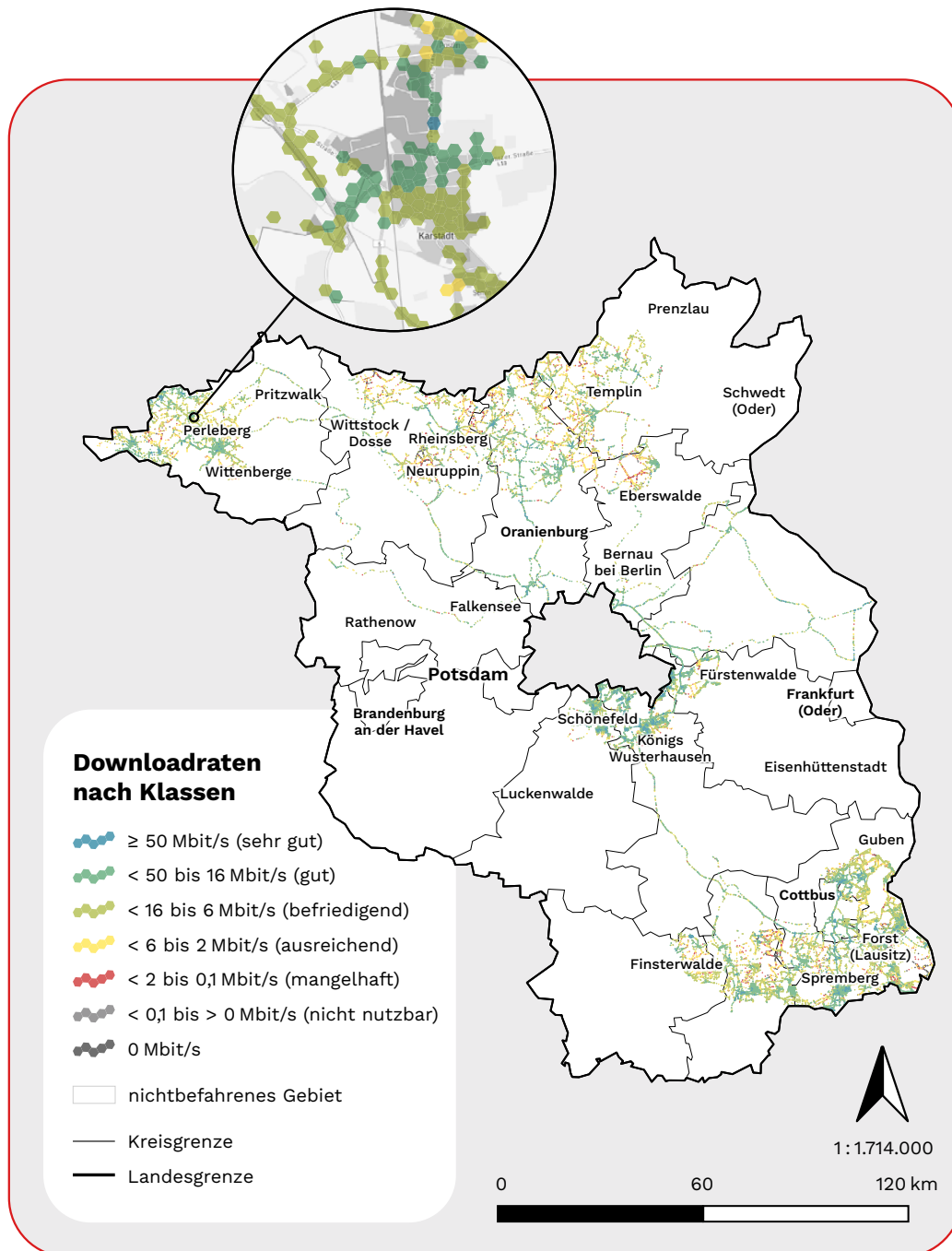
Abbildung 17 sind die bei der Befahrung 2022/2023 gemessenen Frequenzen zu entnehmen. Die Gesamtabdeckung, d.h. die Hexagone, in denen wenigstens eines der Bänder ermittelt wurde, entspricht in dem Säulendiagramm 100 % auf der y-Achse. Dargestellt sind die Anteile für das Niedrig-, Mittel- und Hochband, sowie deren Kombinationen. Zusätzlich wird der Anteil an Hexagonen dargestellt, bei denen kein Frequenzband ermittelt werden konnte.

Generell lassen sich verschiedene Tendenzen ableiten. Das Niedrigband ist in allen Fällen am meisten ermittelt worden, gefolgt vom Hoch- und Mittelband. Nur bei dem MNB Telekom ist dieses Verhältnis umgekehrt und es wurde häufiger das Mittel- als das Hochband gemessen. Niedrigband wurde in 93,2 % der Hexagone ermittelt. Bei der Einzelbetrachtung wurde es für den MNB Telekom in 81,6 %, für den MNB Telefónica in 73,7 % und für den MNB Vodafone in 58,8 % der Hexagone festgestellt. Die Verfügbarkeit des Mittelband wurde nur in 18,2 % der Hexagone durch den MNB Telefónica ermittelt, für den MNB Vodafone liegt dieser Wert bei 22,4 % und für den MNB Telekom bei 32,6 %. Dagegen sind 42,5 % der Hexagone im Vodafone-Netz mit Hochband versorgt, der MNB Telefónica folgt mit 26,9 %, während für den MNB Telekom das Hochband lediglich in 5,5 % der Hexagone festgestellt wurde. Der Einsatz aller Frequenzbänder über alle MNB betrachtet, ist bei 31,9 % der Hexagone ermittelt worden. Je MNB gelten hier 2,1 % für den MNB Telekom, 8,0 % für den MNB Vodafone und 4,0 % für den MNB Telefónica.

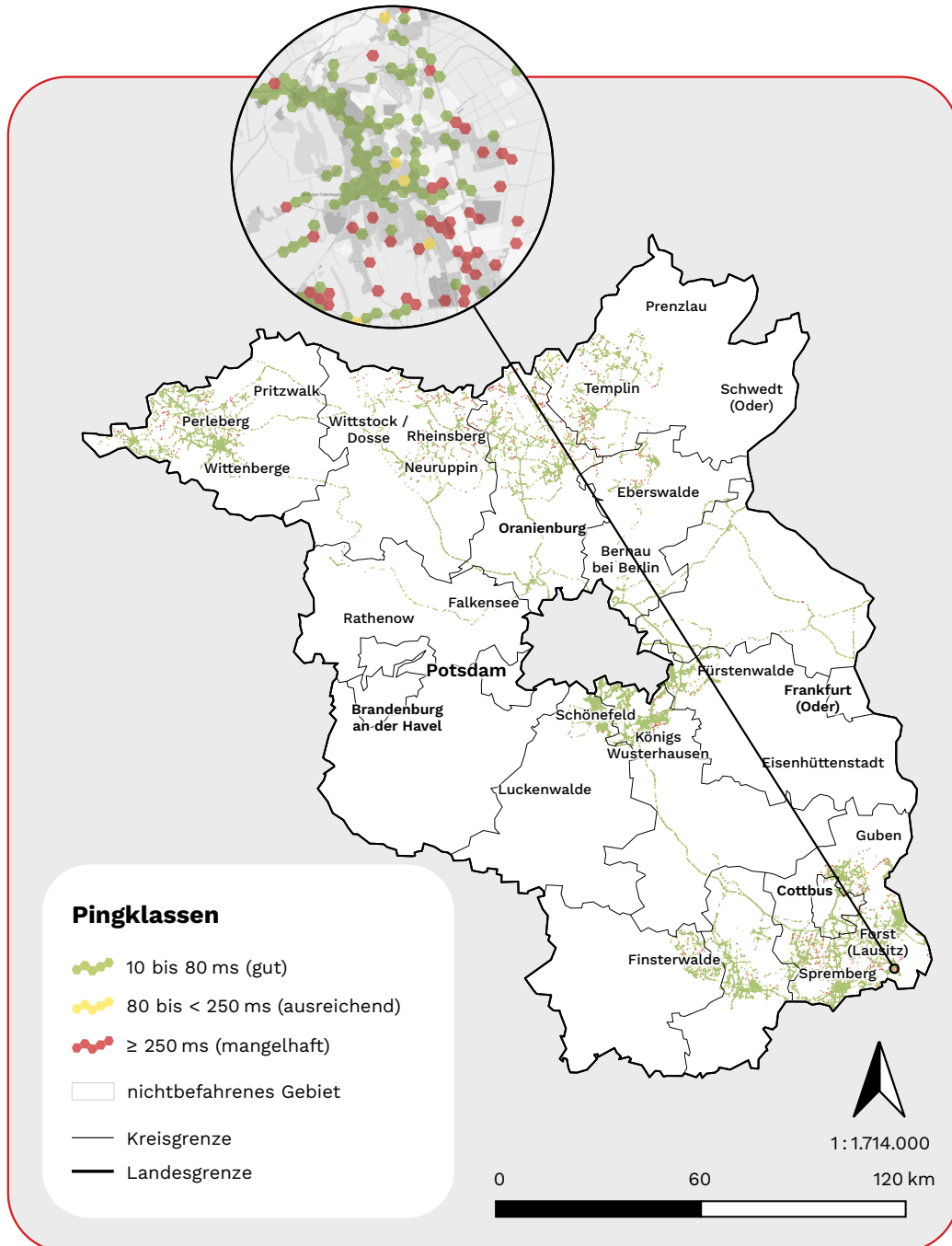
Prinzipiell zeigt sich in Brandenburg eine Verteilung zu Gunsten des Niedrigbandes. In 0,9 % der Hexagone konnte kein Frequenzband ermittelt werden. Auf die MNB verteilt, ergeben sich 19,7 % für den MNB Vodafone, 8,4 % für den MNB Telefónica und 6,7 % für den MNB Telekom. Bereiche mit hoher Bevölkerungsdichte zeigen eine Versorgung mit allen Frequenzbändern. Bereiche mit schwierigen Ausbreitungsbedingungen zeigen priorisiert eine Niedrig- bzw. Mittelbandversorgung. Wie erläutert, sind die Ausbreitungseigenschaften dieser Bänder mit Blick auf Vegetation und Penetration besser geeignet als das Hochband.

4.6 Datendurchsatz und Ping

Gute Indikatoren für die Qualität des Netzes sind der Ping und die Downloadrate. In Karte 8 ist die Downloadrate für das Befahrungsgebiet dargestellt und in Karte 9 der Ping. Insgesamt wurden 31.830 Hexagone aus den Messungen erstellt. Exemplarisch vergrößert sind Karstädt für die Downloadraten und Döbern für den Ping abgebildet.



Karte 8: Gemessene Downloadraten für das Befahrungsgebiet
Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023



Karte 9: Gemessene Pingklassen für das Befahrungsgebiet
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

Angelehnt an Tabelle 2 sind verschiedene Abstufungen für die Downloadrate definiert. In Tabelle 3 sind die einzelnen Stufen dargestellt. Insgesamt wurden sieben Stufen definiert. Zusätzlich ist eine kurze Einordnung der Erfahrung der Nutzer: innen der jeweiligen Stufe in Tabelle 4 beschrieben.

