

„Untersuchung zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im ländlich geprägten Raum“

ABSCHLUSSBERICHT ZUM PROJEKT

Gefördert durch:
 Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
 Natur- und Verbraucherschutz
 des Landes Nordrhein-Westfalen



Projektdurchführung:

Fachhochschule Südwestfalen, Standort Meschede
 Fachbereich Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften



Version 1.0, 31. März 2021

Verfasser: Prof. Dr. C. Lüders, F. Pletziger (B.Eng.), C. Witteler (B.Eng.)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Umfeld und Hintergrund des Projekts	1
1.2	Inhalt und Ablauf des Projekts	3
1.3	Aufbau des vorliegenden Berichts	4
2	Mobilfunk-Versorgung: Definition, Auflagen, Zusammenhänge	6
2.1	Mobilfunksysteme: Wichtige Fakten und Zusammenhänge	6
2.1.1	Aufbau eines Mobilfunknetzes	6
2.1.2	Wichtige Effekte bei der Funkausbreitung	8
2.1.3	Erzielbare Datenraten und Generationen von Mobilfunksystemen	10
2.2	Versorgungsgüte und Versorgungsaufgaben	12
2.3	Überprüfung der Versorgungsaufgaben	13
2.4	Einflussfaktoren im Umfeld des Nutzers	15
2.5	Besonderheiten in Grenznähe	16
3	Quellen zur Beurteilung der Versorgungslage	19
3.1	Standortdatenbank der Bundesnetzagentur	19
3.1.1	Verfügbare Informationen	20
3.1.2	Beispiele für die Nutzung	20
3.1.3	Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit	21
3.1.4	Empfehlungen	21
3.2	Netzabdeckungskarten der Betreiber	21
3.2.1	Verfügbare Informationen	22
3.2.2	Beispiele für die Nutzung	23
3.2.3	Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit	26
3.2.4	Empfehlungen	26
3.3	Netzabdeckungskarten der Bundesnetzagentur – Mobilfunk-Monitoring	26
3.3.1	Verfügbare Informationen	27
3.3.2	Beispiele für die Nutzung	28
3.3.3	Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit	29
3.3.4	Empfehlungen	29
3.4	Funklochkarte der Bundesnetzagentur	30
3.4.1	Verfügbare Informationen	30
3.4.2	Beispiele für die Nutzung	30
3.4.3	Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit	30
3.4.4	Empfehlungen	31
3.5	Breitband-Atlas	31
3.6	Crowd-Sourcing-Daten – „umlaut-Studie“	32



3.6.1	Verfügbare Informationen	32
3.6.2	Beispiele für die Nutzung	33
3.6.3	Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit	35
3.6.4	Empfehlungen	36
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus einer eigenen Messkampagne	37
4.1	Messequipment und Auswahl der Szenarien	37
4.2	Technologieverfügbarkeit	38
4.3	LTE-Versorgung	39
4.3.1	Frequenzbänder für die LTE-Versorgung	39
4.3.2	Statistik zur LTE-Versorgung auf der Messroute	40
4.3.3	Vergleiche zwischen Messwerten und Netzabdeckungskarten	41
4.3.4	Vergleich zwischen Messwerten und Störmeldungen aus der Umfrage	42
4.4	Messungen zur Telefonie	43
4.4.1	Allgemeine Erkenntnisse	43
4.4.2	Exemplarische Ergebnisse aus den Messfahrten	44
4.4.3	Vergleich zwischen Messungen und Störmeldungen aus der Umfrage	45
4.4.4	Test der Telefonie über LTE	46
4.5	Besonderheiten in Grenznähe	47
4.6	Messungen an ausgewählten Orten	49
4.6.1	Messungen auf landwirtschaftlichen Flächen	49
4.6.2	Messungen auf dem Gelände von Unternehmen	50
4.6.3	Messungen in Wohngebieten	51
4.6.4	Messungen in einem grenznahen touristischen Gebiet	51
4.7	Abschließende Bewertung von Mobilfunkmessungen	53
4.7.1	Allgemeine Anmerkungen zu Mobilfunkmessungen	53
4.7.2	Vergleich verschiedener Messmethoden	53
5	Handlungsempfehlungen	56
5.1	Empfehlungen für Unternehmen und Endkunden	56
5.2	Empfehlungen für die öffentliche Hand	59
6	Zusammenfassung und Fazit	64



Abkürzungsverzeichnis

2G, ... 5G	2. ... 5. Generation des Mobilfunks
BNetzA	Bundesnetzagentur
BOR	Kreis Borken
CM Re	Connection Management Reestablishment
COE	Kreis Coesfeld
dB	Dezibel
dBm	Dezibel Milliwatt
DL	Downlink
DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
GIS	Geoinformationssystem
GSM	Global System for Mobile Communications
HSK	Hochsauerlandkreis
HSPA	High Speed Packet Access
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
M2M	Machine-to-Machine-Kommunikation
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MHz	Megahertz
MIG	Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft mbH
MS	Stadt Münster
MSL	Münsterland
NB-IoT	Narrow Band - Internet of Things
QGIS	Quantum Geoinformationssystem
RSRP	Reference Signals Received Power
RSRQ	Reference Signals Received Quality
SO	Kreis Soest
ST	Kreis Steinfurt
SWF	Südwestfalen
TF	Telefónica

TK	Telekom
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VF	Vodafone
VoLTE	Voice over Long Term Evolution
VoWifi	Voice over Wireless Local Area Network
WAF	Kreis Warendorf
WGS 84	World Geodetic System 1984
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Web Map Service
WMTS	Web Map Tile Service



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Kundenzufriedenheit	2
Abbildung 2-1: Prinzipieller Aufbau eines Mobilfunknetzes	7
Abbildung 2-2: Illustration zu Mobilfunkstandorten, Einwohnerdichten und Versorgungsflächen	8
Abbildung 2-3: Mobilfunk-Standort mit drei Antennenrichtung und drei Sektoren	8
Abbildung 2-4: Effekte der Funkausbreitung	9
Abbildung 2-5: Generationen von Mobilfunksystemen und die damit erzielbaren Datenraten	10
Abbildung 2-6: Frequenzen, Reichweite und Kapazität	11
Abbildung 2-7: Frequenzbänder und Aufteilung des Spektrums in Deutschland	11
Abbildung 2-8: RSRP und Downlink-Datenraten für einen 20-MHz-Träger bei LTE	13
Abbildung 2-9: Gemessener Empfangspegel in einem Einfamilienhaus	16
Abbildung 2-10: Illustration zur Versorgung in Grenznähe	17
Abbildung 3-1: LTE-Flächenversorgung im Münsterland lt. Netzabdeckungskarten der Betreiber	23
Abbildung 3-2: Identifikation von lohnenswerten neuen Standorten aus Netzabdeckungskarten	24
Abbildung 3-3: LTE-Netzabdeckungskarte eines Betreibers mit Störmeldungen aus der Umfrage	25
Abbildung 3-4: Vergleich zwischen den Netzabdeckungskarten der Betreiber und der BNetzA	27
Abbildung 3-5: Nicht-versorgte Flächenanteile lt. BNetzA für verschiedene Regionen	29
Abbildung 3-6: LTE-Versorgung lt. umlaut-Studie für den „besten“ Betreiber im jeweiligen Gebiet	33
Abbildung 3-7: Vergleich 4G-Versorgung laut Netzabdeckungskarten und umlaut-Studie	34
Abbildung 3-8: Vergleich von Versorgungsangaben – umlaut-Studie und Netzabdeckungskarten	34
Abbildung 4-1: Übersicht Messroute im Münsterland mit gemeldeten Störpunkten	38
Abbildung 4-2: Prozentsatz der Technologieverfügbarkeit auf der Messroute	39
Abbildung 4-3: Häufigkeit detektierter Frequenzbänder für die LTE-Versorgung	40
Abbildung 4-4: Mit 4G/LTE versorgte Anteile längs der Messroute	40
Abbildung 4-5: LTE-Empfang auf der Messroute im Vergleich zu den Netzabdeckungskarten	41
Abbildung 4-6: Statistik zur LTE-Versorgung im Vergleich zu den BNetzA-Karten	41
Abbildung 4-7: Störmeldungen, Messwerte und LTE-Netzabdeckungskarte im Vergleich	43
Abbildung 4-8: Empfangsqualität und besondere Ereignisse auf den Messrouten	45
Abbildung 4-9: Störmeldungen und gemessener 2G/GSM-Pegel im Vergleich	46
Abbildung 4-10: Test von Telefonie über LTE – Blockfehlerrate und Empfangspegel	46
Abbildung 4-11: Verwendung der niederländischen Netze bei LTE-Messfahrten	47
Abbildung 4-12: Illustration zum Netzwechsel abhängig von der Fahrtrichtung	47
Abbildung 4-13: Vergleich der LTE-Versorgung in Grenznähe mit gesamter Messroute	48
Abbildung 4-14: Empfangsqualität und Datenraten auf einer landwirtschaftlichen Fläche	49
Abbildung 4-15: Messungen zu Datenraten (DL) auf dem Gelände eines Unternehmens	50
Abbildung 4-16: Illustration zur Netzwahl in Grenznähe	51
Abbildung 4-17: Empfangspegel und Datenraten in einem touristischen Gebiet (Beispiel)	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Überblick über Versorgungsaufgaben und angestrebte Versorgungsziele	12
Tabelle 2-2: Mobilfunkversorgung in NRW	15
Tabelle 3-1: Vergleich der 4G/LTE-Versorgung lt. Umlaut-Studie für verschiedene Regionen	35



1 Einleitung

Der vorliegende Abschlussbericht präsentiert die wichtigsten Ergebnisse aus dem Projekt „Untersuchungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im ländlich geprägten Raum“, das vom Ministerium für Umwelt Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wurde. Das Projekt startete im Juli 2019 und endete im Februar 2021.

Die Untersuchungen wurden exemplarisch für die ländlich geprägte Modellregion „Münsterland“ – bestehend aus den Kreisen Borken, Coesfeld, Steinfurt und Warendorf sowie der Stadt Münster durchgeführt. Sie dienen als Basis für Handlungsempfehlungen sowohl für Mobilfunk-Endkunden – und hier insbesondere für Unternehmen – als auch für die öffentliche Hand.

Ausgehend von den konkreten Analyseergebnissen für das Münsterland als Beispiel werden die allgemeinen Konsequenzen herausgearbeitet, die sich auch auf andere ländlich geprägte Räume übertragen lassen.

1.1 Umfeld und Hintergrund des Projekts

In den vergangenen Jahren hat es in Deutschland einerseits deutliche Fortschritte beim Ausbau der Mobilfunknetze gegeben, sei es aufgrund

- der eigenen wirtschaftlichen Interessen der Netzbetreiber
- der zu erfüllenden Versorgungsaufgaben aus den Frequenzauktionen
- oder begleitender politischer Maßnahmen (Förderung, Vereinbarungen)

So ist bundesweit die Anzahl der LTE-Basisstationen in den Jahren 2018 und 2019 um etwa 30 % von ca. 48000 auf knapp 63000 gestiegen [1]. Nach Inkrafttreten des zwischen dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) und den Mobilfunkbetreibern geschlossenen Mobilfunkpaktes im Sommer 2018 sind in NRW bis Ende 2020 [2]

- 1212 LTE-Mobilfunkstandorte neu gebaut worden,
- 4708 bestehende Standorte erstmals mit LTE ausgerüstet worden,
- 6946 Standorte in ihrer LTE-Kapazität erweitert worden (zusätzliche Bänder).

Andererseits wird die Mobilfunkversorgung in Deutschland vielfach als nicht zufriedenstellend empfunden, wie die öffentliche und politische Diskussion zeigt. Gerade in ländlichen Gebieten sind vermehrt Beschwerden von Privatpersonen – aber insbesondere auch von Unternehmensvertretern – über eine schlechte Mobilfunkversorgung wahrzunehmen.