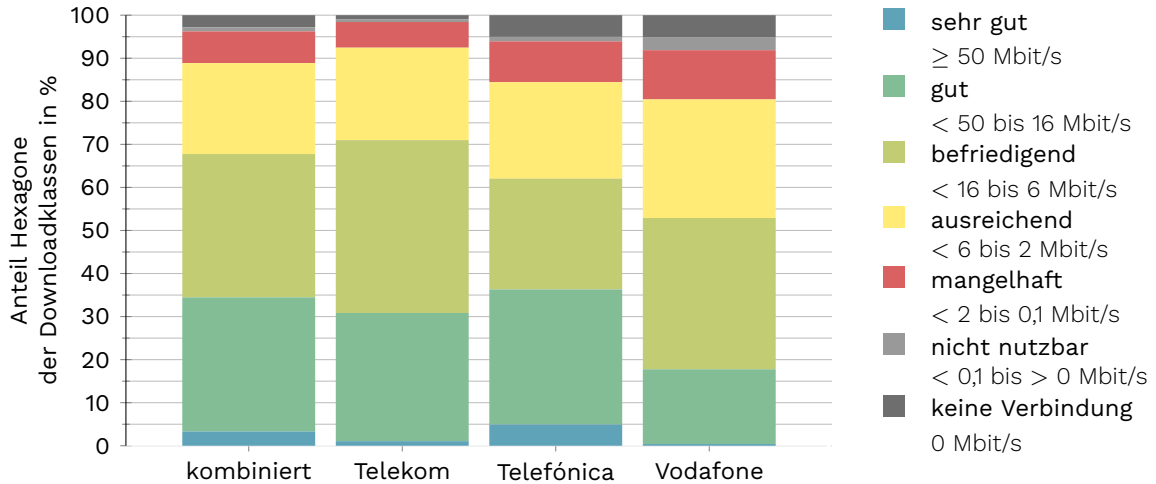


Abbildung 18: Messergebnisse der jeweiligen Downloadraten kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

Abbildung 18 stellt die Messergebnisse für die Downloadrate für alle MNB dar. Bei der kombinierten Betrachtung aller MNB sind 88,9 % der ermittelten Downloadraten wenigstens ausreichend und erreichen so mehr als 2 Mbit/s (MNB Telekom: 92,4 %, MNB Telefónica: 84,4 %, MNB Vodafone 80,4 %). 2 Mbit/s werden in den Parametervorgaben der BNetzA und MIG als Datenrate angegeben, die am Zellrand verfügbar sein muss. Sollte das nicht der Fall sein, kann eine Förderfähigkeit überprüft werden. Umgekehrt gilt, dass 11,1 % der Hexagone eine mangelhafte oder nicht nutzbare Datenrate aufwiesen (MNB Telekom: 7,6 %, MNB Telefónica: 15,6 %, MNB Vodafone: 19,6 %). Da in dem Befahrungsgebiet Bundesstraßen und Autobahnen liegen, können Speedtests aufgrund des häufigen Zellwechsels auf diesen Straßentypen abbrechen. Auch das Durchfahren unversorgter Gebiete führt zu Abbrüchen in der Messung. Insgesamt sind in 2,8 % der Hexagone 0 Mbit/s ermittelt worden (MNB Telekom: 0,9 %, MNB Telefónica: 5,0 %, MNB Vodafone 5,1 %).

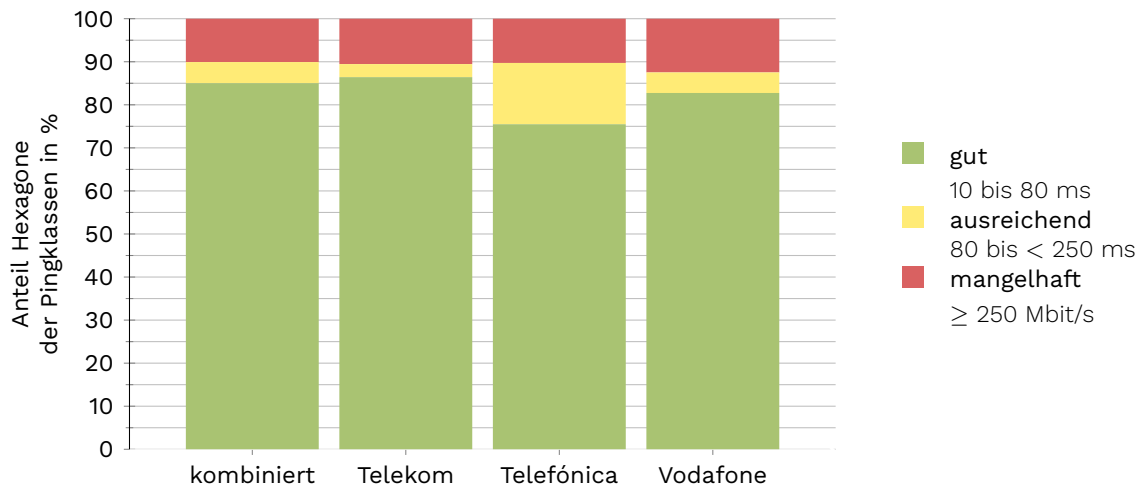


Abbildung 19: Ermittelte Pingklassen kombiniert und unterteilt nach Mobilfunknetzbetreiber

Abbildung 19 stellt die Aufteilung der Pingklassen pro MNB dar. In 85 % der Hexagone wurden gute Pings mit unter 80 ms gemessen (MNB Telekom: 86,4 %, MNB Vodafone: 82,7 %, MNB Telefónica: 75,5 %). 10,1 % der Hexagone weisen einen hohen Ping auf, der sich auch klar in einer verschlechterten Erfahrung für die Nutzenden äußert. Auf die MNBs verteilt ergeben sich 10,3 % für den MNB Telefónica, 10,5 % für den MNB Telekom und 12,5 % für den MNB Vodafone.

5 Ergebnisse nach Regionen

Die Befahrungen im Bundesland Brandenburg wurden im Jahr 2022/2023 in drei größeren Teilgebieten durchgeführt. In Karte 1 sind die befahrenen Straßen dargestellt. Die Auswertungen in diesem Kapitel beziehen sich auf die jeweilige modernste Mobilfunktechnologie und die Signalpegelqualität von 4G LTE und 5G NR. Hierzu werden die Befahrungscluster in drei Teilgebiete unterteilt, die sich grob an den Himmelsrichtungen orientieren. Tabelle 5 zeigt, welche Landkreise Nord-, Mittel- und Südbrandenburg zugeordnet werden.

Teilgebiet	Landkreise
Nordbrandenburg	Prignitz, Ostprignitz-Ruppin, Oberhavel, Barnim, Uckermark
Mittelbrandenburg	Havelland, Potsdam-Mittelmark, Teltow-Fläming, Dahme-Spreewald, Brandenburg an der Havel, Potsdam, Märkisch-Oderland, Oder-Spree
Südbrandenburg	Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz, Spree-Neiße, Cottbus

Tabelle 5: Einteilung Gebiet Brandenburg in Teilgebiete

Kapitel 5.1 bis 5.3 befassen sich jeweils mit den Auswertungen in den Teilgebieten. Pro Kapitel werden die befahrenen Gemeinden des Teilgebiets ausgewertet. Nur befahrene Gemeinden werden berücksichtigt. Zu- und Abfahrten werden in diesem Fall nicht bei der Auswertung berücksichtigt. Im Landkreis Märkisch-Oderland wurden absprachegemäß nur Bundesstraßen befahren, weshalb sich keine Rückschlüsse auf die gesamten Gemeinden in diesem Landkreis ziehen lassen. Der Versorgungsausbau auf Bundesstraßen und Autobahnen ist gegenüber anderen Straßentypen grundsätzlich priorisiert.

5.1 Nordbrandenburg

Im Teilgebiet Nordbrandenburg wurden bei der Befahrung Daten für 21 Gemeinden erhoben, die in Tabelle 6 aufgelistet und den zugehörigen Landkreisen zugeordnet sind.

Landkreis	Gemeinden
Prignitz	Karstädt, Perleberg, Lenzen (Elbe), Lanz, Gölitz-Reetz, Weisen
Ostprignitz-Ruppin	Wittstock/Dosse, Rheinsberg, Temnitzquell, Storbek-Frankendorf
Oberhavel	Stechlin, Großwoltersdorf, Sonnenberg, Zehdenick, Gransee, Fürstenberg/Havel
Uckermark	Templin, Lychen, Boitzenburger Land
Barnim	Joachimsthal, Schorfheide

Tabelle 6: Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Nordbrandenburg

Die Versorgung in Nordbrandenburg kann zusammenfassend als ausbaufähig bezeichnet werden. Zwar profitieren viele Gemeinden bereits von dem vorhandenen 5G NR NSA Ausbau. Die Signalpegel der 4G und 5G Versorgung sind jedoch verbesserungswürdig. Die Gemeinden Weisen, Gransee, Karstädt und Sonnenberg weisen die beste Versorgung auf und stehen hier beispielhaft für die mögliche Versorgung an sowohl 4G- als auch 5G-Signalpegeln, die in allen Gemeinden erreicht werden sollte.

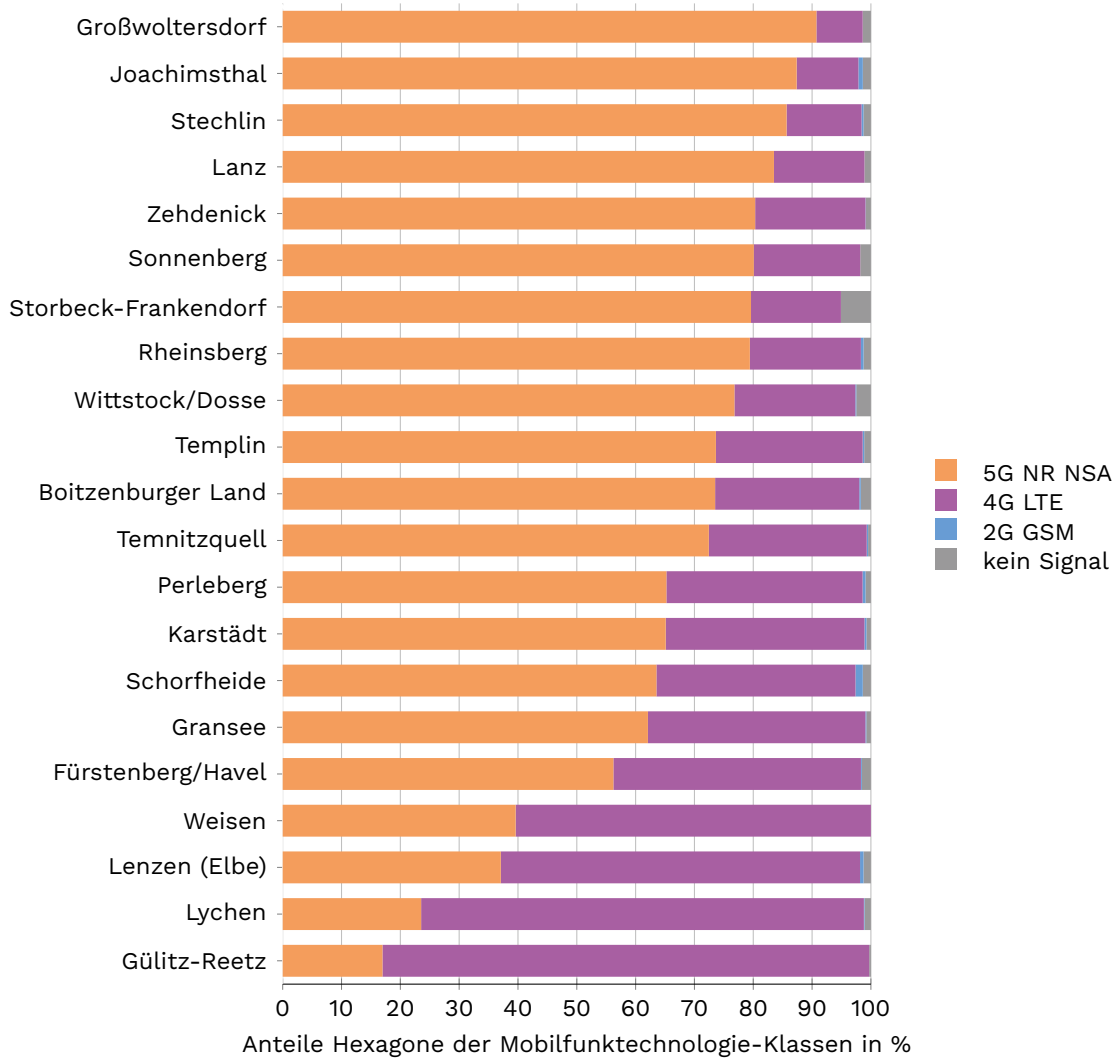


Abbildung 20: Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Nordbrandenburg

Abbildung 20 stellt die Auswertung der jeweils modernsten Mobilfunktechnologie pro Hexagon und Gemeinde dar. In den sechs Gemeinden Großwoltersdorf, Joachimsthal, Stechlin, Lanz, Zehdenick und Sonnenberg wurde in über 80 % der Hexagone 5G NR NSA als modernste Technologie ermittelt. Generell erreichen zwölf Gemeinden mehr als 70 % 5G NR NSA-Abdeckung. Für vier Gemeinden wurde in weniger als 40 % 5G NR NSA ermittelt. In Gülitz-Reetz liegt dieser Wert bei lediglich 17,0 %. In den meisten Gemeinden konnte 2G GSM gemessen werden, jedoch nicht als modernste Technologie. Daher ist es in Abbildung 20 nicht für alle Gemeinden im Balkendiagramm aufgeführt. Ausnahmen sind Schorfheide mit 1,2 %, Joachimsthal mit 0,8 %, Lenzen (Elbe) mit 0,6 % und Perleberg mit 0,5 %, in denen 2G GSM als modernste Technologie ermittelt wurde. Alle anderen Gemeinden weisen auf weniger als 0,5 % der Fläche 2G GSM als modernste Mobilfunktechnologie auf. In Storbeck-Frankendorf wurde der höchste Anteil mit 5,1 % an Werten der Klasse „kein Signal“ erfasst, gefolgt von Wittstock/Dosse mit 2,5 %.