Trotz des fortschreitenden Netzausbaus ist die Kundenzufriedenheit sogar gesunken, wie Zahlen der Bundesnetzagentur [3] aus Umfragen zeigen (Abbildung 1-1). Bei einer Unternehmensumfrage im Münsterland [4] war die Zufriedenheit noch deutlich schlechter – um eine Note. Darin kommen sicherlich die erhöhten Ansprüche an eine zuverlässige Versorgung, aber auch die Erfahrungen mit der schlechteren Versorgung im ländlichen Raum zum Ausdruck.

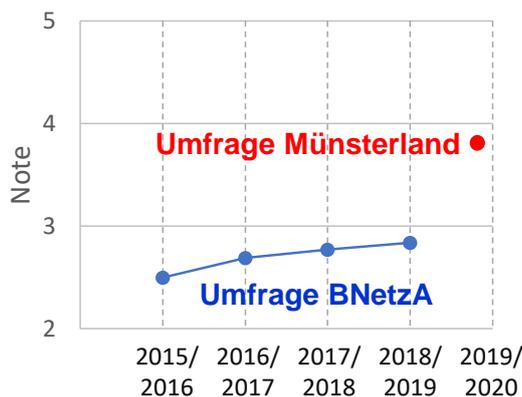


Abbildung 1-1: Entwicklung der Kundenzufriedenheit

Die Beschwerden, die sich nicht nur auf geringe Datenraten sondern häufig auf eine schlechte Qualität bei Telefonie-Anwendungen beziehen, gehen überwiegend an die Wirtschaftsförderungsgesellschaften oder ähnliche Institutionen bei den betroffenen Kreisen und Kommunen, um auf politischem Wege bzw. durch Verhandlungen mit den Netzbetreibern für Verbesserungen zu sorgen.

Für den Erfolg solcher Verhandlungen ist eine objektive und quantitative Analyse der Bedarfe sowie der Versorgungssituation äußerst hilfreich.

Aus diesem Grund wurde das Projekt „Untersuchungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im ländlich geprägten Raum“ („Projekt Mobilfunkversorgung“) initiiert, das vom Ministerium für Umwelt Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wurde. Das Projekt startete im Juli 2019 und endete im Februar 2021.

Die konkreten Untersuchungen wurden exemplarisch für das Münsterland als Modellregion durchgeführt. Viele prinzipielle Analysen und Ergebnisse sowie die abgeleiteten Handlungsempfehlungen lassen sich aber auch auf andere ländliche Regionen übertragen.

Das Münsterland wurde zum einen deshalb gewählt, da es aus vorangegangenen Projekten zum Breitbandausbau bereits gute Kontakte zwischen der Fachhochschule Südwestfalen und den Stellen für die Wirtschaftsförderung, die Kreisentwicklung bzw. die Breitband-/Gigabitkoordination gab. Zum anderen sind im Münsterland – von sehr ländlich geprägten bis hin zu hoch verdichteten Bereichen – nahezu alle Siedlungsstrukturen zu finden, so dass sich die Ergebnisse sehr gut auf ganz NRW übertragen lassen.

Zudem zeigte sich bei den genannten Stellen ein großes Anliegen das Thema „Mobilfunkversorgung“ für das Münsterland voran zu treiben. Dies führte dort zu dem Projekt „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ [5], das ebenfalls vom Ministerium für Umwelt Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wurde.

Die an diesem Projekt beteiligten Personen aus den Kreisen Borken, Coesfeld, Steinfurt, Warendorf und der Stadt Münster werden in dem vorliegenden Bericht kurz als „Beteiligte im Kooperationsprojekt“ bezeichnet. Mit ihnen gab es einen sehr intensiven und regelmäßigen Austausch, was den Fortschritt beider Projekte sehr befördert hat.

1.2 Inhalt und Ablauf des Projekts

Die Projektdurchführung erfolgte in mehreren Phasen:

Phase 1: Bestandsdatenanalyse

Um zu einem umfassenden und realistischen Bild der Versorgungslage zu gelangen und um daraus die tatsächlichen Versorgungslücken zu identifizieren, wurden Informationen aus zahlreichen Quellen in ein einheitliches Geoinformationssystem gebracht, statistisch und geografisch ausgewertet und miteinander verglichen. Zu den Quellen gehören:

- Störmeldungen aus der in Abschnitt 1.1 genannten Unternehmensumfrage im Münsterland (von Nov. 2019)
- Versorgungskarten der Netzbetreiber
- Standortdatenbank der Bundesnetzagentur
- Bundesnetzagentur: Breitband-Messungen
- Breitbandatlas (TÜV Rheinland im Auftrag des BMVI)
- Crowd-Sourcing-Daten – „umlaut-Studie“ (veröffentlicht Jan. 2020)
- Versorgungskarten der Bundesnetzagentur (veröffentlicht Dez. 2020)

In dieser Phase wurde zusätzlich der Einfluss der Endgeräte und vertraglichen Rahmenbedingungen auf die Versorgung betrachtet.

Phase 2: Messdatenerhebung und Ableitung von ersten Handlungsansätzen

Die Versorgungsanalyse sollte nicht nur auf Basis externer Quellen und theoretischer Überlegungen erfolgen, sondern durch eigene Messungen unterlegt werden, um damit auch die Zuverlässigkeit und Aussagekraft der externen Quellen zu überprüfen. Dabei wurde in folgenden Schritt vorgegangen:

- Messtechnische Erfassung des Einflusses des Endgeräts, dessen Nutzung und Umfeld auf die Mobilfunkversorgung, Test verschiedener Varianten
- Festlegung von Messpunkten und Messrouten auf Basis der Ergebnisse aus Phase 1 in enger Absprache mit den Beteiligten im Kooperationsprojekt
- Durchführung der umfangreichen und sorgsam geplanten Messkampagne
- Ergänzende Messungen auf Basis erster Auswertungen
- Komplexe Auswertung der Messdaten
 - Statistiken und Karten zur Versorgungslage
 - Identifizierung typischer Probleme und konkreter Versorgungsengpässe
 - Vergleiche mit den Versorgungsdaten aus den Quellen nach Phase 1
- Ableitung erster Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen

Phase 3: Aufbereitung und Diskussion der Ergebnisse mit verschiedenen Stakeholdern

- Die Ergebnisse aus Phase 1 und 2 wurden den Beteiligten im Kooperationsprojekt im Januar 2020 und Juni 2020 präsentiert und erörtert.
- Im Juli und August 2020 wurden gemeinsam mit den Beteiligten aus dem Kooperationsprojekt den drei Netzbetreibern an getrennten Terminen die Ergebnisse präsentiert und mögliche Lösungsansätze eruiert.

- Für die genannten Präsentationen wurden mehrere umfangreiche Präsentationen erstellt, die die Ergebnisse der Phasen 1 und 2 dokumentieren und erste Handlungsansätze aufzeigen.
- Einzelne kürzere Dokumente mit Hinweisen für Endkunden und die öffentliche Hand wurden den Akteuren im Partnerprojekt zugesandt.
- Ferner gab es mehrere Gespräche mit unterschiedlichen Akteuren im Umfeld des Mobilfunks (Deutsche Funkturm GmbH, Bundesnetzagentur, Wissenschaftliches Institut für *Infrastruktur* und Kommunikationsdienste GmbH, ...)

Phase 4: Finale Auswertung und Aufbereitung der Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf den Ergebnistransfer in die Modellregion sowie die Übertragbarkeit auf andere ländlich geprägte Regionen

- Die Projektergebnisse wurden in Kooperation mit den Beteiligten aus dem Partnerprojekt im Februar 2021 in zwei Webinaren vorgestellt. Zielgruppen waren Unternehmen und landwirtschaftliche Betriebe sowie Vertreterinnen und Vertreter der Öffentlichen Hand aus dem Münsterland.
- Der vorliegende Bericht fasst die wichtigsten Projektergebnisse zusammen. Bei der Darstellung wurden die allgemeinen Erkenntnisse herausgearbeitet, die sich auch über die Modellregion hinaus übertragen lassen.

1.3 Aufbau des vorliegenden Berichts

Der vorliegende Bericht baut sich wie folgt auf:

Kapitel 2 behandelt einige grundsätzliche Fragestellungen zur Mobilfunk-Versorgung. Diskutiert werden Definitionen zur Versorgung und deren Randbedingungen, Versorgungsaufgaben, Besonderheiten bei der Versorgung in Grenznähe sowie einige Einflussfaktoren auf die Versorgung – insbesondere diejenigen, die im Einflussbereich des Nutzers liegen. Die Basis dafür bildet ein Abschnitt zu den Grundlagen zum Thema Mobilfunk: Erläutert werden der Aufbau von Mobilfunksystemen, die Effekte der Funkausbreitung sowie Fragestellung zu tatsächlich erzielbaren Datenraten in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren.

Kapitel 3 beinhaltet die Analyse und den Vergleich verschiedener Quellen zur Beurteilung der Versorgungslage. Dazu gehören insbesondere die Netzabdeckungskarten der Betreiber sowie der Bundesnetzagentur, eine auf Crowd-Sourcing-Daten basierende Studie, aber auch mehrere weitere Quellen. Zusätzlich wurden die Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage im Münsterland einbezogen. Bei den Quellen wurde jeweils Folgendes untersucht:

- Über welche Größen treffen die Quellen Aussagen? Und woher stammen die zugehörigen Daten?
- Wie praktikabel ist der Umgang mit den Daten? Lassen sie sich einfach in ein eigenes Geoinformationssystem (GIS) integrieren?
- Wie ist es um die Zuverlässigkeit und Aktualität bestellt?
- Sind die Aussagen der Quellen untereinander konsistent oder gibt es Diskrepanzen.

In **Kapitel 4** werden die Ergebnisse der eigenen Messkampagne sowie die Schlussfolgerungen daraus präsentiert. Dabei werden die Resultate zu den verschiedenen untersuchten Szenarien diskutiert, wie zur Technologieverfügbarkeit, zur LTE-Versorgung, zur Qualität von Telefonie-Verbindungen sowie zu Besonderheiten in Grenznähe. Die Messergebnisse wurden mit den Störmeldungen aus der Umfrage sowie mit den Angaben aus den in Kapitel 3 analysierten Quellen verglichen. An manchen ausgewählten, als kritisch erachteten Orten wurde die Versorgungslage genauer untersucht, um daraus weitere Schlüsse zu ziehen und weitere Handlungsempfehlungen abzuleiten. Diese Orte wurden in Abstimmung mit den Beteiligten des Partnerprojekts auf Basis der Bedeutung dieser Orte und bekannten Rückmeldungen zu einer schwierigen Versorgungslage ausgewählt. Einige abschließende Bemerkungen und Empfehlungen zu Mobilfunkmessungen im Allgemeinen runden dieses Kapitel ab.

In **Kapitel 5** sind die wichtigsten Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung zusammengefasst, die sich aus den Untersuchungen im Projekt ergeben haben. Der Abschnitt 5.1 enthält mehrere Hinweise für Endkunden – sei es private oder unternehmerische Endkunden –, wie sie selbst durch eigenes Handeln in verschiedenen Situationen ihre Mobilfunkversorgung verbessern können. Untermauert sind die Hinweise mit Ergebnissen aus dem Projekt. Aus den Gesprächen mit den Beteiligten aus dem Kooperationsprojekt, mit Vertretern der Netzbetreiber sowie mit anderen Akteuren aus dem Mobilfunkumfeld haben sich mehrere Handlungsfelder ergeben, von denen einige auch in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung erörtert werden. Die entsprechenden Handlungsfelder sind in Abschnitt 5.2 aus der Sicht der Autoren dieser Studie in allgemeiner Form zusammengefasst.

Kapitel 6 beinhaltet die Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse sowie ein Fazit.