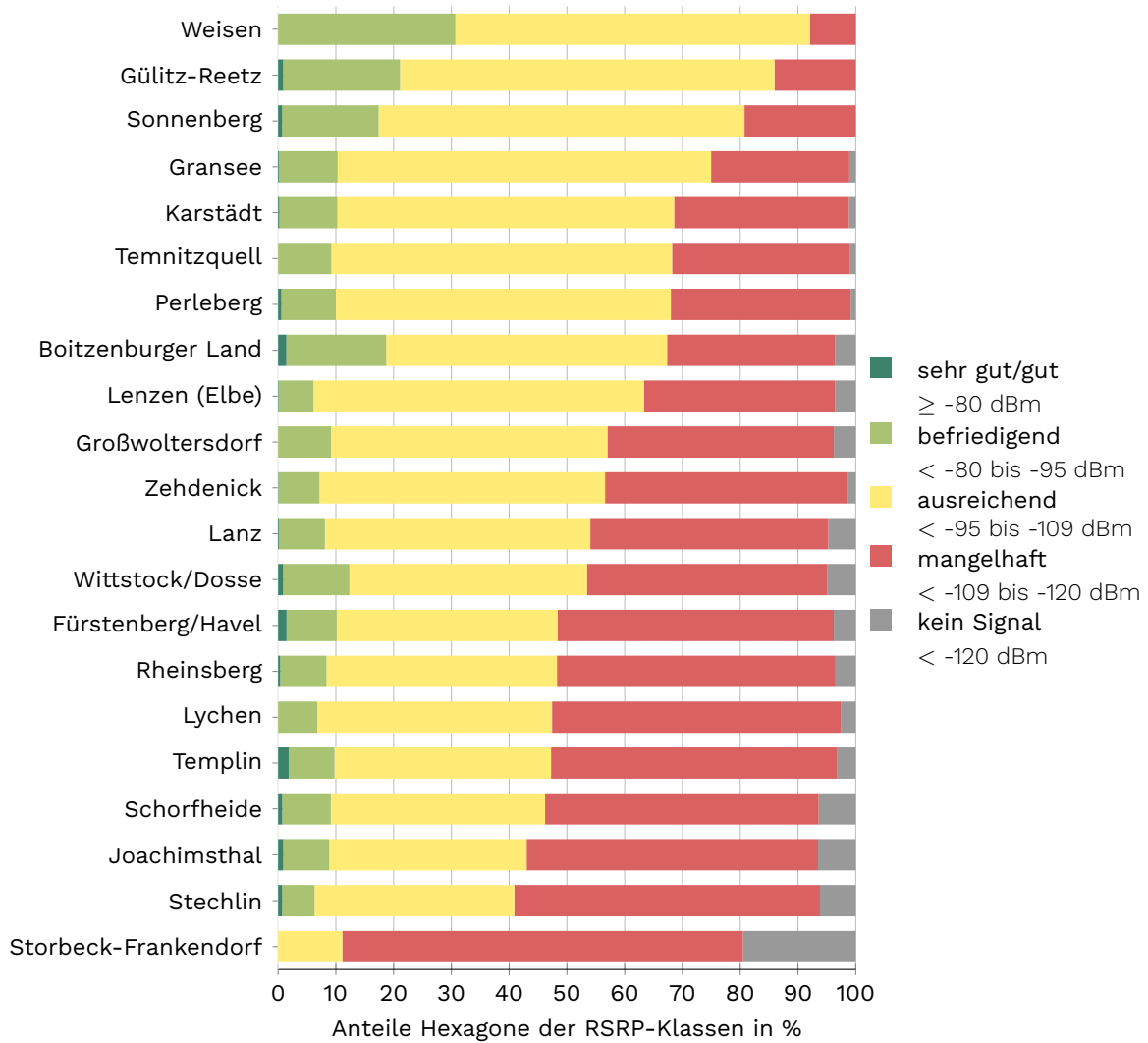


Abbildung 21: 4G LTE-Signalpegelklassen - Nordbrandenburg

In Abbildung 21 sind die Signalpegelklassen für 4G LTE dargestellt. Das RSRP wird pro Hexagon gemittelt und den Gemeinden zugeordnet. In den vier Gemeinden Weisen, Gülitz-Reetz, Sonnenberg und Gransee wurden bei über 70 % mindestens ausreichende Signalpegel ermittelt. In 13 Gemeinden wurde in über 50 % der Hexagone wenigstens ein RSRP von -109 dBm erreicht, was der Qualitätsklasse „ausreichend“ entspricht. Umgekehrt gilt, dass in acht Gemeinden in weniger als 50 % der aggregierten Messdaten ausreichende Pegel ermittelt wurden, hier war der Anteil mangelhafter Pegel oder kein Signal häufiger. Gebiete, bei denen der Signalpegel sowohl bei 4G LTE als auch bei 5G NR nicht mehr als -109 dBm erreicht und die Downloadrate von 2 Mbit/s unterschritten wird, sind potenziell als förderfähig einzustufen. In der Gemeinde Storbeck-Frankendorf wurde mit 69,4 % der größte Anteil an mangelhaften Signalpegeln gemessen. 19,5 % der Hexagone der Gemeinde weisen „kein Signal“ auf.

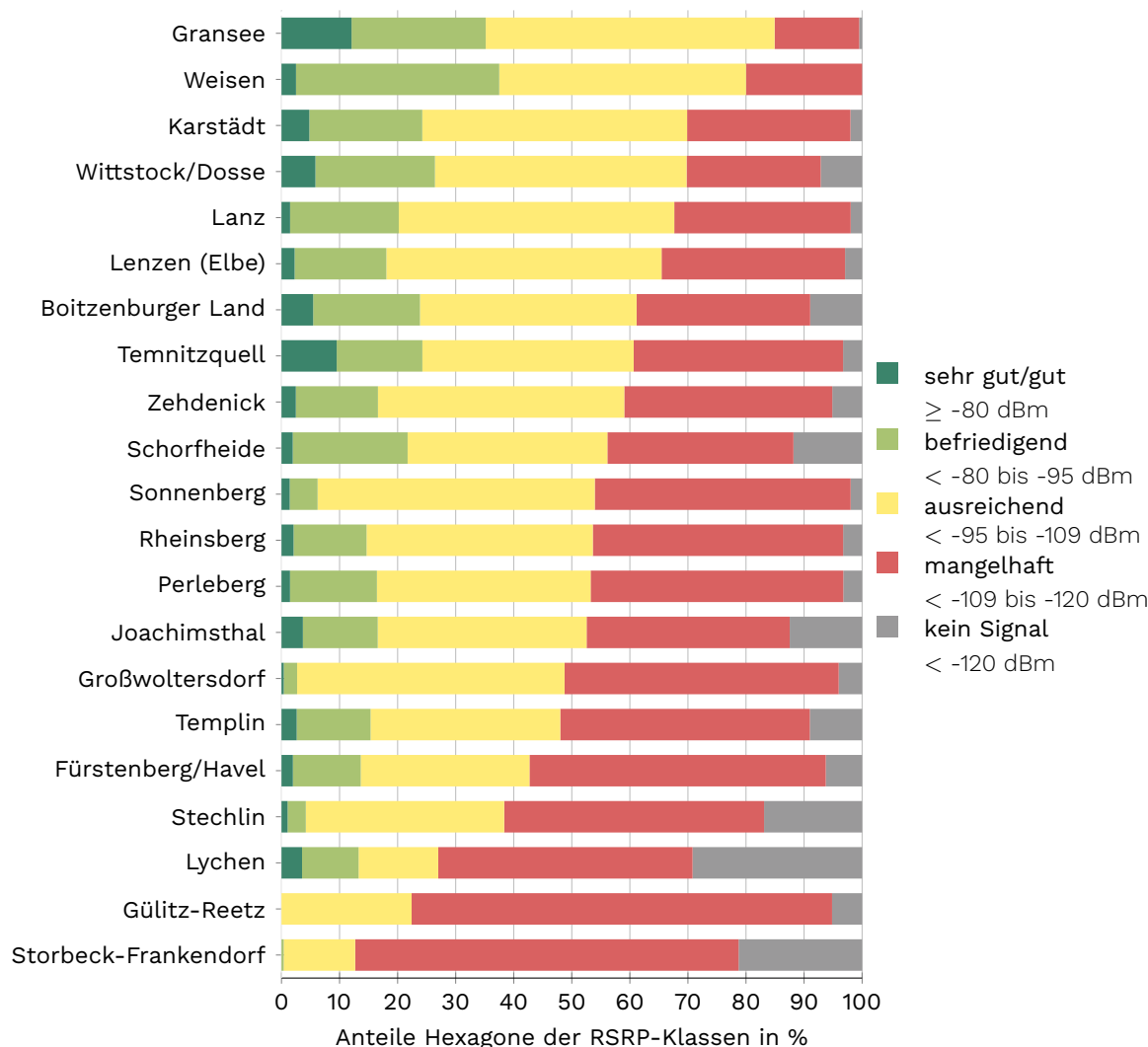


Abbildung 22: 5G NR-Signalpegelklassen - Nordbrandenburg

In Abbildung 22 sind die Signalpegelklassen für 5G NR in dargestellt. Erneut wird die Empfangsleistung gemittelt und den Gemeinden in Nordbrandenburg zugeordnet. Die vier Gemeinden: Gransee, Weisen, Karstädt und Wittstock/Dosse erreichen in mehr als 70 % der Fläche ein RSRP von mindestens -109 dBm. In insgesamt vierzehn Gemeinden wurde in über 50 % der Fläche wenigstens ein RSRP von -109 dBm ermittelt, was der Qualitätsklasse „ausreichend“ entspricht. Umgekehrt gilt, dass in sieben Gemeinden in weniger als 50 % der Fläche ein ausreichender Pegel erreicht wird. Hier wurden häufiger mangelhafte Pegel oder kein Signal ermittelt. Auch hier gilt wieder, dass Gebiete, bei denen der Signalpegel sowohl bei 4G LTE als auch bei 5G NR nicht höher als -109 dBm ist und die Downloadrate von 2 Mbit/s nicht erreicht wird, als potenziell förderfähig einzustufen sind. Die Gemeinde Storbeck-Frankendorf weist auch hier mit 66,0 % den größten Anteil an mangelhaften Signalpegeln auf. In 21,3 % der Hexagone wurde in dieser Gemeinde „kein Signal“ ermittelt.

5.2 Mittelbrandenburg

Das Teilgebiet Mittelbrandenburg besteht aus acht Gemeinden. Die Gemeinden befinden sich vorrangig im großstädtischen Ballungsraum, also dem Umland von Berlin. Tabelle 7 listet die acht Gemeinden und die zugehörigen Landkreise.

Landkreis	Gemeinden
Teltow-Fläming	Rangsdorf, Blankenfelde-Mahlow
Dahme-Spreewald	Schönefeld, Mittenwalde, Königs Wusterhausen
Oder-Spree	Grünheide (Mark), Erkner, Gosen-Neu Zittau

Tabelle 7: Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Mittelbrandenburg

Die Mobilfunkversorgung im Teilgebiet Mittelbrandenburg ist bereits gut. Der 5G NR NSA-Ausbau ist weit fortgeschritten und auch die Signalpegel überschreiten zu einem Großteil den Wert von -109 dBm, sowohl für 4G als auch für 5G NR NSA.

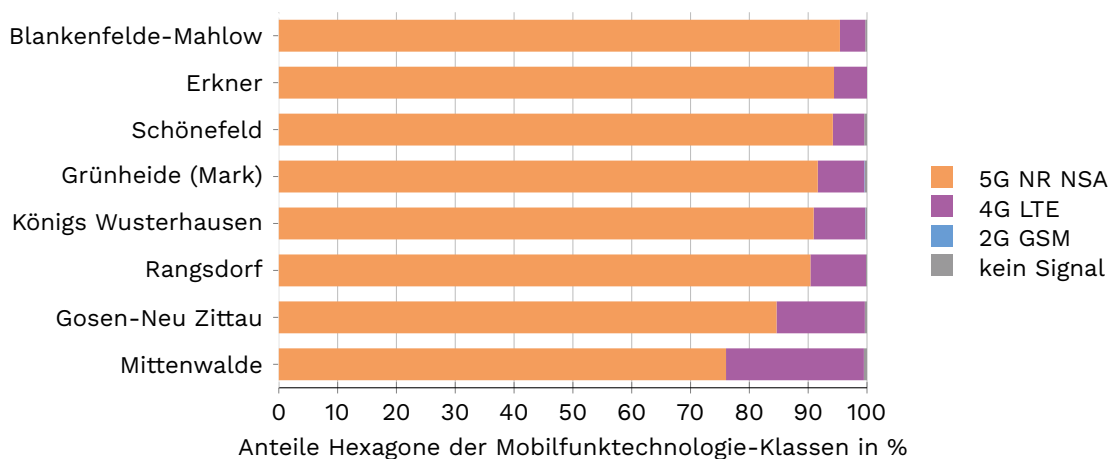


Abbildung 23: Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Mittelbrandenburg

Abbildung 23 stellt die jeweils ermittelte modernste Mobilfunktechnologie in den acht Gemeinden der Befahrung im Teilgebiet Mittelbrandenburg dar. Bei sechs der acht Gemeinden wurde in über 90 % der Hexagone 5G NR NSA als modernste Mobilfunktechnologie ermittelt. Alle Gemeinden liegen bei über 75 % 5G NR NSA. In Königs Wusterhausen wurde zu 0,05 % und in Grünheide (Mark) zu 0,09 % 2G GSM als modernste Mobilfunktechnologie ermittelt.

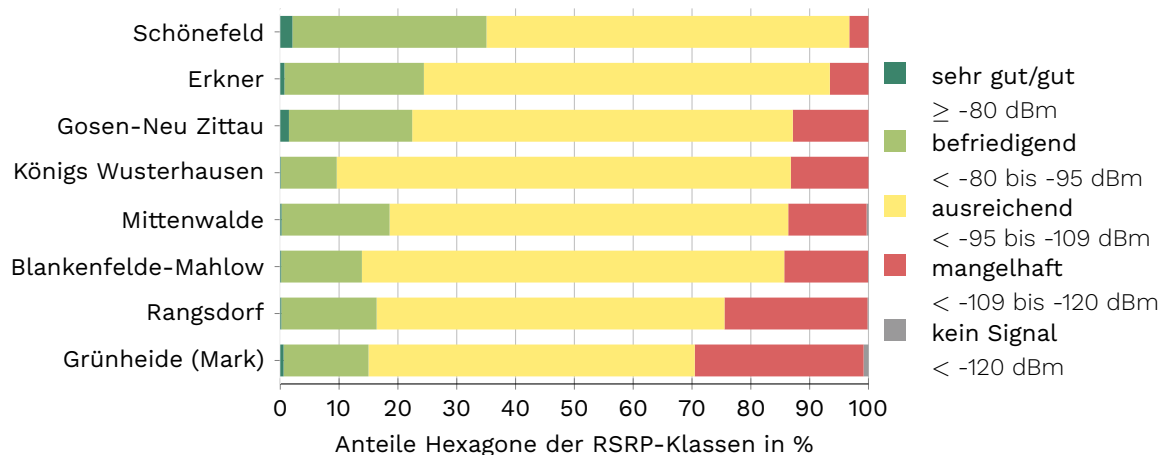


Abbildung 24: 4G LTE-Signalpegelklassen - Mittelbrandenburg

In Abbildung 24 sind die Signalpegelklassen für 4G LTE pro Gemeinde dargestellt. Alle Gemeinden erreichen in über 70 % der Hexagone wenigstens eine ausreichende Versorgung. Die Gemeinden Rangsdorf und Grünheide (Mark) liegen hinsichtlich einer ausreichender Signalpegelversorgung bei unter 85 %.

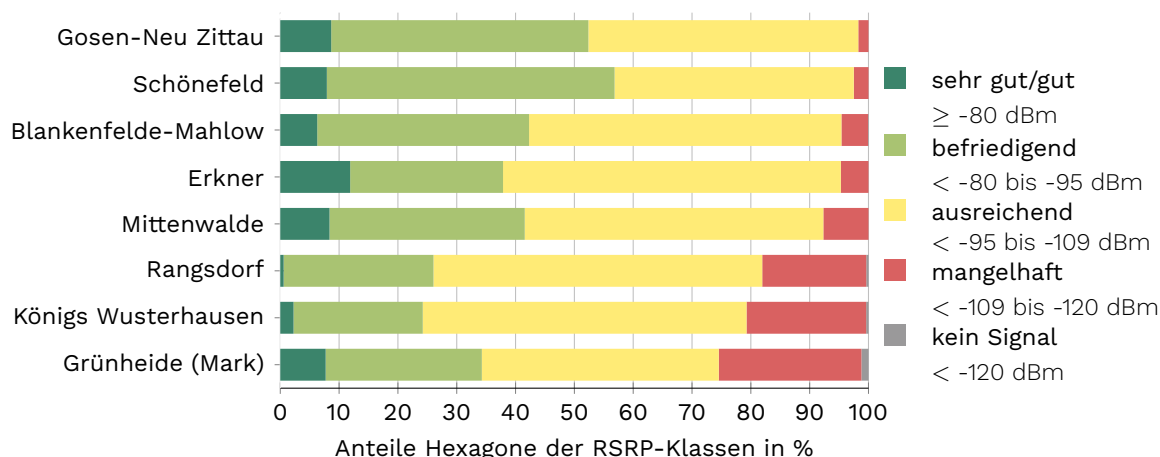


Abbildung 25: 5G NR-Signalpegelklassen - Mittelbrandenburg

Analog zu Abbildung 24 sind in Abbildung 25 die Signalpegelklassen für 5G NR pro Gemeinde dargestellt. Auch hier erreichen alle Gemeinden in über 70 % der Hexagone eine mindestens ausreichende Versorgung. In den Gemeinden Gosen-Neu Zittau, Schönefeld, Blankenfelde-Mahlow und Erkner werden Werte von über 92 % erreicht. Die Werte für die Gemeinden Rangsdorf, Königs Wusterhausen und Grünheide (Mark) liegen hingegen zum Teil deutlich unter 90 %.

5.3 Südbrandenburg

Südbrandenburg ist das Teilgebiet mit den meisten befahrenen Gemeinden. Das Gebiet verteilt sich auf 29 Gemeinden in vier Landkreise. Die einzelnen Gemeinden, sowie die zugehörigen Landkreise können Tabelle 8 entnommen werden.

Landkreis	Gemeinden
Cottbus	Cottbus
Spree-Neiße	Jänschwalde, Tauer, Drehnow, Teichland, Heinersbrück, Peitz, Forst (Lausitz), Groß Schacksdorf-Simmersdorf, Neiße-Malxetal, Döbern, Jämlitz-Klein Düben, Felixsee, Tschernitz, Wiesengrund, Spremberg, Neuhausen/Spree, Neupetershain, Drebkau, Welzow
Oberspreewald-Lausitz	Vetschau/Spreewald, Altdöbern, Luckaitztal, Bronkow, Calau, Neu-Seeland, Großräschen
Elbe-Elster	Massen-Niederlausitz, Crinitz

Tabelle 8: Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Südbrandenburg

In Südbrandenburg wurde in vielen Gemeinden eine schlechte Mobilfunkversorgung ermittelt. In 24 Gemeinden ist in weniger als 85 % der Hexagone 5G NR NSA verfügbar. In fünf Gemeinden wurde überhaupt kein 5G NR NSA gemessen. 16 Gemeinden erreichen eine 5G Versorgung unter 50 %. In diesen Gemeinden liegt Potenzial im zukünftigen 5G Ausbau. In 16 Gemeinden wird in ca. 70 % der Hexagone eine mindestens ausreichende 4G LTE Versorgung erreicht. Allgemein gilt es, die Pegelqualität sowohl für 4G LTE als auch für 5G NSA zu steigern.