2 Mobilfunk-Versorgung: Definition, Auflagen, Zusammenhänge

Um zu einer objektiven Beurteilung der Mobilfunk-Versorgung zu gelangen und um die Ergebnisse der Untersuchungen in diesem Projekt richtig einordnen zu können, ist zunächst eine differenzierte Erläuterung des Begriffs „Mobilfunk-Versorgung“ erforderlich.

Grundsätzlich gibt es bei der Planung eines Mobilfunknetzes deutlich mehr Unwägbarkeiten als bei der von Festnetzen. Die Beantwortung der scheinbar einfachen Frage, ob und in welchem Maße ein Mobilfunkteilnehmer oder ein geografischer Bereich versorgt ist, stellt ein sehr komplexes Problem dar und hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Viele dieser Faktoren lassen sich von den Netzbetreibern in den Planungsprozessen nur mit gewissen Wahrscheinlichkeiten berücksichtigen und können zeitlich und räumlich stark variieren. Ferner spielen auf Nutzerseite die vertraglichen Randbedingungen sowie das verwendete Endgerät, dessen Nutzung und Anordnung eine sehr große Rolle.

Daher sind die folgenden Fragen zu klären:

- Wie lässt sich Mobilfunk-Versorgung bzw. der Grad der Mobilfunk-Versorgung definieren?
- Welche Auflagen müssen die Netzbetreiber erfüllen?
- Wie lässt sich Mobilfunk-Versorgung pragmatisch bestimmen?
- Welche Einflussfaktoren gibt es?
- Welche Unsicherheiten für die Angabe der Versorgung resultieren daraus?

Um die Fragen systematisch und fundiert beantworten zu können, sind einige Grundlagen zum Thema Mobilfunk erforderlich.

2.1 Mobilfunksysteme: Wichtige Fakten und Zusammenhänge

2.1.1 Aufbau eines Mobilfunknetzes

Derzeit gibt es in Deutschland drei getrennte Mobilfunknetze, die von folgenden Gesellschaften betrieben werden (Netzbetreiber):

- Telefónica Germany GmbH & Co. OHG (im Folgenden kurz: Telefónica – TF)
- Telekom Deutschland GmbH (im Folgenden kurz: Telekom – TK)
- Vodafone GmbH (im Folgenden kurz: Vodafone – VF)

Bei der Frequenzauktion 2019 (verschiedentlich als 5G-Versteigerung tituliert) hat zudem die Drillisch Netz AG Frequenzspektrum für ein eigenes Mobilfunknetz ersteigert, das jedoch noch nicht im Aufbau ist.

Bei einem Mobilfunknetz handelt es sich um ein sehr komplexes technisches System:

Jeder der drei derzeitigen Betreiber verwendet in seinem Netz vier unterschiedliche Technologien (2G, 3G, 4G und 5G, siehe Abschnitt 2.1.3), wobei acht verschiedene Frequenzbänder (Abschnitt 2.1.3) zum Einsatz kommen.

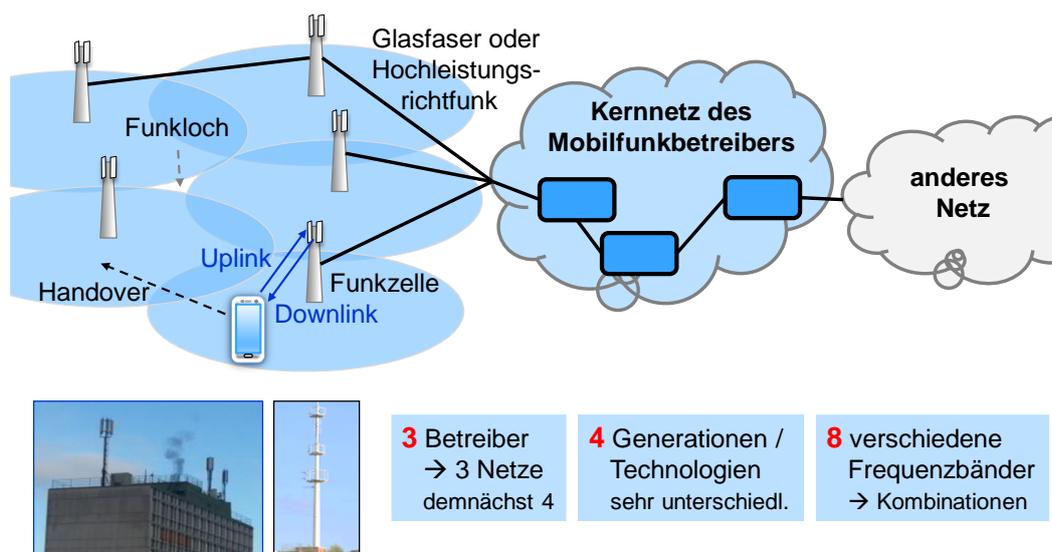


Abbildung 2-1: Prinzipieller Aufbau eines Mobilfunknetzes

In seinem groben Aufbau [6] besteht ein Mobilfunknetz aus (siehe Abbildung 2-1):

- den Endgeräten (Smartphones, Tablets, Funkmodule für Steuerungszwecke)
- dem Funknetz (Standorte von Mobilfunkantennen auf Hausdächern oder Masten zusammen mit dem zugehörigen elektronischen Equipment)
- dem Kernnetz (Router, Server, Datenbanken, ...)

Für die Funkversorgung einer Fläche sind die Mobilfunkstandorte von entscheidender Bedeutung. Um hohe Datenraten auch weiterleiten zu können, müssen sie über hochleistungsfähigen Richtfunk oder besser noch über Glasfaser an das Kernnetz angeschlossen sein.

Bei den Standorten muss man unterscheiden zwischen

- der „passiven“ Infrastruktur (Masten, Halterungen, Gebäude, Leerrohre, ...)
- dem eigentlichen funktechnischen Equipment (Antennen, Elektronik für die Signalverarbeitung mit Zubehör).

Die Akquirierung, der Aufbau und das Management der passiven Infrastruktur wird seitens der Netzbetreiber zunehmend ausgelagert an sogenannte Tower Companies (z.B. Deutsche Funkturm GmbH, Vantage Towers AG, Telxius, Eubonet GmbH, ...). Diese vermieten die passive Infrastruktur an die Netzbetreiber, die dort ihre Funktechnik installieren.

In ganz Deutschland gibt es gut 80000 solcher Mobilfunkstandorte [1], in der ländlich geprägten Region Münsterland sind es ungefähr 1000. Die versorgte Fläche pro Mobilfunkstandort hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten ab: Im ländlichen Raum sind teilweise bis zu 50 km² und mehr möglich, im städtischen Bereich sind es in der Regel eher 2 km², teilweise sogar weniger. Die Dichte der Mobilfunk-Standorte und die Größe der Funkzellen wird aber nicht nur von der Funkausbreitung bestimmt, sondern auch von der zu übertragenden Datenmenge in einem gewissen Gebiet. Diese hängt wiederum von der Einwohnerdichte ab. Der entsprechende Zusammenhang ist in Abbildung 2-2 illustriert.

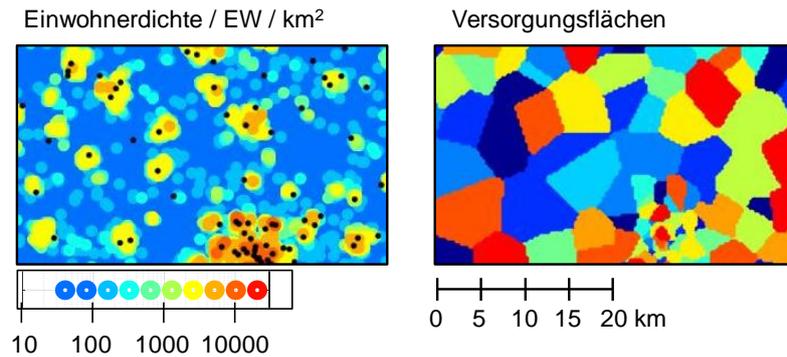


Abbildung 2-2: Illustration zu Mobilfunkstandorten, Einwohnerdichten und Versorgungsflächen

An den Standorten sind i.A. mehrere Antennen installiert – in den meisten Fällen 6 – 24, an manchen Standorten sogar deutlich mehr als 30 [7]. Dieses kann mehrere Gründe haben:

- Manche Standorte werden von mehreren Netzbetreibern mit jeweils eigenem Equipment genutzt.
- Ein Betreiber hat meist mehrere Technologien (2G ... 5G) und/oder mehrere Frequenzbereiche am Standort installiert. Inzwischen geht der Trend hin zu einem Equipment, in dem mehrere Technologien integriert sind, und Antennen, die für mehrere Frequenzbänder geeignet sind. Insofern wird sich die Zahl der Antennen pro Standort voraussichtlich reduzieren.
- In den allermeisten Fällen erfolgt eine Aufteilung des Versorgungsgebiets in mehrere sogenannte Sektoren. Typisch sind 3 Sektoren, die über 3 Antennen mit verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen realisiert werden (Abbildung 2-3).

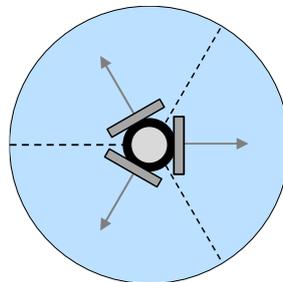


Abbildung 2-3: Mobilfunk-Standort mit drei Antennenrichtung und drei Sektoren

2.1.2 Wichtige Effekte bei der Funkausbreitung

Um eine lückenlose Versorgung – insbesondere bei Mobilität – zu garantieren, sollten sich die Versorgungsgebiete (Funkzellen) verschiedener Standorte überlappen.

Bei Bewegung (z.B. im Fahrzeug) wird das Endgerät von Funkzelle zu Funkzelle weitergereicht. Dabei spricht man von einem [6]

- Handover (bei einer bestehenden Verbindung, z.B. bei einem Telefonat oder einer Datenübertragung)
- Zellwechsel (ohne bestehende Verbindung bei eingeschaltetem Endgerät)

Durch (größere) Lücken in der Versorgung, aber auch durch andere technische Probleme kann es zu einem Scheitern des Handovers und damit zu einem Abbruch der Verbindung kommen. Lücken in der Versorgung, die im üblichen Sprachgebrauch häufig Funklöcher genannt werden, verhindern ebenfalls den Aufbau einer Verbindung.

Die Wechsel erfolgen nach standardisierten Algorithmen auf der Basis von Messwerten des Endgeräts (Empfangspegel/-qualität), die mit *betreiberspezifischen* Schwellwerten verglichen werden [8] [9]. Wechsel sind dabei auch zwischen verschiedenen Frequenzbändern und Technologien möglich. Angestrebt wird dabei die Technologie, die die „beste“ Übertragung erlaubt. Durch die verwendeten Algorithmen kann es allerdings zu gewissen Verzögerungen beim Wechsel kommen und die gewählte Technologie (Funkzelle) an einem Ort von der jeweiligen Fahrtrichtung abhängen. Auch zeigen unterschiedliche Endgeräte zuweilen im Detail ein recht unterschiedliches Verhalten.