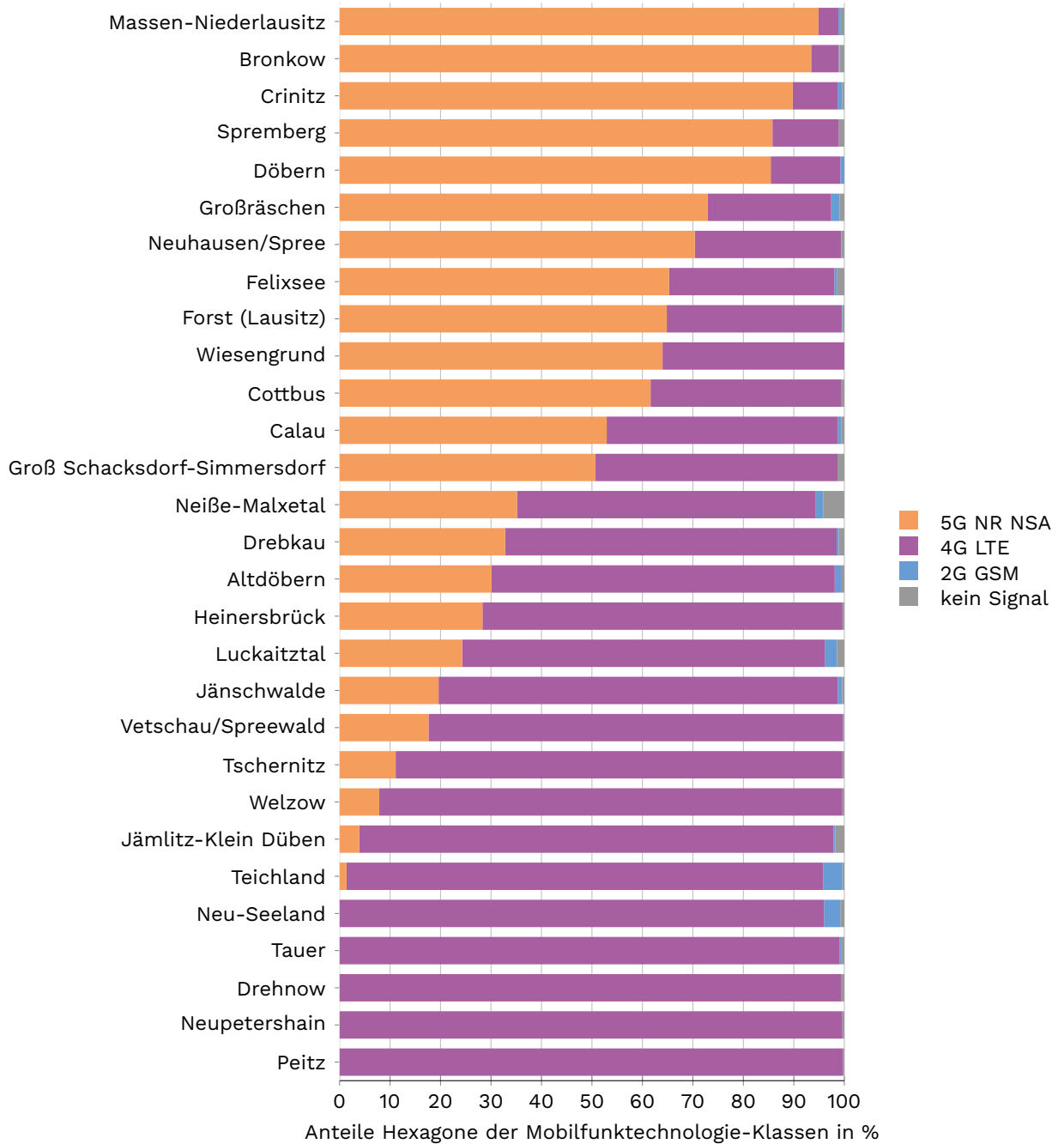


Abbildung 26: Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Südbrandenburg

Die modernste Mobilfunktechnologie pro Hexagon und Gemeinde ist in Abbildung 26 dargestellt. In den Gemeinden Massen-Niederlausitz, Bronkow, Crinitz, Spremberg und Döbern wurde über 85 % 5G NR NSA als modernste Mobilfunktechnologie ermittelt. Für die Gemeinden Welzow, Felixsee, Forst (Lausitz), Wiesengrund, Cottbus, Calau und Groß Schacksdorf-Simmersdorf liegt dieser Wert zwischen 50 % und 70 %. In 16 Gemeinden wurde für weniger als 50 % der Hexagone 5G NR NSA gemessen. Die Gemeinden Neu-Seeland, Neupetershain, Drehnow, Peitz und Tauer sind laut Befahrungsdaten nicht mit 5G NR NSA versorgt. Diese Gebiete liegen zum Teil nahe beieinander, wie z.B. Drehnow, Peitz und Tauer, die nördlich von Cottbus liegen. In sechs Gemeinden ist 2G GSM mit Anteilen zwischen 1,2 und

3,8 % die modernste Mobilfunktechnologie. In sieben Gemeinden liegt der Anteil der Hexagone „ohne Signal“ zwischen 1,0 und 4,1 %.

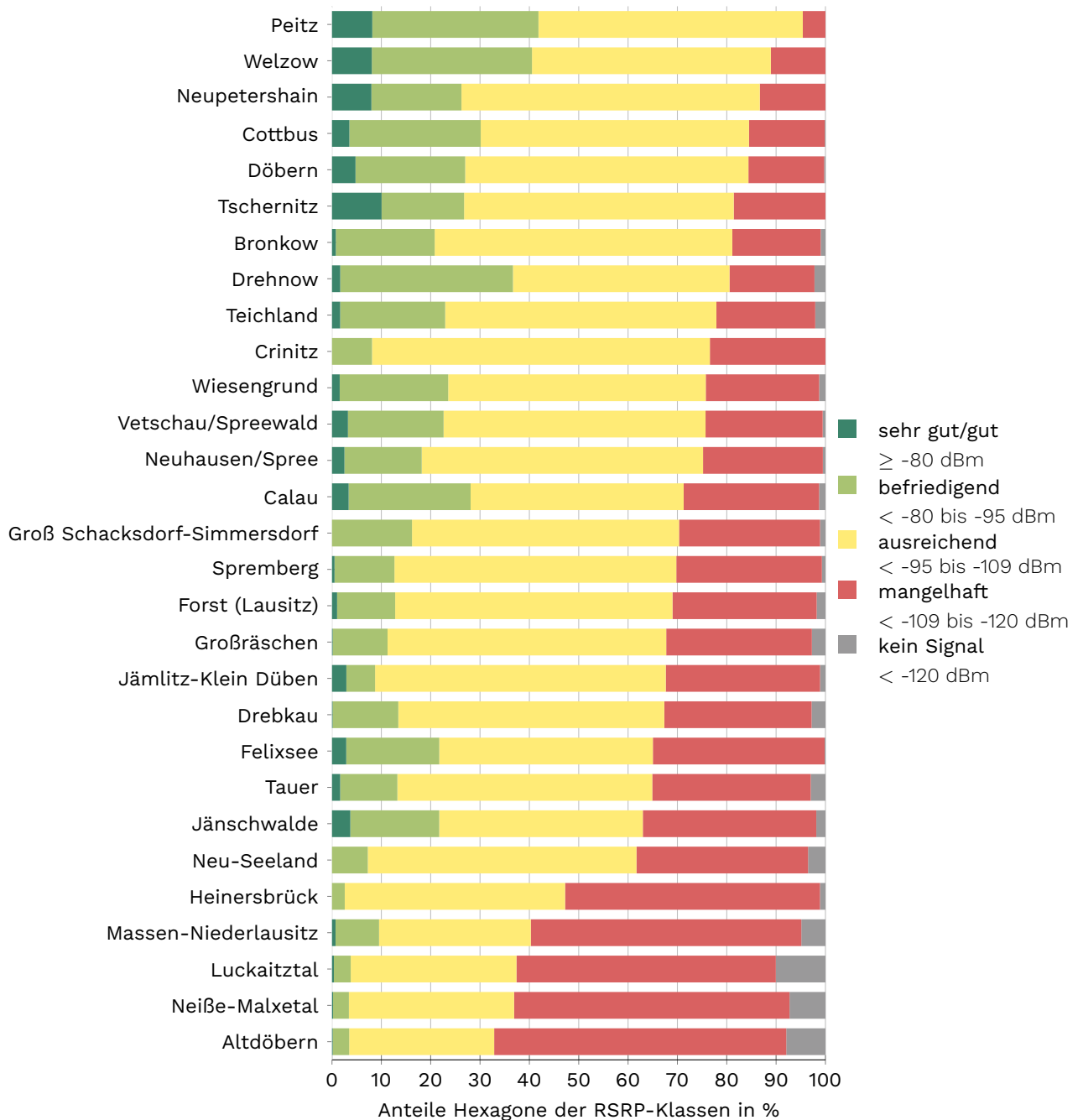


Abbildung 27: 4G LTE-Signalpegelklassen - Südbrandenburg

Abbildung 27 zeigt die 4G LTE Signalpegelklassen. 15 Gemeinden verzeichnen in wenigstens 70 % der Hexagone einen mindestens ausreichenden Signalpegel der größer gleich -109 dBm ist. In fünf Gemeinden liegt dieser Wert bei unter 50 %. In den Gemeinden Peitz, Welzow und Neupetershain ist die Signalpegelqualität am höchsten. Hier liegen über 85 % der Signalpegel mindestens im Bereich ausreichender Qualität.

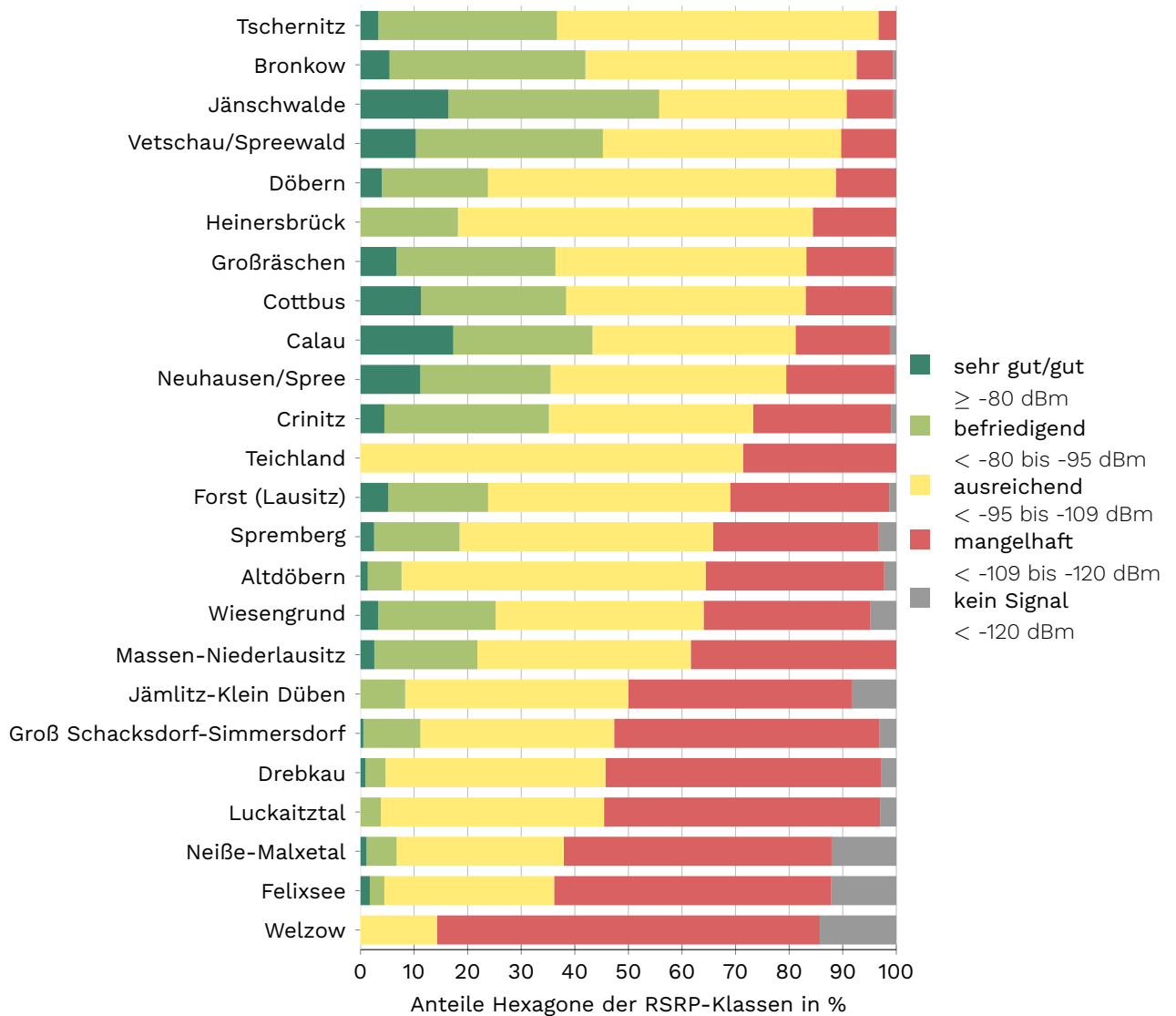


Abbildung 28: 5G NR-Signalpegelklassen - Südbrandenburg

Abbildung 28 zeigt die Signalpegelqualität für 5G NR NSA. Die fünf Gemeinden ohne jegliche 5G-Versorgung (Neu-Seeland, Neupetershain, Drehnow, Peitz, Tauer) wurden in der Darstellung ausgelassen. In fünf Gemeinden liegen über 85 % der Signalpegel im Bereich von mindestens ausreichender Qualität. Insgesamt 12 Gemeinden weisen zu 70 % einen mindestens ausreichenden Signalpegel (größer gleich -109 dBm) auf. In 7 Gemeinden liegt dieser Anteil hingegen bei unter 50 %.

6 Weiterführende Auswertungen

Neben den in Kapitel 4 dargestellten direkten Auswertungen der Messergebnisse wurden weitere Auswertungen durchgeführt, die die Weiterentwicklung zur digitalen Daseinsvorsorge und den weiteren Ausbau der Breitbandinfrastrukturen im Gebiet Brandenburg unterstützen sollen. Hierzu gehört die Auswertung der LTE-Versorgung nach Straßentyp in Kapitel 4.2, die Plausibilisierung der Messdaten mit Hilfe des Mobilfunkmonitorings der BNetzA in Kapitel 6.2 und die Modellierung der LTE-Flächenversorgung in Kapitel 6.3. Die Ergebnisse der Auswertungen sind in diesem Kapitel aufgeführt.

6.1 LTE-Versorgung nach Straßentypen

Die Befahrungsdaten wurden genutzt, um die LTE-Versorgung differenziert nach Straßentypen zu analysieren. Von den 8.250 km befahrenen Straßenkilometern (vgl. Kapitel 2) wurden fast 7.961 km hinsichtlich der LTE-Versorgung ausgewertet. Die aufgenommenen Messwerte wurden mit den Straßendaten aus dem digitalen Landschaftsmodell konsolidiert und nach Straßentyp ausgewertet. Insgesamt wurden 810 km Autobahnen, 844 km Bundesstraßen, 1.145 km Landesstraßen, 523 km Kreisstraßen, 2.933 km Gemeindestraßen und 1.707 km Wirtschaftswege hinsichtlich der LTE-Versorgung ausgewertet.