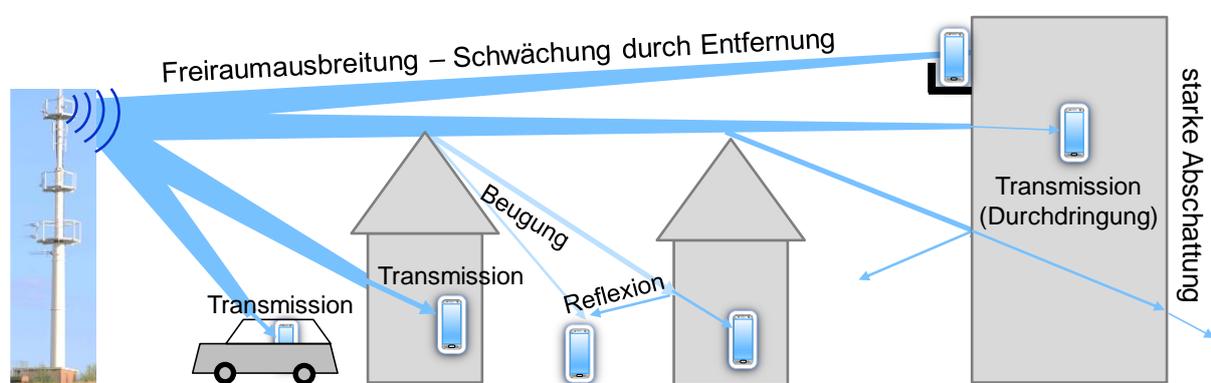


Abbildung 2-4: Effekte der Funkausbreitung

Wie stark ein Funksignal ist und wie weit es sich ausbreitet, hängt außer von der (begrenzten) Stärke des Sendesignals von den Funkausbreitungsbedingungen [6] ab:

- Mit zunehmender Entfernung vom Sender werden die Signale auch ohne Hindernisse schwächer.
- Funkwellen können zwar Hindernisse und Wände durchdringen, werden dabei i.A. deutlich schwächer. Hohe Dämpfungen treten insbesondere bei dickeren Betonwänden bzw. Stahlbetondecken, metallische Hüllen sowie bei Wärmeschutzverglasung auf.
- Funkwellen können auch durch Reflexion und Beugung zu einem Empfänger im geometrischen Schatten eines Hindernisses gelangen, werden dabei aber auch – abhängig von Frequenz und Winkel – deutlich geschwächt.

Diese und weitere Effekte werden von den Betreibern zusammen mit Daten zur Topografie und Bebauung, zu Antennenkenngrößen sowie zur Teilnehmerverteilung und dem zugehörigen Datenaufkommen in Funknetzplanungstools berücksichtigt, um Karten zur Versorgungslage anzufertigen (Netzabdeckungskarten, siehe Abschnitt 3.2).

2.1.3 Erzielbare Datenraten und Generationen von Mobilfunksystemen

In den vergangenen 30 Jahren hat es eine rasante Entwicklung im Mobilfunksektor gegeben. Etwa alle 10 Jahre wurde eine neue Mobilfunkgeneration eingeführt, die über jeweils neue Technologien mit deutlich erhöhter Leistungsfähigkeit mehr Kommunikationsmöglichkeiten bereitgestellt hat bzw. bereitstellt. Bei der Entwicklung der Systeme der ersten, zweiten und dritten Generation standen die von Menschen direkt genutzten Kommunikationsanwendungen im Vordergrund (Telefonie, Kurzmitteilungen, Internet-Recherche, Email, Video). 4G/LTE nahm dann vermehrt auch die Kommunikation zwischen Maschinen bzw. Dingen in den Blick (M2M: Machine-to-Machine, IoT: Internet of Things). Bei 5G wurde die Leistungsfähigkeit gerade in Hinblick auf dieses Anwendungsfeld noch einmal deutlich gesteigert (geringere Reaktionszeiten, höhere Zuverlässigkeit der Datenübertragung, mehr vernetzte „Dinge“ pro Fläche).

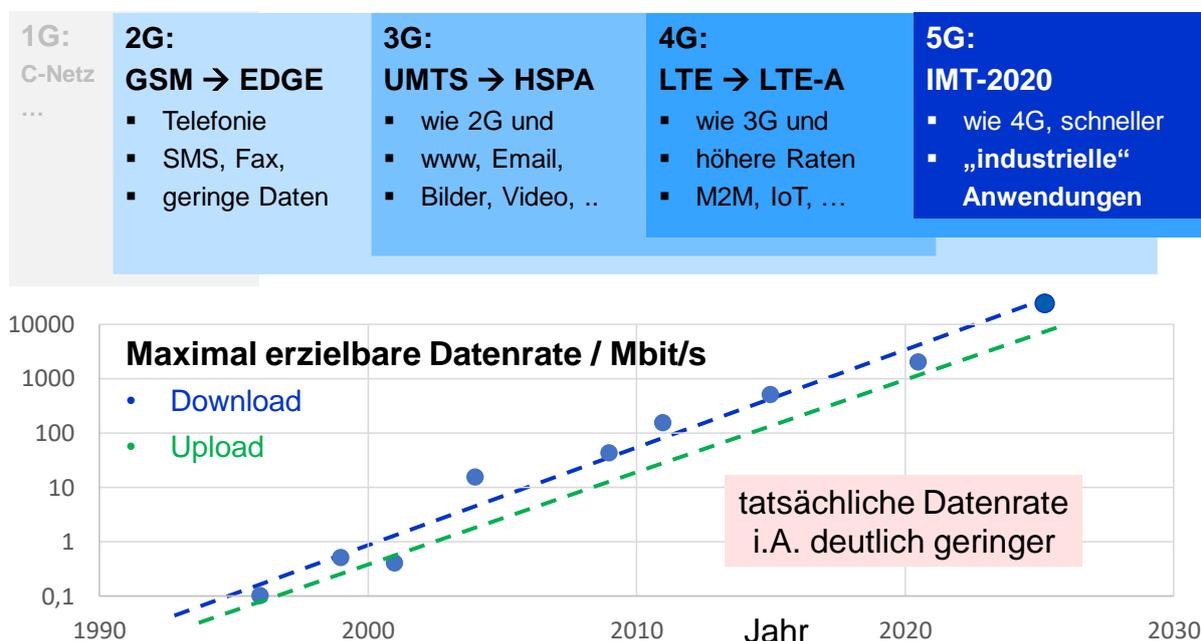


Abbildung 2-5: Generationen von Mobilfunksystemen und die damit erzielbaren Datenraten

Mit den Generationen erhöht sich auch die mit der jeweiligen Technologie maximal erzielbare Datenrate (siehe Abbildung 2-5). Zu betonen ist, dass diese maximalen Datenraten, die gerne vom Marketing in die Öffentlichkeit getragen werden, nur unter äußerst günstigen Umständen zu erzielen sind. Welche Datenrate in der Praxis tatsächlich erreichbar ist, hängt ab

- vom Empfangspegel am Ort der Nutzung
- vom Frequenzspektrum, das am Mobilfunkstandort eingesetzt wird
- von der Auslastung des Netzes (Die aktiven Teilnehmer in einer Funkzelle müssen sich die Ressourcen teilen.)
- von Störungen aus anderen Funkzellen
- vom verwendeten Endgerät (Endgeräte können sich in ihren Leistungsmerkmalen unterscheiden)
- von den vertraglichen Randbedingungen

Grundsätzlich ist Folgendes zu konstatieren:

- Im Uplink (Endgerät/Smartphone sendet) sind die Empfangspegel und damit die erzielbaren Datenraten i.A. (deutlich) geringer als im Downlink (Endgerät/ Smartphone empfängt), da die Sendeleistung des Endgeräts deutlich geringer als die der Basisstation am Mobilfunkstandort ist.
- Mit höheren Frequenzen nehmen die dämpfenden Effekte tendenziell zu, wodurch die Reichweite bei höheren Frequenzen sinkt (Abbildung 2-6).

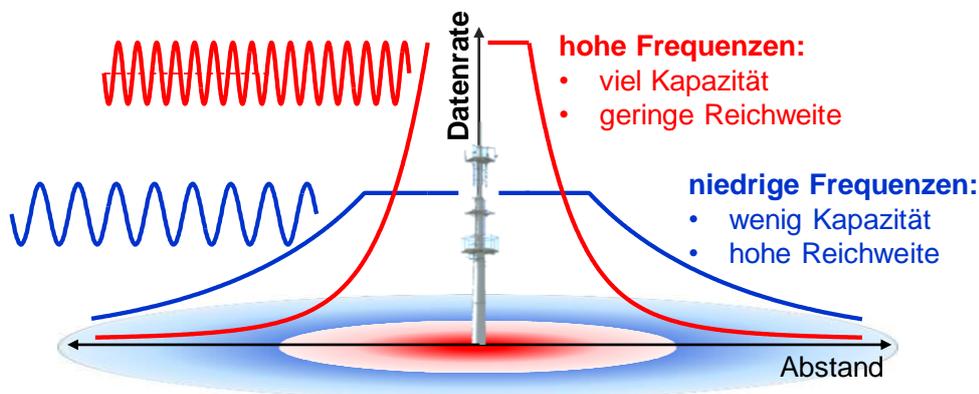


Abbildung 2-6: Frequenzen, Reichweite und Kapazität

Andererseits steht den Netzbetreibern in den Bändern bei höheren Frequenzen mehr Spektrum zur Verfügung. Diese Tatsache ermöglicht bei guten Funkausbreitungsbedingungen – also bei geringen Entfernungen – höhere Datenraten (Abbildungen 2-6 und 2-7). Bei größeren Entfernungen sinkt die erzielbare Datenrate rasch ab, so dass dann die niedrigeren Frequenzen Vorteile bringen.

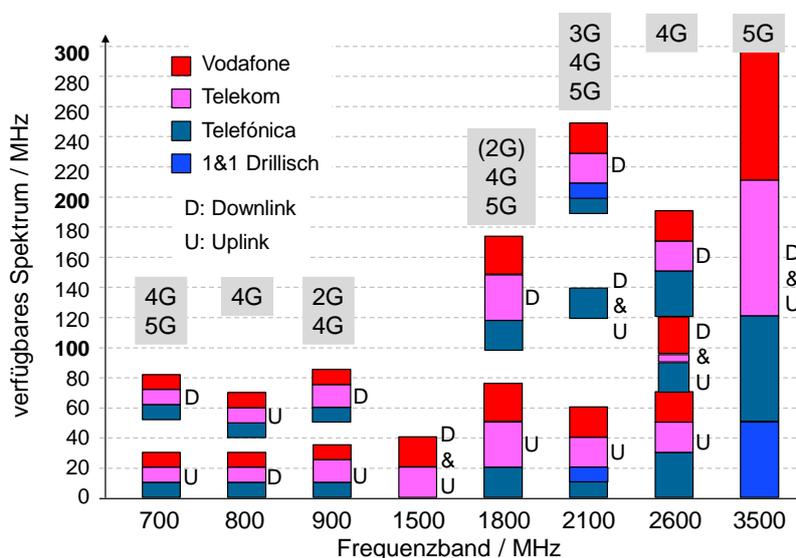


Abbildung 2-7: Frequenzbänder und Aufteilung des Spektrums in Deutschland

2.2 Versorgungsgüte und Versorgungsauflagen

Um zu einer Aussage über die Mobilfunk-Versorgung in einem bestimmten Gebiet zu gelangen, muss zuerst die Mindestqualität (Quality of Service: QoS) des dort anzubietenden Mobilfunkdienstes festgelegt werden:

- Bei der Telefonie sollte die Übertragungsfehlerrate unterhalb eines festgelegten Schwellwerts sein (z.B. weniger als 2 % defekter Sprachdatenpakete in einem gewissen Zeitraum),
- Bei Datendiensten sollte die Übertragungsrate hinreichend groß sein (z.B. größer als 50 Mbit/s, s.u.).
- Zusätzliche Anforderungen können sich auf maximal zulässige Verzögerungszeiten (Latenz) bei der Übertragung von Datenpaketen (z.B. kleiner als 10 ms) oder auf Paketfehlerraten (Zuverlässigkeit) beziehen.

Bei der Vergabe/Versteigerung von Frequenzen schreibt die Bundesnetzagentur (BNetzA) den Netzbetreibern gewisse Versorgungsauflagen vor [10], [11]. Diese waren bisher so formuliert, dass bis zu einem Stichtag ein bestimmter Prozentsatz an Haushalten mit einer bestimmten Datenrate prinzipiell (zur Bedeutung von prinzipiell: s.u.) zu versorgen ist. Für die beiden letzten Frequenzauktionen aus den Jahren 2015 und 2019 sind diese Auflagen grob in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

Tabelle 2-1: Überblick über Versorgungsauflagen und angestrebte Versorgungsziele

	Datenrate DL / Mbit/s	Versorgte Haushalte	Versorgte Fläche	Versorgte Verkehrswege	Bis wann?
Auktion 2015	50	97%	-	BAB, Schiene	Ende 2019
Auktion 2019	100	98%	-	BAB, Schiene (stark genutzt)	Ende 2022
	100			Bundesstraßen (stark befahren)	Ende 2022
	100			andere Bundesstraßen	Ende 2024
	50			Landes-/Staatsstraßen	Ende 2024
Förderprogramm Mobilfunkstrategie (+5000 Standorte)	100	99,95%	97,5%	„	Ende 2024

In ländlichen Regionen mit touristisch attraktiven Gebieten, Land- und Forstwirtschaft bzw. mit Handwerkern und Außendienstmitarbeitern, die unterwegs kommunizieren, kommt es jedoch nicht nur auf den Anteil versorgter Haushalte an, sondern es ist auch ein hohes Maß an Flächenversorgung und an Versorgung auf Kreis- und Gemeindestraßen erforderlich. Bei den Auktionen 2015 und 2019 wurden zwar weitere Anforderungen an die Versorgung von Straßen, Schienen und Wasserstraßen gestellt, jedoch betreffen diese im Wesentlichen stark befahrene Verkehrswege.

Im Nachgang des Mobilfunkgipfels 2018 hat die Bundesregierung Ende 2019 mit den Netzbetreibern Maßnahmen vereinbart [12], um 99% der Haushalte bis Ende 2021 mit Mobilfunk zu versorgen und die Flächenversorgung zu verbessern. Durch Kooperationen bei der Nutzung von Mobilfunkstandorten beginnen die Netzbetreiber mit der Umsetzung dieser Vereinbarung [13].

Im Rahmen der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung wird eine Versorgung von 99,95% der Haushalte und 97,5% der Fläche bis Ende 2024 angestrebt [14], die u.a. mit der Erschließung von 5000 zusätzlichen Mobilfunkstandorten über staatliche Fördermaßnahmen (1,1 Milliarden Euro insgesamt) realisiert und von einer Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) koordiniert werden soll.

In Bezug auf die geforderten Datenraten aus Tabelle 2-1 (von z.B. 50 Mbit/s) ist zu betonen, dass es sich um Datenraten handelt, die einem Haushalt prinzipiell zur Verfügung stehen sollen (Datenrate in dem zugehörigen Antennensektor). Tatsächlich kann sie jedoch geringer ausfallen.

Für die richtige Interpretation und Einordnung sind folgende Punkte wichtig:

- Die Forderungen beziehen sich nur auf Datenraten im Downlink. Für den Uplink gibt es keine Forderung.
- Die geforderte Datenrate muss nur im Außenbereich zur Verfügung stehen.
- Ferner gilt sie für den Fall, dass die Funknetzkapazität nicht mit anderen Teilnehmern geteilt werden muss, und dass keine Störungen aus anderen Funkzellen auftreten (s.o.). Bei hoher Netzauslastung werden die Datenraten (zum Teil deutlich) niedriger sein.
- Die Anforderungen beziehen sich auf einen hohen Prozentsatz der Haushalte (97%, 98%). Der Prozentsatz der versorgten Fläche ist allerdings deutlich geringer. Eine gewisse indirekte Auflage zur Flächenversorgung kommt durch die Forderung nach der Versorgung von Autobahnen, Bundesstraßen, Schienen- und anderen Verkehrswegen ins Spiel.
- Forderungen in Bezug auf Telefonie gibt es nicht; allerdings besteht eine gewisse Erwartung, dass mit zunehmendem LTE-Netzausbau auch die Sprachqualität steigt und die Zahl der Gesprächsabbrüche sinkt [14].

2.3 Überprüfung der Versorgungsaufgaben

Um die tatsächlich Versorgungslage messtechnisch zu überprüfen, ist es wenig praktikabel, die vorliegende Datenrate großflächig zu messen. Stattdessen ist es üblich, Empfangspegel zu messen und einen Zusammenhang zwischen Versorgung bzw. erzielbarer Datenrate und dem gemessenen Empfangspegel herzustellen.

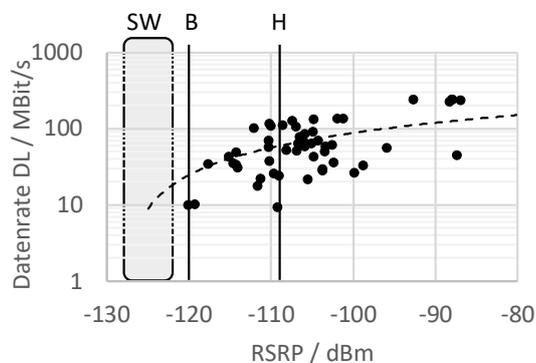


Abbildung 2-8: RSRP und Downlink-Datenraten für einen 20-MHz-Träger bei LTE

Bei LTE (4G) ist die Reference Signal Received Power (RSRP) eine wichtige Messgröße, die auch eine entscheidende Rolle bei der Funkzellenwahl bzw. dem Funkzellenwechsel spielt [8], [9]. Mittels eigener Messungen wurde der entsprechende Zusammenhang zwischen RSRP und erzielbarer Downlink-Datenrate für die bei LTE typischen nominellen Trägerbandbreiten von 10 MHz und 20 MHz ermittelt. Beispielhaft sind die Ergebnisse in Abbildung 2-8 dargestellt.

Für die Einbuchung in eine LTE-Funkzelle haben die Netzbetreiber typischerweise einen RSRP-Schwellwert (SW) zwischen -128 dBm und -122 dBm eingestellt. In der in Abschnitt 3.6 noch zu erörternden *umlaut-Studie* [15] wird ein RSRP-Wert von -120 dBm als Kriterium für eine LTE-Basis-Versorgung angesetzt (B). Eine höherwertigere Versorgung (H) erhält man ab ca. $\text{RSRP} > -110$ dBm. Mit Trägerbandbreiten von 20 MHz lassen sich dann Datenraten oberhalb von 100 Mbit/s erzielen, im Mittel über alle Messungen waren es gut 60 Mbit/s. Zu betonen ist, dass man – wie auch die Messungen zeigen – bei diesen Verhältnissen mit einem 10-MHz-Träger durchschnittlich nur knapp die Hälfte der Datenrate erzielt. Ferner schwankt bei einem festen RSRP-Wert die Datenrate (siehe Abbildung 2.8) aufgrund der zuvor erwähnten weiteren Einflussfaktoren.

Die Überwachung der Erfüllung der Versorgungsaufgaben obliegt der Bundesnetzagentur. Kontinuierlich lässt sie sich dazu von den Netzbetreibern über den Ausbaufortschritt berichten. Dies geschieht in Form von Versorgungskarten. In verschiedenen Referenzregionen in den einzelnen Bundesländern wird die Zuverlässigkeit dieser Karten durch den Mess- und Prüfdienst der BNetzA exemplarisch, aber engmaschig überprüft. Um die Erfüllung der Versorgungsaufgaben effektiver durchsetzen zu können, wurden die Obergrenzen für Zwangs- und Bußgelder, die die BNetzA verhängen kann, im Rahmen des 5. Änderungsgesetzes des Telekommunikationsgesetzes im Jahr 2019 deutlich angehoben [14]. Solche Zwangsgelder wurden bereits im Zusammenhang mit der Erfüllung der Auflagen aus der Auktion 2015 angedroht. Inzwischen sind die Auflagen aus dieser Auktion weitgehend erfüllt [16] [17] [18] [19].

Die durchaus anspruchsvollen Versorgungsaufgaben haben in den letzten Jahren bereits zu einem deutlichen Netzausbau geführt und werden es zusammen mit den beschlossenen politischen Maßnahmen (Mobilfunk-Strategie der Bundesregierung, Mobilfunkpakt in NRW) weiterhin tun. Daher bietet sich für Kommunen und Kreise gerade in den kommenden Jahren eine große Gelegenheit, diesen Prozess mitzugestalten.

Bundesweit ist die Anzahl der LTE-Basisstationen in den Jahren 2018 und 2019 um 30 % von ca. 48000 auf knapp 63000 gestiegen [1].

Nach Inkrafttreten des zwischen dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen und den Mobilfunkbetreibern geschlossenen Mobilfunkpaktes [20] im Sommer 2018 sind bis Ende 2020 in NRW

- 1212 LTE-Mobilfunkstandorte neu gebaut worden
- 4708 bestehende Standorte erstmals mit LTE ausgerüstet worden
- 6946 Standorte in ihrer LTE-Kapazität erweitert worden (zusätzliche Bänder)

Dadurch wurden die in Tabelle 2-2 aufgeführten Zahlen zur LTE-Versorgung erzielt [2]. Zu betonen ist, dass es sich bei dem angegebenen Wert zur Flächenversorgung um die Fläche handelt, die von irgendeinem der drei Betreiber versorgt wird.

Tabelle 2-2: Mobilfunkversorgung in NRW

Anteil versorgter Haushalte in NRW			Flächenversorgung
TF	TK	VF	gesamt
97,3 %	99,5 %	99,4 %	98,7 %

Weitere Maßnahmen, die eine Verbesserung der Versorgung erwarten lassen, resultieren aus Kooperationsvereinbarungen [21] zwischen den drei Netzbetreibern Telefonica (TF), Telekom (TK) und Vodafone (VF). Dabei geht es um die kooperative Nutzung von Standorten und Technik – insbesondere in ländlichen, dünn besiedelten Gebieten. Mit der inzwischen entwickelten Methode „Multi Operator Core Network (MOCN)“ [22] kann ein LTE-Mobilfunkstandort eines Betreibers mit den installierten Frequenzen (bei 800 MHz) auch die Kunden anderer Betreiber versorgen. Einerseits können so „graue Flecken“ geschlossen werden – also Bereichen, in denen bisher nur die Versorgung durch einen Betreiber gegeben ist. Andererseits können sich die Betreiber den Ausbau bisher komplett unversorgter Bereiche (genannt werden ca. 6000 „weiße Flecken“) effizient aufteilen. Für den Kunden bleibt die Nutzung des Standorts eines anderen Netzbetreibers völlig unbemerkt, Verbindungen werden unterbrechungsfrei automatisch weitergereicht. Allerdings steht bei 800 MHz nur wenig Frequenzspektrum zur Verfügung, so dass keine sehr hohen Datenraten zu erwarten sind.

2.4 Einflussfaktoren im Umfeld des Nutzers

Auch im Nutzerumfeld kann es einige Faktoren geben, die die Güte der Mobilfunkversorgung beeinträchtigen und auf die der Betreiber keinen direkten Einfluss hat. Zu den wichtigsten Faktoren, die auch im Rahmen dieses Projektes untersucht wurden, gehören:

Vertragliche Randbedingungen:

Laut Jahresbericht der BNetzA [1] nutzten im Jahr 2019 nur ca. 55 % aller aktiven SIM-Karten das LTE-Funknetz. Bei den im Dezember 2019 im Münsterland befragten Unternehmen [4] lag der Anteil zwar deutlich höher. Aber auch hier ist davon auszugehen, dass bei ca. 20% der SIM-Karten eine LTE-Nutzung nicht möglich ist. Die entsprechenden Nutzer profitierten also nicht von dem besseren Ausbau des LTE-Netzes im Vergleich zu 3G/UMTS.