Die LTE-Versorgung gilt ab einem bestimmten Leistungsgrenzwert als gesichert. Die BNetzA gibt diesen Wert mit -109 dBm an. Bei diesem Leistungswert soll eine Mindestdownloadrate von 2 MBit/s für Frequenzen unter 3 GHz erreicht werden. Erneut werden die RSRP-Messwerte zur Auswertung herangezogen. In Abbildung 29 ist der prozentuale Anteil mit LTE versorgter Straßen nach Straßentyp und jeweiligem MNB als Balkendiagramm dargestellt. Die Prozentskala bezieht sich auf die Anteile der Straßenkilometer, bei denen die jeweilige Leistungsschwelle in Bezug auf die insgesamt ausgewertete Strecke des jeweiligen Straßentyps erreicht wurde. Die Anteile der Straßenkilometer mit LTE-Versorgung ($RSRP \geq -109$ dBm) sind pro MNB farbcodiert als Balken dargestellt. Insgesamt wurde bei 84,3 % der Straßenkilometer eine ausreichende LTE-Versorgung festgestellt. Autobahnen sind zu 98,6 %, Bundesstraßen zu 93,4 % und Gemeindestraßen zu 86,4 % bei kombinierter Betrachtung versorgt. Für die weiteren Straßentypen wurde eine LTE-Versorgung von 85,6 % für Landstraßen, 82,3 % für Kreisstraßen und 69,3 % für Wirtschaftswege ermittelt. Insgesamt wurde bei keinem MNB eine LTE-Versorgung über 75 % mit mehr als -109 dBm ausgemacht, der MNB Telekom erreicht eine Abdeckung von 73,5 %, der MNB Telefónica von 58,9 % und der MNB Vodafone von 42,6 %.

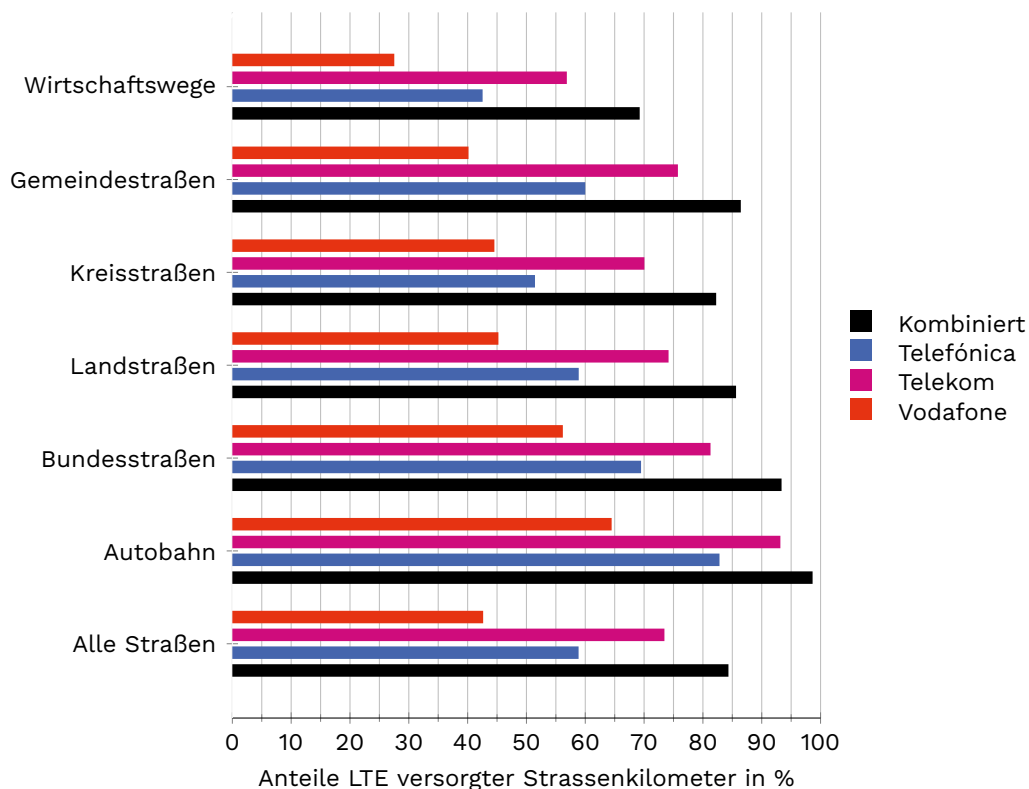


Abbildung 29: 4G LTE-Versorgung nach Straßentypen nach Mobilfunknetzbetreiber bei $RSRP \geq -109$ dBm

6.2 Plausibilisierung der Messdaten

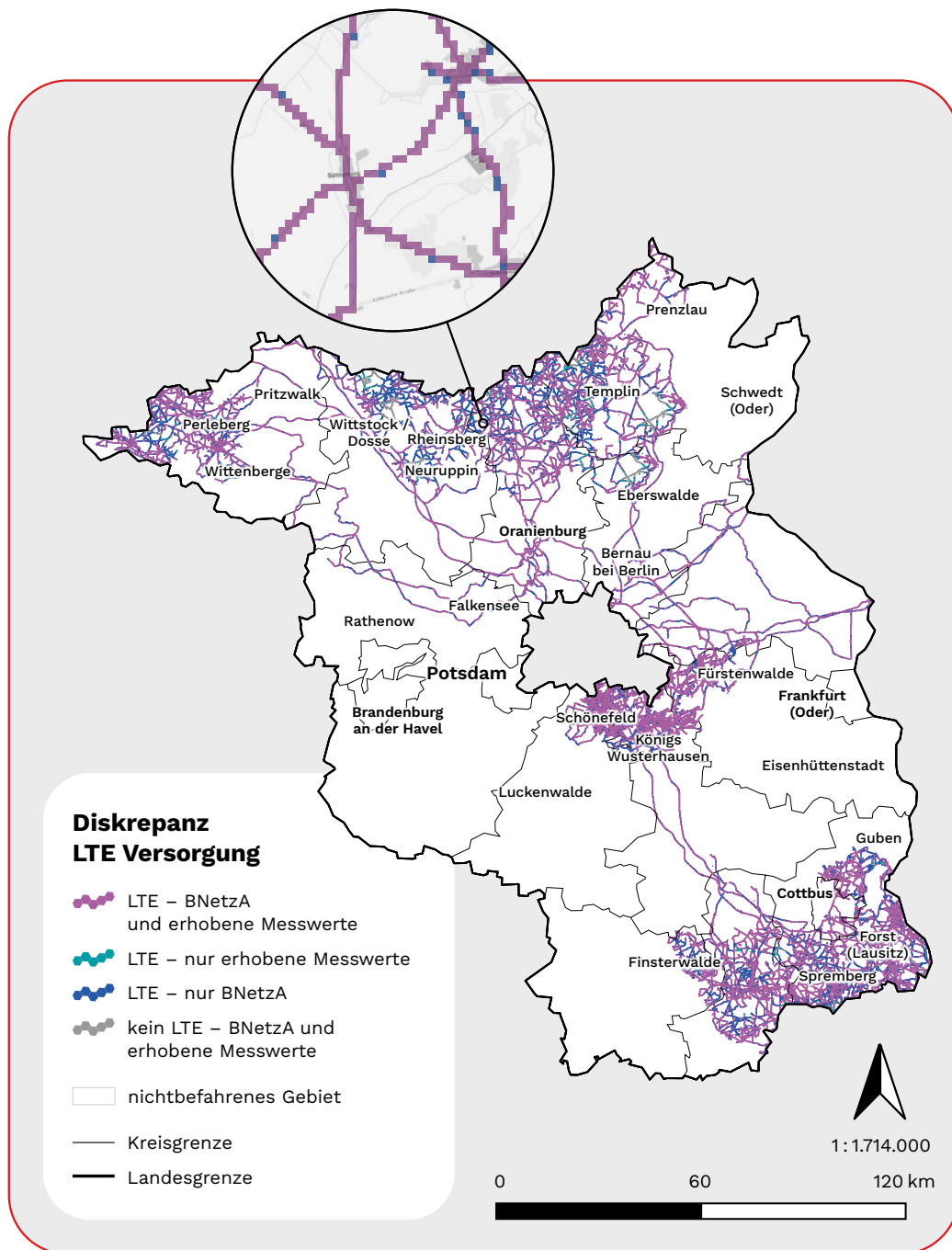
Um eine Plausibilisierung der erhobenen Messdaten zu ermöglichen, werden sie mit den Versorgungsmeldungen der Mobilfunknetzbetreiber verglichen. Die entsprechenden Werte werden regelmäßig im Rahmen des Mobilfunk-Monitorings durch die BNetzA veröffentlicht und sind öffentlich zugänglich. Hierbei ist anzumerken, 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 immer eine Momentaufnahme dar und kann durch externe Faktoren beeinflusst werden. So hat z.B. die Vegetation einen maßgeblichen Einfluss. Je nach Belaubung der umliegenden Vegetation kann die Reichweite von Mobilfunkmasten stark variieren. Auch Witterungseffekte haben einen großen Effekt auf die Ausbreitung des Funkkanals. Weiterhin variiert die Auslastung der Mobilfunkzellen. So sind zu bestimmten Tageszeiten mehr Nutzende aktiv im Netz vertreten als zu anderen Zeiten, gleiches gilt für Wochentage und spezielle Ereignisse.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, wurden die Messwerte durch eine Befahrung des Straßennetzes erhoben. Beim Vergleich mit dem Mobilfunk-Monitoring der BNetzA ist dabei mit Abweichungen zu rechnen. Die BNetzA erhält modellierte Daten der Mobilfunknetzbetreiber, welche durch stichprobenhafte Messungen seitens der BNetzA geprüft werden. Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden von der BNetzA einheitliche Vorgaben hinsichtlich der Berechnung der Mobilfunknetzabdeckung gemacht [12]. Darüber hinaus bietet die Funkloch-App

der BNetzA Nutzenden die Möglichkeit eigene Messdaten zu erheben. Diese Daten werden zusätzlich zur Validierung des Mobilfunk-Monitorings genutzt.

Im Folgenden werden die ermittelten Abweichungen zwischen den durchgeführten Messungen und den offiziellen Versorgungsdaten der BNetzA [13] in 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.

Die räumliche Darstellung der Plausibilisierung ist in Karte 10 zu finden. Sonnenberg ist in Karte 10 exemplarisch vergrößert dargestellt.



Karte 10: Vergleich LTE-Versorgung BNetzA - Messwerte im Befahrungsgebiet (alle Mobilfunknetzbetreiber)
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

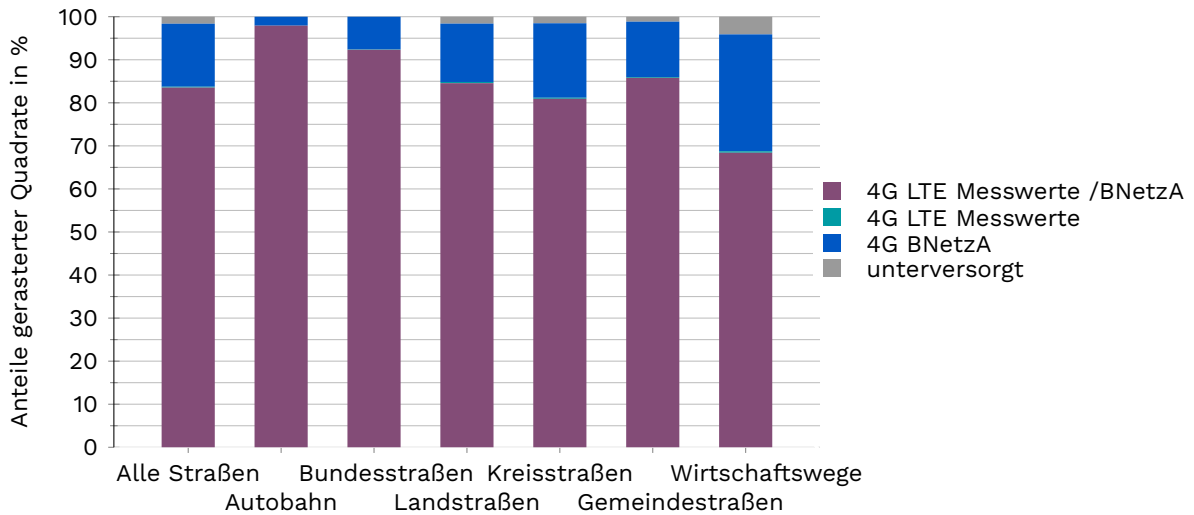


Abbildung 30: Gegenüberstellung Messwerte und BNetzA

Abbildung 30 zeigt die Gegenüberstellung der Messwerte mit dem Mobilfunk-Monitoring der BNetzA. Für die Vergleichbarkeit wurden die Daten in einem 100 mal 100 Meter Raster, wie es in der Darstellung der BNetzA verwendet wird, verschnitten und gemittelt.