Verwendete Endgeräte:

Ältere Endgeräte unterstützen zum Teil nicht die Telefonie über LTE oder WLAN. Telefonie über LTE kann aber in vielen Fällen zu einer verbesserten Sprachqualität führen, Telefonie über WLAN ist bei der Versorgung in Gebäuden hilfreich.

Einige ältere Endgeräte unterstützen nicht alle Frequenzbänder, die in 4G/LTE-Netzen eingesetzt werden. Solche Endgeräte konnten im Projekt durch eine Analyse der Unternehmensumfrage im Münsterland identifiziert werden [4].

Gerade im Zusammenhang mit 5G-Mobilfunk ist darauf hinzuweisen, dass ein substantieller Anteil der derzeit vermarkteten 5G-fähigen Endgeräte nicht alle in Deutschland verwendeten Frequenzbänder bzw. Bandkombinationen unterstützt.

Zudem kommen unterschiedliche Endgerät unterschiedlich gut mit schwierigen Empfangsverhältnissen zurecht.

Genauere Lage des Endgeräts:

Innerhalb eines Gebäudes ist der Empfang i.A. schlechter als außerhalb, insbesondere bei Gebäuden mit Wärmeschutzverglasung, metallischer Gebäudehülle oder Stahlbetondecken. Selbst innerhalb eines Einfamilienhauses kann der Empfang stark schwanken, wie die Abbildung 2-9 beispielhaft zeigt. Zwischen Dachgeschoss (DG) und Erdgeschoss (EG) wurde im Mittel ein Pegelunterschied von 10 dB gemessen. Das bedeutet, dass die Empfangsleistung im EG durchschnittlich nur bei einem Zehntel des Wertes aus dem DG liegt.

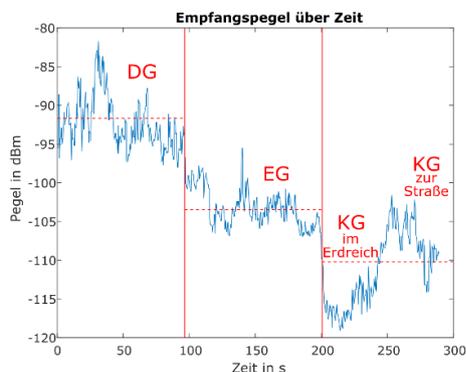


Abbildung 2-9: Gemessener Empfangspegel in einem Einfamilienhaus

Ähnliches gilt für die Verwendung eines Mobiltelefons im Fahrzeug. Eine Lagerung in der Mittelkonsole ist ungünstiger als in einer Halterung am Armaturenbrett.

Abschattungen des Funksignals

Durch Gebäude, Berge oder Vegetation werden Funksignale geschwächt. Dies wird durch die Modelle mit einer gewissen Genauigkeit in Planungsprozessen berücksichtigt. Allerdings kann es zu zeitlichen Schwankungen und stärkeren Abschattungen kommen, z.B. durch einen vorbeifahrenden LKW. Ferner dämpfen Bäume mit – insbesondere feuchtem – Laub stärker als im Winter ohne Laub.

Netzauslastung

Sind mehrere Teilnehmer gleichzeitig in der gleichen Funkzelle aktiv (z.B. beim Videostreaming), so müssen sich diese die Kapazität der Funkzelle teilen und die Datenrate jedes einzelnen Teilnehmers sinkt. Auch wenn in benachbarten Funkzellen Teilnehmer aktiv sind, führt dies über Störungen zu einer Reduktion der Versorgungsgüte.

2.5 Besonderheiten in Grenznähe

Von besonderen Problemen wurde und wird vielfach in der Nähe der Grenze zu Nachbarländern berichtet. Einige dieser Probleme konnten in den letzten Jahren durch entsprechende Regelungen entschärft werden.

Gebühren bei Nutzung eines Netzes des Nachbarlandes

In Grenznähe bucht sich das mobile Endgerät vielfach in ein Funknetz des Nachbarlandes ein. Vor einigen Jahren fielen dann für die Telefonie, die Datenübertragung oder den Versand von Short Messages deutlich erhöhte Gebühren an. Die Roaming-Gebühren sind jedoch seit Mitte

2017 durch entsprechende Abkommen innerhalb der EU abgeschafft [23]. Die Nutzung eines Netzes aus dem Nachbarland ist also in Hinblick auf Gebühren unkritisch.

Verbindungsabbrüche bei Grenzübertritt

Eine besondere Herausforderung ist der Wechsel zwischen den Netzen unterschiedlicher Länder bei einer bestehenden Verbindung, z.B. bei einem Telefonat. Um dies zu ermöglichen, müssen die Betreiber sich intensiv bei der Netzkonfiguration austauschen und komplexe Vorkehrungen im Hinblick auf die Technik und die Gebührenabrechnung treffen. Ein solcher grenzüberschreitender Handover ist seit einiger Zeit für die Technologien 2G und 3G prinzipiell möglich und sollte daher bei Telefonie-Anwendungen technisch funktionieren. Es bedarf aber der angesprochenen organisatorischen Vereinbarungen zwischen den Netzbetreibern, was nicht zwingend gegeben ist.

Bei 4G/LTE bestehen noch größere technische Herausforderungen, so dass für diese Technologie ein solcher Handover noch nicht implementiert ist.

Geringe Empfangspegel in Grenznähe

Internationale Vereinbarungen sollen dafür sorgen, dass die Mobilfunksignale des einen Landes die des anderen Landes nicht zu stark stören. Die Abkommen sind deshalb erforderlich, weil alle Länder in Europa für den Mobilfunk (nahezu) die gleichen Frequenzbereiche verwenden. Die nationalen Regulierungsbehörden – wie die Bundesnetzagentur – überwachen die Einhaltung dieser Regeln.

Damit also die Stärke der Funksignale aus einem Land im Nachbarland unterhalb eines festgelegten Wertes bleiben, muss der Betreiber die Mobilfunkstandorte in hinreichender Entfernung von der Grenze aufbauen und/oder deren Sendeleistung reduzieren. Deutschland und die deutschen Netzbetreiber beachten diese Regeln sehr strikt. Da Funksignale aber nicht abrupt an der Landesgrenze enden, führt dies dazu, dass der Empfangspegel bereits kurz vor der Grenze gering ist.

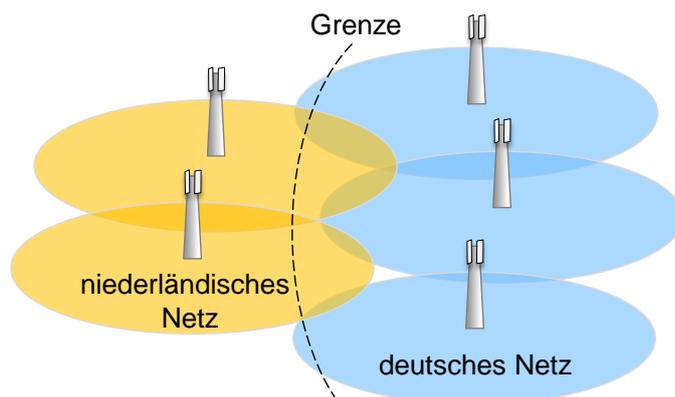


Abbildung 2-10: Illustration zur Versorgung in Grenznähe

Auf der anderen Seite zeigen sich z.B. die niederländischen Netzbetreiber an der Grenze zu Deutschland etwas offensiver, so dass deren Funksignale weiter nach Deutschland hineinreichen (siehe Abbildung 2-10). Damit hat man in Bereichen, die nicht vom deutschen Netzen versorgt werden, eine Mobilfunkversorgung über niederländische Netze, die man auch nutzen kann.

Durch ein im Jahr 2019 mit der BNetzA weiterentwickeltes Grenzkoordinierungsverfahren [24] [14] haben die Betreiber inzwischen mehr Freiheiten die Sendeleistung zu erhöhen. Dies wurde – wie von den Netzbetreibern im Rahmen des Projekts berichtet – auch schon vielfach umgesetzt. Falls dadurch allerdings unzulässige Funkstörungen im Nachbarland auftreten, muss der Netzbetreiber die Sendeleistung unverzüglich wieder reduzieren.

Störungen durch ein Netz eines Nachbarlandes

Die grenzüberschreitenden Funksignale von den Netzen der Nachbarländer können umgekehrt auch zu Problemen für die deutschen Netze führen. Es kann dadurch zu Störungen der eigenen Verbindung kommen, wenn man in einem deutschen Netz eingebucht ist, da die Netze anderer Länder – wie z.B. die niederländischen Netze – die gleichen Frequenzen verwenden. Dies ist u.a. für den Kreis Borken relevant.

3 Quellen zur Beurteilung der Versorgungslage

Um zu einer möglichst umfassenden und objektiven Beurteilung der Versorgungslage zu gelangen, wurden verschiedene Quellen, die eine Aussage dazu treffen, untersucht und miteinander verglichen. Zu den Quellen gehören:

- Versorgungskarten der Netzbetreiber
- Standortdatenbank der Bundesnetzagentur
- Bundesnetzagentur: Breitband-Messungen
- Breitbandatlas (TÜV Rheinland im Auftrag des BMVI)
- Crowd-Sourcing-Daten – „*umlaut-Studie*“ (Jan. 2020)
- Versorgungskarten der Bundesnetzagentur (Nov. 2020)

Zusätzlich wurden

- die Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage im Münsterland [4] sowie
- die umfangreichen eigenen Messungen

herangezogen, um die Güte der einzelnen Quellen zu beurteilen.

Bei den Quellen wurde jeweils Folgendes untersucht:

- Über welche Größen (Empfangspegel, Datenraten, verfügbare Technologien) treffen die Quellen Aussagen? Und woher stammen die zugehörigen Daten?
- Wie praktikabel ist der Umgang mit den Daten? Lassen sie sich einfach in ein eigenes Geoinformationssystem (GIS) integrieren?
- Wie ist es um die Zuverlässigkeit und Aktualität bestellt?
- Sind die Aussagen der Quellen untereinander konsistent oder gibt es (deutliche) Diskrepanzen.

Für einige der Quellen war die Entwicklung und Umsetzung aufwändiger Methoden erforderlich, um sie für die Integration in ein eigenes GIS aufzubereiten und um sie mit anderen Daten vergleichen zu können.

3.1 Standortdatenbank der Bundesnetzagentur

Im Rahmen des EMF-Monitorings [25] hat die Bundesnetzagentur Informationsportale sowohl für die Öffentlichkeit als auch für Gemeinden und Kommunen geschaffen, die Auskunft über erteilte Standortbescheinigungen und einige weitere Parameter der Mobilfunk-Standorte geben.

Der Zugang erfolgt über folgende Internet-Seiten:

- www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/DigitaltesTelekommunikation/Funktechnik/EMF/start.html
- www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/EMF/EMF-Datenportal/emf_datenportal_node.html

3.1.1 *Verfügbare Informationen*

EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur für die Öffentlichkeit [7]

Aus der öffentlich zugänglichen Datenbank lassen sich folgende Informationen extrahieren:

- die ungefähre Adresse des Standorts
- die Standortbescheinigungsnummer
- das Datum der Erteilung (bezogen auf letzte Änderung am Standort)
- für jede einzelne Antenne am Standort
 - die Installationshöhe über Grund
 - die Hauptstrahlrichtung (horizontal)
 - die Sicherheitsabstände (Unterschreitung des Strahlungsgrenzwertes)

EMF-Datenportal für Kommunen und Behörden [26]

Für eine Beurteilung der Versorgungslage sind die der Öffentlichkeit zugänglichen Daten nicht ausreichend. Mehr relevante Angaben findet man in dem EMF-Datenportal für Kommunen und Behörden. Dort gibt es zu jedem Standort im kommunalen Einzugsbereich ein PDF-Dokument, in dem die wichtigsten technischen Daten des Standorts näher beschrieben sind. Dazu gehören neben den öffentlich zugänglichen Daten und der genauen geografischen Position folgende Angaben für jede einzelne der dort installierten Antennen:

- a) der zugehörige Netzbetreiber
- b) die genutzte Technologie
- c) der verwendete Frequenzbereich
- d) die Sendeleistung
- e) Antennenkenngößen

Insbesondere die unter a), b) und c) aufgeführten Daten, sind relevant für die Beurteilung des Netzausbauzustandes.