In 83,5 % der Quadrate ist sowohl von der BNetzA zur Verfügung gestellten, als auch gemäß den durch die Befahrung ermittelten Messwerten ein LTE-Signal ($RSRP \geq -109$ dBm) vorhanden. In 1,6 % der Quadrate ist nach beiden Quellen kein LTE-Signal verfügbar. In einigen Quadraten treten jedoch Diskrepanzen auf - hier ist entweder nur in den Messwerten, jedoch nicht laut Mobilfunk-Monitoring der BNetzA LTE vorhanden (0,2 %) oder es ist nur in den von den MNB gemeldeten Daten der BNetzA ein LTE-Signal angeben (14,6 % der Quadrate).

Für Autobahnen (97,9 %) und Bundesstraßen (92,3 %) ist die Übereinstimmung höher als für andere Straßentypen. Für Gemeindestraßen liegt sie noch bei 87,0 %, für Landstraßen bei 86,2 %, für Kreisstraßen bei 82,5 % und für Wirtschaftswege nur noch bei 72,5 %. In allen Fällen wurde von der BNetzA eine höhere Versorgung dargestellt, als in der Messdatenauswertung ermittelt wurde.

6.3 Modellierung der LTE-Flächenversorgung

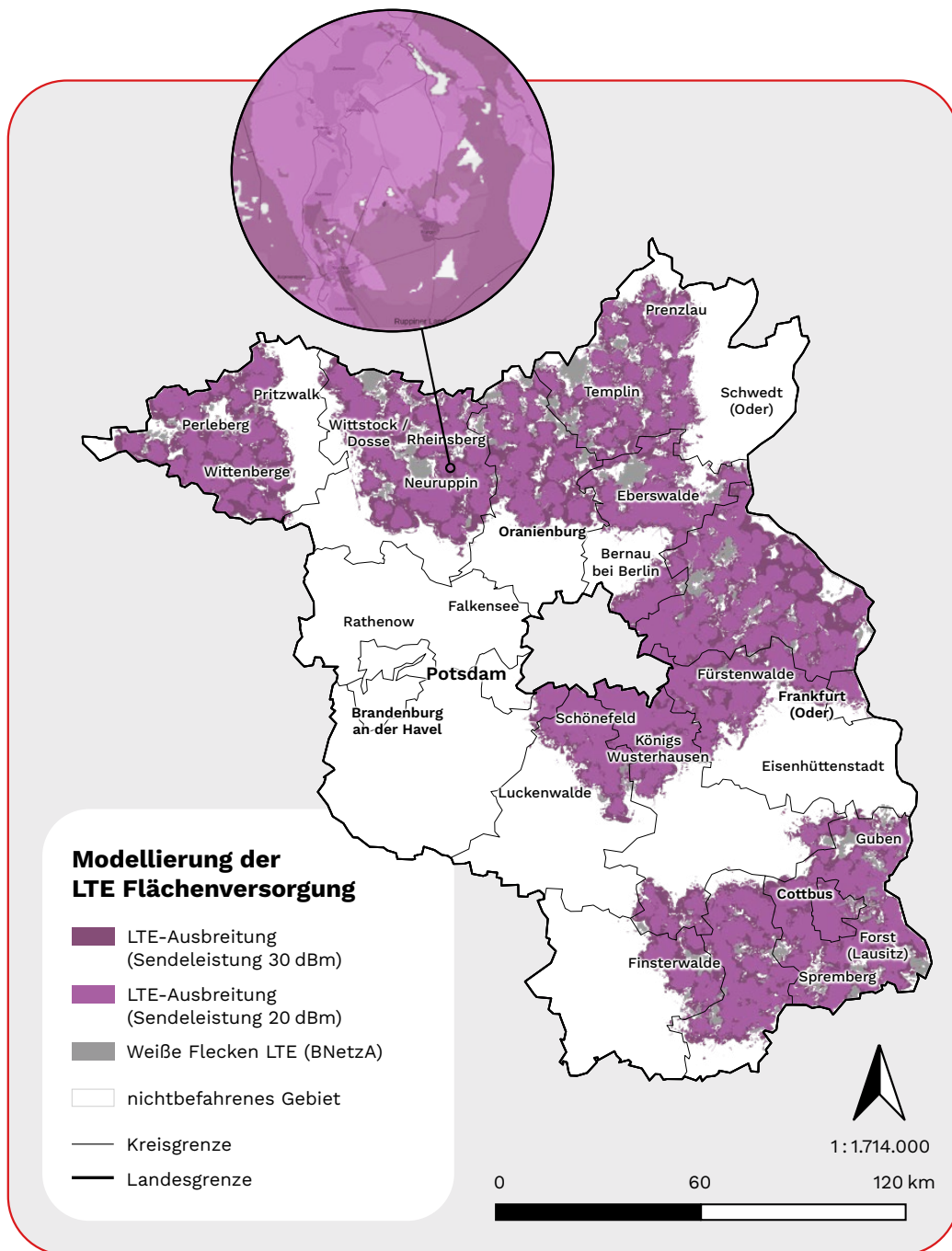
Ergänzend wurden weitere Modellierungen zur flächendeckenden Mobilfunkversorgung mit den Messdaten durchgeführt. Da genaue Standortbescheinigungen und die verbaute Technik der Maststandorte als Informationsmaterial zum Bearbeitungszeitpunkt nicht vorlagen, wurden die gemessenen RSRP-Signale und die zugehörigen Mobilfunkzellenidentifikationsnummern mit den Koordinaten des Messpunktes inter- und extrapoliert, um auf das Zentrum des Signals und die verbaute Technik Rückschlüsse ziehen zu können. Die Ausbreitungsdaten wurden mithilfe spezieller Berechnungsmodelle ermittelt. Zusätzlich wurden weitere Datenquellen wie das digitale Geländemodell⁸ und Landnutzungsdaten integriert [14]. Auf diese Weise lässt sich die Mobilfunkausbreitung auch außerhalb der befahrenen Straßen modellieren.

Die Ausbreitungsmodellierung ist beispielhaft in Karte 11 mit den Grenzwerten der BNetzA und der MIG ($\text{RSRP} \geq -109 \text{ dBm}$) für alle MNB dargestellt. Zusätzlich wurden zwei unterschiedliche Sendeleistungen der Mobilfunkmasten angenommen (Worst- und Best-Case-Szenario). Hier wurden für eine niedrige Sendeleistung 20 dBm (was einer Leistung von 0,1 Watt entspricht) angenommen, für eine hohe Sendeleistung 30 dBm (was 1 Watt entspricht). Die Leistung, die pro Antennensektor und Frequenzband genutzt wird, hängt zudem von den jeweiligen Sendemasten und der Nutzung ab. Alle farblich hervorgehobenen Flächen zeigen eine Empfangsleistung bis zur entsprechenden Grenze. Da die Maststandorte aus den Messdaten inter- und extrapoliert wurden, besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit der Maststandorte. Gezielte Auswertungen sind zwar möglich, allerdings kann keine Gesamtflächenauswertung für das ganze Land Brandenburg durchgeführt werden.

Zum Abgleich sind zusätzlich die weißen Flecken der LTE-Versorgung aus dem Mobilfunk-Monitoring der BNetzA dargestellt. In Karte 11 ist Krangen vergrößert dargestellt.

Die Ausbreitungsmodellierung zeigt, dass die räumliche Verteilung der unterversorgten Gebiete im sehr guten Einklang mit den von der BNetzA ermittelten weißen Flecken ist. Darüber hinaus zeigt die Ausbreitungsmodellierung, dass die unterversorgten Gebiete quantitativ etwas größer sind als von der BNetzA ermittelt. Das Gebiet um den Flughafen Berlin Brandenburg „Willy Brandt“ weist dabei räumlich gesehen weniger unterversorgte Gebiete auf, wohingegen in den nördlichen Landkreisen Oberhavel und Ostprignitz-Ruppin bzw. in den südlichen Landkreisen Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz diese Gebiete größer sind.

⁸Digitales Geländemodell Gitterweite 1 m (DGM1)



Karte 11: LTE-Ausbreitungsmodellierung im Befahrungsgebiet
 Quelle: Messdaten GESBRO mbH 2022 / 2023

7 Fazit

Durch Messungen, die im Jahr 2022/2023 durchgeführt wurden, kann ein differenziertes Bild der Mobilfunkversorgung in ausgewählten Gebieten Brandenburgs gezeichnet werden. Im Gegensatz zu Crowd-Daten oder Simulationen, die regelmäßig eingesetzt werden, um die Mobilfunkversorgung zu ermitteln, stellen gemessene Daten ein belastbares Abbild der Ist-Versorgung dar. Dadurch werden zukünftige Fortschritte im Netzausbau mess- und dokumentierbar. Die Daten und Auswertungen können zudem proaktiv genutzt werden, um so den zielgerichteten Mobilfunkausbau in Brandenburg zu unterstützen.

Insgesamt wurden 8.250 Kilometer mit Messfahrzeugen befahren. Dabei wurden 14,3 Mio. Messdaten und den verfügbaren Frequenzbändern erhoben. Alle Messungen wurden für die drei etablierten Mobilfunknetzbetreiber (MNB) Telefónica, Telekom und Vodafone durchgeführt. Für die Auswertung wurden die Messdaten in 67.759 Hexagone mit 80 Metern Kantenlänge aggregiert und ausgewertet. Eine Erläuterung zu den Auswertungen kann Kapitel 2 entnommen werden.

Messergebnisse für verschiedene Technologien in Brandenburg

Generell ist der 5G Ausbau in der Retrospektive seit 2020 zu beobachten. Im Messverschnitt ist der Anteil von 5G NR NSA von 0,0 % im Jahr 2020 auf 66,3 % im Jahr 2022/2023 angestiegen. Zusätzlich ist der Anteil an 2G GSM als Rückfallebene kleiner geworden. War 2020 noch in 4,8 % der Fläche 2G GSM ermittelt worden, hat sich dieser Wert in 2022/2023 auf 0,3 % reduziert.

Insgesamt wurden 2022/2023 in 98,2 % der Messungen 4G LTE ermittelt. Weitere Informationen zur gemessenen Mobilfunktechnologie sind in Kapitel 4.1 zu finden. Die Mobilfunkversorgung wurde anhand des Signalpegelgrenzwerts von -109 dBm bewertet. Unter einem Empfangspegel von -109 dBm kann ein Gebiet in Hinblick auf Förderfähigkeit untersucht werden [2] [1]. Bei Betrachtung der Technologien 4G und 5G wurde bei 24,5 % der Hexagone der Grenzwert von -109 dBm nicht erreicht. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass in großen Teilen der ausgewerteten Gebiete eine relativ gute 4G LTE- und 5G NR-Versorgung vorhanden ist. Die unterversorgten Bereiche befinden sich erwartungsgemäß im ländlichen, dünner besiedelten Raum. Dort wurden weiße Flecken identifiziert, in denen weder eine 5G NR-, 4G LTE-, noch 2G GSM-Verbindung aufgebaut werden konnte (vgl. dazu Kapitel 4.2, Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4).