3.1.2 *Beispiele für die Nutzung*

Aus einer tabellarischen Gesamtübersicht der Standorte mit ihren wichtigsten Parametern (mit einer Darstellung in einem GIS) kann eine zuständige Stelle in einer Kreisverwaltung folgende nützliche Informationen gewinnen:

- Kenngrößen zur Einordnung der Versorgung (Standorte pro Fläche, Einwohner pro Standort)
- Ausbaugrad der verschiedenen Technologien, eingesetzte Frequenzen
- Informationen, ob an einem Standort ein weiterer Sektor errichtet werden könnte, um wichtige Gebiete besser zu versorgen. (Ein solches Beispiel wurde in Gesprächen mit einem Netzbetreiber gefunden.)
- Informationen, ob ein Netzbetreiber Standorte anderer Betreibers nutzen könnte, um wichtige Gebiete besser zu versorgen (Mitnutzung von Standorten).
- Versorgungslücken in Karten, Störmeldungen sowie Ergebnisse aus Messungen können besser eingeordnet werden (Fehlt ein Standort?).

3.1.3 Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit

Derzeit gibt es dabei folgende Hemmnisse:

- Die Daten liegen nicht tabellarisch in einer Übersicht vor. Im Projekt wurde daher ein komplexes Python-Script entwickelt, um die relevanten Daten aus den PDF-Dateien zu extrahieren und diese dann in einer gut zu verarbeitenden Datenstruktur abzulegen. Da die Struktur der PDF-Dateien jedoch nicht komplett einheitlich war, waren mehrere Kontrollen und manuelle Korrekturen erforderlich.
- Teile der abgerufenen Daten waren nicht aktuell: Einzelne Standorte/Standort-Aufrüstungen waren zwar (seit längerer Zeit) beantragt und genehmigt, aber noch nicht im Betrieb.
- Weiterhin wurden mehrfach nichtzutreffende Angaben zu den installierten Frequenzbereichen identifiziert.
- Eine Nutzung der Daten ist zunächst nur für die Beurteilung der EMV-Lage gestattet. Bei der Nutzung der Daten für die Beurteilung des Netzausbauzustandes und der Identifikation von Standorten für die Mitbenutzung befindet man sich rechtlich in einem Graubereich.

3.1.4 Empfehlungen

Um eine Übersicht in einem Kreisgebiet mit deutlich mehr als 100 Standorten zu bekommen, wäre eine jeweils aktuelle und zuverlässige tabellarische Zusammenstellung (Excel, csv-Format) all dieser Daten äußerst hilfreich.

Bei Gesprächen mit der BNetzA wurde in Aussicht gestellt, die genannten Daten im Laufe des ersten Halbjahres 2021 auf ihren Internet-Seiten öffentlich zur Verfügung zu stellen und für die Nutzung der Beurteilung des Ausbauzustandes rechtlich freizugeben.

Seitens der Landes- und Bundespolitik sollte diesem Prozess Nachdruck verliehen werden.

3.2 Netzabdeckungskarten der Betreiber

Die Netzbetreiber veröffentlichen sogenannte Netzabdeckungskarten für ihre jeweiligen Mobilfunknetze – aufgeschlüsselt nach Technologien in digitaler Form auf ihren jeweiligen Internetseiten:

- Telefónica: www.o2online.de/service/netz-verfuegbarkeit/netzabdeckung
- Telekom: www.telekom.de/start/netzausbau
- Vodafone: www.vodafone.de/hilfe/netzabdeckung.html

Dort können Kunden auf einer Seite eine Kartenanwendung öffnen und durch Ein- und Ausblenden der verschiedenen Technologien die entsprechenden Abdeckungen durch Färbungen erkennen. Die Karten werden regelmäßig (im Rhythmus von wenigen Monaten) aktualisiert.

Bis etwa Anfang 2020 wurden die Karten zu den bis dahin verfügbaren Technologien angeboten:

- 2G: Global System for Mobile Communications (GSM)
- 3G: Universal Mobile Telecommunications (UMTS)
- 4G: Long Term Evolution (LTE)

Vodafone bietet eine zusätzliche Karte für die Versorgung mit Narrow-Band-IoT bzw. LTE-M an – also für LTE-Varianten, die auf Internet-of-Things-Anwendungen und Maschinenkommunikation zugeschnitten sind, die nur eine geringe Datenrate benötigen, aber auch Versorgungen in kritischen Bereichen erfordern.

Seit 2020 wird das 5G-Netz realisiert und befindet sich in der Planungs- und Umsetzungsphase. Dementsprechend gibt es inzwischen Versorgungskarten für diese Technologie für alle Betreiber. Diese wurden aber nicht weiter analysiert und sind daher nicht Bestandteil des vorliegenden Berichts.

Die erwähnten Kartenanwendungen sind also in der Lage, dem Kunden durch die entsprechenden Färbungen anzuzeigen, wo welche Technologie zur Verfügung steht. Jedoch geht aus den Karten nicht hervor, wie gut der Empfang an jener Stelle ist und auch nicht, ob keine Färbung gleichbedeutend ist mit keinem Empfang. Die Verfügbarkeit ist in diesem Zusammenhang nicht genau definiert. Zudem handelt es sich um Berechnungsmodelle, die aufgrund verschiedener Randbedingungen (s.o.) mit einer gewissen Unschärfe behaftet sind.

3.2.1 *Verfügbare Informationen*

Für die Erstellung von Karten zur Versorgungsgüte bzw. zur Netzabdeckung nutzen die Mobilfunkbetreiber komplexe, computergestützte Planungstools. Unter Berücksichtigung von Daten zu Sendeleistungen und Antennenkenngößen, zur Topografie und zur Bebauung, zum Bewuchs und zur Gebäudedämpfung können mit Hilfe von etablierten Funkausbreitungsmodellen Empfangspegel, aber auch die Pegel von Störsignalen berechnet werden. Erfahrungen aus dem laufenden Netzbetrieb fließen bei der Berücksichtigung der zu erwartenden Auslastung einer Funkzelle ein. Auf diese Weise wird für jedes Flächenelement mit einer typischen Größe von 100 m x 100 m bestimmt, ob es versorgt ist oder nicht (gegebenenfalls auch, wie gut die Versorgung ist).

Welche Schwellwerte für die Bestimmung der „Versorgung“ zugrunde gelegt und welche Effekte und Funkausbreitungsmodelle dabei genau berücksichtigt wurden, ist von Betreiber zu Betreiber sicherlich unterschiedlich und bei den online erhältlichen Netzabdeckungskarten der Betreiber nicht angegeben. Anzunehmen ist, dass sich die angegebene „Versorgung“ an den Versorgungsaufgaben der BNetzA orientiert (50 Mbit/s im DL im Antennensektor im Außenbereich bei geringer Netzauslastung, siehe Abschnitt 2.2).

Als einziger der drei Betreiber unterscheidet Telefónica in der Färbung zwischen einer Versorgung in Gebäuden (Indoor) und im Freien (Outdoor).

Bei der Interpretation der Karten ist zu beachten, dass gerade in als „versorgt“ markierten Bereichen, die in unmittelbarer Nähe von unversorgten Bereichen liegen, eher eine schlechte Versorgung zu erwarten ist.

3.2.2 Beispiele für die Nutzung

Auch wenn die Netzabdeckungskarten keine komplett zuverlässigen Angaben über den absoluten Grad der Versorgung geben und diesen tendenziell eher zu optimistisch widerspiegeln (s.u.), so können sie doch einige wichtige Hinweise geben, und zwar

- bei der Identifikation unversorgter Gebiete und von Bereichen für lohnenswerte neue Mobilfunk-Standorte
- für einen Vergleich der Flächenversorgung
 - zwischen verschiedenen Regionen
 - zwischen verschiedenen Technologien
 - zu verschiedenen Zeitpunkten
 - bei verschiedenen Flächennutzungsarten

Um die Daten aus den Netzabdeckungskarten zu diesen Zwecken weiter in einem eigenen GIS analysieren zu können, ist ein recht aufwändiger Prozess erforderlich, der im Rahmen des Projekts entwickelt und getestet wurde. Dazu wurden mehrere Kartenausschnitte im untersuchten Gebiet geladen, durch eine komplexe Software zusammengefügt und dann in das Geoinformationssystem QGIS [27] integriert.

3.2.2.1 Flächenversorgung

Legt man die Netzabdeckungskarten zugrunde, so weist das Münsterland eine recht hohe 4G/LTE-Flächenversorgung im Außenbereich auf, die sich von Sept. 2019 bis Juli 2020 auf – je nach Betreiber ca. 96–100 % gesteigert hat (Abbildung 3-1, Diagramm links).

Die Versorgungsangabe von 100 % im Freien (outdoor) bei Telefonica hat sich allerdings im Vergleich zu anderen Quellen und eigenen Messungen (siehe Kapitel 4) als sehr optimistisch herausgestellt. Der Versorgungsanteil im Gebäude (indoor) ist geringer.

Die 3G/UMTS-Flächenversorgung im Münsterland liegt mit ca. 80 - 95% signifikant darunter. Insofern haben Kunden ohne LTE-fähigen Vertrag deutliche Versorgungsnachteile und sollten daher einen Umstieg auf LTE vornehmen.

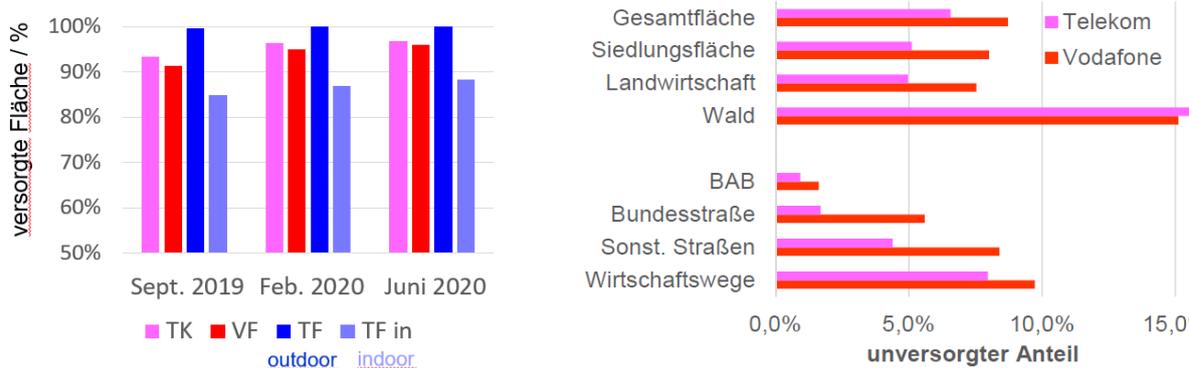


Abbildung 3-1: LTE-Flächenversorgung im Münsterland lt. Netzabdeckungskarten der Betreiber links: zu verschiedenen Zeitpunkten; rechts: unversorgte Anteile (4G/LTE) aufgeschlüsselt nach Flächennutzung bzw. Verkehrswegen

Über das öffentliche „GEOportal.NRW“ [28] können Daten zur Art der Flächennutzung und zur Lage sowie zur Kategorie der Verkehrswege bezogen werden. Integriert man diese zusammen mit den Netzabdeckungskarten der Betreiber im GIS, so erhält man Daten zur Versorgung – aufgeschlüsselt nach der Flächennutzung bzw. nach der Kategorie der Verkehrswege.