Mit Blick auf die eingesetzten Frequenzen wurde am häufigsten das Niedrigband ermittelt. Dieses Band ist besonders für hohe Reichweiten nutzbar und bringt gute Penetrationseigenschaften mit. Im Niedrigband sind allerdings die Bandbreiten begrenzter und die erreichbaren Datenraten niedriger. Die MNB Telefónica und Vodafone setzen auch das Hochband und zu einem etwas geringeren Teil das Mittelband ein. Auch der MNB Telekom zeigte in den Messungen den Einsatz des Mittelbandes. Die Frequenzauswertung findet sich in Kapitel 4.5.

Während der Messfahrten wurden 75.826 Speedtests durchgeführt um Messdaten für Datenraten und den Ping zu erfassen. Die Speedtests wurden in insgesamt

31.830 Hexagone mit 80 m Kantenlänge verschnitten. Bei der Downloadratenauswertung sind in 88,9 % der Hexagone Raten über 2 Mbit/s ermittelt worden. 2 Mbit/s ist ein Grenzwert für die Förderfähigkeit, der am Rand einer Mobilfunkzelle erreicht werden soll [1]. Generell sind im ländlichen Raum niedrigere Datenraten erfasst worden, als in den Städten. Die ermittelten Messwerte können regional deutliche Unterschiede aufweisen. Da die Speedtests während der Fahrt aufgenommen wurden, sind auf Autobahnen und Bundesstraßen aufgrund der höheren Fahrgeschwindigkeit höhere Pings ermittelt worden. In Kapitel 4.6 findet sich die detaillierte Auswertung zu den Speedtests. Ein Blick auf die LTE-Versorgung unterschiedlicher Straßentypen zeigt eine deutliche Ausbau-Priorisierung der Hauptverkehrswege: die Autobahnen in Brandenburg sind zu 98,6 % und Bundesstraßen zu 93,4 % mit einer LTE-Empfangsleistung von mindestens -109 dBm versorgt, Landstraßen hingegen nur zu 85,6 % und Kreisstraßen zu 82,3 %.

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 [1] definiert.

Versorgung in den Regionen

Die Versorgung in Nordbrandenburg kann als ausbaufähig bezeichnet werden. Viele Gemeinden profitieren bereits von dem 5G-Ausbau, allerdings noch in einer geringen Qualität. Das gilt auch für die 4G-Versorgung. Die Versorgung der Gemeinden Weisen, Gransee, Karstädt oder Sonnenberg kann mit Blick auf 4G und 5G dagegen bereits als gut bezeichnet werden.

Die Regionen um Berlin zeigen eine gute Versorgung. Die Nähe zur Hauptstadt geht mit vielen Hauptverkehrswegen in den Regionen einher. Entsprechend ist der 5G NR NSA-Ausbau weit fortgeschritten, d.h. in allen Gemeinden wurde ein höherer 5G NR NSA-Technologieanteil ermittelt als die 66,3 % des Gesamtgebietsdurchschnitts. Die Signalpegelqualität übersteigt sowohl für 4G als auch für 5G zu einem Großteil -109 dBm.

Für den Süden des Landes Brandenburg wurde dagegen eine schlechtere Mobilfunkversorgung ermittelt. Laut der Messungen ist in 22 der 29 Gemeinden in weniger als 66,3 % der Hexagone 5G NR NSA verfügbar, in fünf Gemeinden wurde kein 5G gemessen. 66,3 % entspricht dem Durchschnitt an 5G NR NSA des gesamten Befahrungsgebiets. Die 4G LTE-Signalpegelversorgung unterschreitet den Wert -109 dBm in 70 % der Hexagone in 16 Gemeinden. Es gilt hier künftig die Pegelqualität zu steigern. Gleiches gilt für 19 Gemeinden in Bezug auf die 5G-Signalpegelversorgung. Insbesondere für Unternehmen wird zukünftig auch eine hoch performante 5G-Versorgung eine wichtige Rolle spielen. Fernwartungssysteme, E-Health-Anwendungen, sowie viele neue mobile Dienste benötigen eine leistungsfähige 5G-Mobilfunkinfrastruktur. 5G-Anwendungen und -Projekte werden bereits bundesweit erforscht und getestet, so auch 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, die Mobilfunkversorgung stetig zu verbessern.

Abbildungsverzeichnis

1	Außenansicht eines Messfahrzeugs	12
2	RSRP-Messdatenzusammenfassung in einem Hexagon	15
3	Darstellung Zusammenhang Reichweite, Datenrate und Frequenz . . .	17
4	Modernste Mobilfunktechnologie nach MNB	26
5	Mobilfunktechnologie nach MNB	27
6	Vergleich Mobilfunktechnologie (gesamtes Befahrungsgebiet)	28
7	Vergleich Mobilfunktechnologie (identisches Befahrungsgebiet)	28
8	Kumulative Verteilungsfunktion 4G LTE RSRP	31
9	4G LTE-Signalpegelklassen kombiniert	32
10	Vergleich LTE-Signalqualitätsklassen (gesamtes Befahrungsgebiet) . .	33
11	Vergleich LTE-Signalqualitätsklassen (identisches Befahrungsgebiet) .	33
12	Kumulative Verteilungsfunktion NR RSRP	36
13	Anteil der MNB an gemessenen 5G NR-Signalpegelklassen	37
14	Vergleich NR-Signalpegelklassen (gesamtes Befahrungsgebiet)	38
15	Vergleich NR-Signalpegelklassen (identisches Befahrungsgebiet)	38
16	Mobilfunkversorgung (RSRP \geq -109 dBm) je Technologie	41
17	Verfügbarkeit verschiedener Frequenzbänder	44
18	Messergebnisse der jeweiligen Downloadraten	47
19	Ermittelte Pingklassen nach Mobilfunknetzbetreiber	48
20	Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Nordbrandenburg . . .	51
21	4G LTE-Signalpegelklassen - Nordbrandenburg	52
22	5G NR-Signalpegelklassen - Nordbrandenburg	53
23	Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Mittelbrandenburg . . .	54
24	4G LTE-Signalpegelklassen - Mittelbrandenburg	55
25	5G NR-Signalpegelklassen - Mittelbrandenburg	55
26	Modernste gemessene Mobilfunktechnologie - Südbrandenburg	57
27	4G LTE-Signalpegelklassen - Südbrandenburg	58
28	5G NR-Signalpegelklassen - Südbrandenburg	59
29	4G LTE-Versorgung nach Straßentypen	61
30	Gegenüberstellung Messwerte und BNetzA	64

Kartenverzeichnis

1	Befahrene Straßen der Gebiete Brandenburgs	11
2	Befahrene Straßen 2020 und 2021	21
3	Modernste gemessene Mobilfunktechnologie im Befahrungsgebiet	25
4	Gemessene RSRP LTE-Signalpegel im Befahrungsgebiet	30
5	Gemessene NR-Signalpegel im Befahrungsgebiet	35
6	Mobilfunkversorgung im Befahrungsgebiet	40
7	Gemessene Frequenzbänder im Befahrungsgebiet	43
8	Gemessene Downloadraten für das Befahrungsgebiet	45
9	Gemessene Pingklassen für das Befahrungsgebiet	46
10	Vergleich LTE-Versorgung BNetzA - Messwerte im Befahrungsgebiet	63
11	LTE-Ausbreitungsmodellierung im Befahrungsgebiet	66

Tabellenverzeichnis

1	RSRP-Signalpegel-Abstufungen für 4G LTE und 5G NR	14
2	Anwendungen und Downloadratenanforderungen	18
3	Einteilung der Downloadratenklassen mit Beispielanwendungen	19
4	Einteilung der Pingwertklassen mit Beispielanwendungen	20
5	Einteilung Gebiet Brandenburg in Teilgebiete	49
6	Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Nordbrandenburg	50
7	Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Mittelbrandenburg	54
8	Befahrene und ausgewertete Gemeinden in Südbrandenburg	56

Abkürzungsverzeichnis

BiBB	Breitbandinformationssystem Brandenburg
BNetzA	Bundesnetzagentur
dBm	Dezibel Milliwatt
DGM1	Digitales Geländemodell Gitterweite 1 m
DSS	Dynamic Spectrum Share
GSM	Global System for Mobile Communications
LTE	Long Term Evolution
MIG	Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft
MNB	Mobilfunknetzbetreiber
NR	New Radio
NSA	Non-Standalone
RSRP	Reference Signal Received Power
SA	Standalone
VoIP	Voice over IP

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesnetzagentur. *Monitoring-Mobilfunk-Karte Parametervorgabe*. Abgerufen am 18.01.2023. 2021. URL: https://download.breitband-monitor.de/202204_Parametervorgabe.pdf.
- [2] Bundesministerium für Digitales und Verkehr. *Leitfaden zur Umsetzung der Förderrichtlinie "Mobilfunkförderung"*. Abgerufen am 18.01.2023. Mai 2022. URL: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/foerderprogramm-mobilfunkfoerderung-foerderleitfaden.pdf?__blob=publicationFile.
- [3] Bundesnetzagentur. *Übersicht Mobilfunkspektrum nach der Auktion*. Abgerufen am 01.03.2023. 2020. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2018/Frequenzen700bis3600.pdf.
- [4] Unity GmbH. *Netzwerkanforderungen für VoIP, Version 4.2*. Abgerufen am 18.01.2023. 2014. URL: https://unify.com/en/?nx_doc_id=dad1c282-a37c-46d0-9ef3-addfa2680288.
- [5] Avaya GmbH & Co. KG. *VoIP & Video Conferencing – LAN Mindestanforderungen*. Abgerufen am 18.01.2023. Juli 2021. URL: https://www.avaya.com/de/documents/voip_und_video_conf_mindestanford_lan_v02_de_juli_2021_axs.pdf.
- [6] Cisco. *Was sind die Mindestanforderungen an die Bandbreite für das Senden und Empfangen von Videos in Cisco Webex Meetings?* Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://help.webex.com/de-de/article/WBX22158/Was-sind-die-Mindestanforderungen-an-die-Bandbreite-f%5C%C3%5C%BCr-das-Senden-und-Empfangenvon-Videos-in-Cisco-Webex-Meetings?>.
- [7] Zoom Video Communications Inc. *Zoom Systemanforderungen: Windows, macOS, Linux "Bandbreitenanforderungen"*. Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://support.zoom.us/hc/de/articles/201362023-Zoom-Systemanforderungen-Windows-macOS-Linux>.
- [8] Google. *YouTube Hilfe SSystemanforderungen: Anforderungen für Filme und Serien*. Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=de>.
- [9] Netflix. *Empfehlungen zur Internetgeschwindigkeit*. Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://help.netflix.com/de/node/306>.
- [10] Spotify. *Audioqualität*. Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://support.spotify.com/de/article/audio-quality/>.
- [11] Microsoft. *Einrichten Ihres Android-Geräts für Cloud Gaming: Mindestanforderungen*. Abgerufen am 18.01.2023. 2023. URL: <https://support.xbox.com/de-DE/help/games-apps/cloud-gaming/setup-cloud-gaming-android>.
- [12] Bundesnetzagentur. *Mobilfunk-Monitoring Q&A*. Abgerufen am 01.03.2023. 2020. URL: <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/start.html>.
- [13] Bundesnetzagentur. *Mobilfunk-Monitoring Karte*. Abgerufen am 01.03.2023. 2020. URL: <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/Vollbild/start.html>.

- [14] *CORINE Land Cover - CLC*. Abgerufen am 01.03.2023. 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc>.

Impressum

Kontakt Daten / Angaben gemäß §5 TMG:

DigitalAgentur Brandenburg GmbH

Schiffbauergasse 14
14467 Potsdam

Vorsitzender des Aufsichtsrats:
Staatssekretär Hendrik Fischer

Handelsregister:
HRB31591 Registergericht Potsdam

Vertreten durch:
Frau Daniela Lehmann, Geschäftsführerin

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

Kontakt:

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

Redaktion, Gestaltung und Datenerfassung:



atene KOM GmbH



**GESBRO - Gesellschaft für Boden- und
Raumordnung mbH**