Das entsprechende Ergebnis zur LTE-Versorgung des Münsterlandes ist im rechten Teil von Abbildung 3-1 illustriert (Telefónica wurde nicht aufgenommen, da dort die Versorgung mit 100 % angegeben ist). Auffällig sind folgende Punkte: Die Versorgung von Siedlungs- und landwirtschaftlichen Flächen ist annähernd gleich, deutlich schlechter ist sie im Wald – u.a. wegen der hohen Dämpfung durch die Vegetation. Bei den Verkehrswegen zeigt sich die schlechteste Versorgung bei den Wirtschaftswegen (die zum Teil in den Wäldern liegen).

3.2.2.2 Identifikation unversorgter Gebiete und lohnenswerter neuer Standorte

Mittels der Netzabdeckungskarten können Kommunal- und Kreisverwaltungen unversorgte Gebiete identifizieren. Ferner wurde im Projekt eine Methode entwickelt, um Bereiche zu finden, in denen die Errichtung neuer Mobilfunkstandorte lohnenswert ist – in der Hinsicht, dass damit möglichst große Flächen zusätzlich versorgt werden.

Abbildung 3-2 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der LTE-Versorgung im Netz eines Betreibers. Zu sehen sind einige größere, aber auch sehr viele verteilte kleinere unversorgte Gebiete (markiert als „kl-u“). Eingezeichnet wurden zusätzlich potenzielle neue Standorte, die in einem Umkreis von 2 km Radius (typische Reichweite eines Mobilfunk-Standortes) eine bisher unversorgte Fläche von mindestens 3 km² abdecken.

Beim linken Teil des Bildes gab es keine weitere Einschränkung für die Wahl des Standortes; im rechten Teil des Bildes wurden bereits bestehende Standorte anderer Betreiber betrachtet, die gegebenenfalls mit genutzt werden könnten. Dafür benötigt man allerdings die im Abschnitt 3.1 erwähnten Angaben aus der Standortdatenbank der BNetzA.

Die Verwendung eines festen Wertes für den Radius von 2 km stellt einen ersten Ansatz dar, um das Prinzip zu illustrieren. In einer verfeinerten Version müsste man den Radius in Abhängigkeit von den Funkausbreitungsbedingungen und der zu erwartenden Teilnehmerdichte wählen (Unterschiede zwischen Stadt und Land).

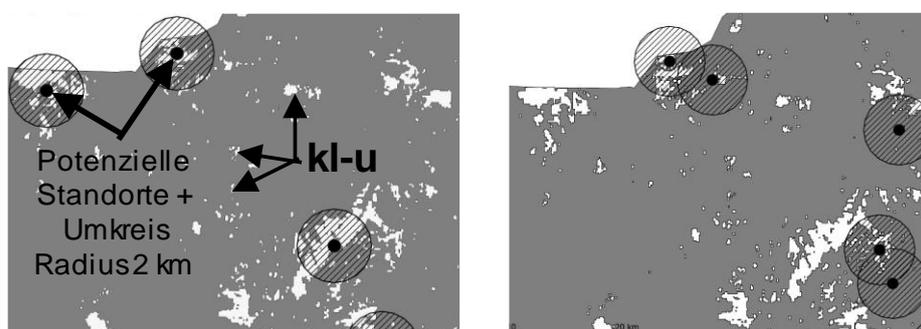


Abbildung 3-2: Identifikation von lohnenswerten neuen Standorten aus Netzabdeckungskarten

In Hinblick die vielen verstreuten kleinen weißen Flecken (markiert als „kl-u“) ist anzumerken, dass für deren Versorgung neue Standorte in keiner Weise lohnenswert sind, und sie daher langfristig voraussichtlich unversorgt bleiben.

3.2.2.3 Vergleich der Netzabdeckungskarten mit den Störmeldungen der Umfrage

Bei der erwähnten Unternehmensbefragung im Münsterland [4] bestand die Möglichkeit, wahrgenommene Mängel als Störmeldung in eine Karte einzutragen, zu klassifizieren (Verbindungsabbruch, schlechte Sprachqualität, langsame Datenübertragung oder etwas pauschal als „Funkloch“) und einem Betreiber zuzuordnen.

Um zu untersuchen, ob die Störmeldungen durch unversorgte Gebiete aus den Netzabdeckungskarten zu erklären sind, wurde beides in eine Karte eingetragen (siehe Beispiel in Abbildung 3-3) und beides statistisch analysiert. Zum Vergleich mit der LTE-Netzabdeckung wurden nur die Störmeldungen der Kategorien „Funkloch“, „langsame Datenübertragung“, „lange Reaktionszeit“ verwendet, jedoch keine, die sich explizit auf Sprachqualität beziehen, da Telefonie zum Zeitpunkt der Umfrage weitgehend über 2G und 3G erfolgte.

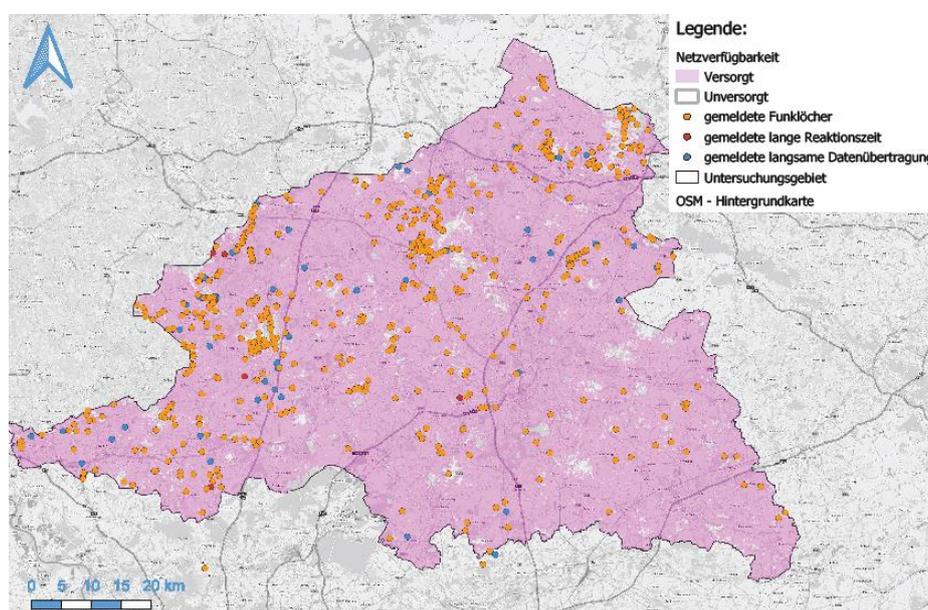


Abbildung 3-3: LTE-Netzabdeckungskarte eines Betreibers mit Störmeldungen aus der Umfrage

Direkt in den „unversorgten“ Gebieten (bei Telefónica: „in Gebieten, die nur im Freien, aber nicht in Gebäuden versorgt sind“) liegen je nach Betreiber 20 - 30 % der Störmeldungen. Da sowohl bei der Eintragung der Störmeldungen als auch bei der Angabe der Versorgungslücken geografische Unsicherheiten bestehen, wurden die „unversorgten“ Bereiche um einen Radius von 200 m erweitert. In diesen Gebieten mit vermutlich eher schlechter Versorgung befinden sich 40 - 50 % der Störmeldungen. Bei einem größeren Radius von 500 m sind es 50 - 70%.

Etwa die Hälfte der Störmeldungen lässt sich also über die Netzabdeckungskarten erklären. Insofern ließe sich durch Versorgung dieser Bereiche ein substantieller Teil der Versorgungsprobleme lösen.

Andererseits liegt aber auch ein großer Teil der Störmeldungen in Bereichen, die als versorgt angegeben werden. Dies kann folgende Ursachen haben:

- Die geografische Zuordnung der Störmeldungen durch die Befragten war fehlerbehaftet.

- Die Klassifikation des Typs der Störmeldung war unzutreffend bzw. ungenau.
- Störmeldungen aus der Erinnerung (Vergangenheit) abgegeben; das Netz wurde inzwischen ausgebaut.
- Versorgungsmängel sind auf Endgeräte/Vertrag zurückzuführen.
- Die Netzabdeckungskarten spiegeln vielfach nicht die tatsächliche Versorgungslage beim Nutzer wider.

Da gerade der letzte Punkt immer wieder in Diskussionen angeführt wird, wurden Messungen durchgeführt, um die Zuverlässigkeit verschiedener Angaben zu prüfen (siehe Kapitel 4).

3.2.3 Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit

- Die Netzabdeckungskarten geben zwar Hinweise auf die Versorgung, die durchaus zu beachten sind, besitzen aber nur eine begrenzte Aussagekraft.
- Für ein Flächenelement lässt sich nur eine gewisse Versorgungswahrscheinlichkeit angeben. Ferner können die Empfangsverhältnisse auch innerhalb einer Fläche von 100 m x 100 m stark variieren.
- Insofern können Messwerte und Erfahrungen bei der Nutzung von Mobilfunkdiensten von den Angaben in den Netzabdeckungskarten abweichen.
- Bei der Interpretation der Karten ist zu beachten, dass gerade in als „versorgt“ markierten Bereichen, die in unmittelbarer Nähe von unversorgten Bereichen liegen, eher eine schlechte Versorgung zu erwarten ist.
- Die Karten geben keine Abstufungen zum Grad der Versorgung an.
- Die Definition von Versorgung wird nicht transparent gemacht.
- Für die Nutzung der Angaben in einem eigenen GIS müssen die Karten in einem aufwändigen Prozess aufbereitet werden.

3.2.4 Empfehlungen

Beispielhaft konnte gezeigt werden, dass sich in etwa die Hälfte der Störmeldungen aus einer Unternehmensumfrage über die Netzabdeckungskarten erklären lassen. Damit können sie Kreisen und Kommunen als Grundlage für die Suche nach lohnenswerten Standorten dienen, um kritische Versorgungslücken zu schließen.

3.3 Netzabdeckungskarten der Bundesnetzagentur – Mobilfunk-Monitoring

Seit Dezember 2020 stellt die BNetzA im Rahmen des Mobilfunk-Monitorings ebenfalls Versorgungskarten (ähnlich den Netzabdeckungskarten der Betreiber) zur Verfügung:

- Bundesnetzagentur: Mobilfunk-Monitoring → Kartendarstellung, www.breitband-monitor.de/mobilfunkmonitoring/karte [29]

Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse basieren auf dem Stand der Karten von Dezember 2020. Ein Update der Karten wird im 1. Quartal 2021 erwartet.

Die Versorgungskarten auf den Seiten der BNetzA beruhen auf Angaben und Berechnungen der Netzbetreiber. Seitens der BNetzA wurden für jede Technologie Schwellwerte für die Pegel bestimmter Signale festgelegt, die in einem Flächenelement erreicht werden müssen, um als versorgt zu gelten. Diese einheitliche Festlegung sorgt einerseits für eine erhöhte Transparenz

und bessere Vergleichbarkeit. Andererseits kann auch darüber keine vollständige Zuverlässigkeit gewährleistet werden, da

- noch zahlreiche Randbedingungen bei der Berechnung dieser Pegel offen sind,
- der Empfangspegel zwar ein wichtiger, aber nicht der alleinige Indikator für die Versorgungsgüte ist.

3.3.1 Verfügbare Informationen

Auf der Seite der BNetzA lassen sich getrennte Karten für die drei Netzbetreiber und die drei Technologien 2G, 3G und 4G anzeigen. Die 5G-Versorgung ist bei den im Dezember 2020 veröffentlichten Karten noch nicht enthalten, wird aber in den folgenden Updates hinzugefügt.

Gegenüber den Netzabdeckungskarten der Betreiber gibt es in Hinblick auf die weitere Verarbeitung einen entscheidenden praktischen Vorteil:

Die Versorgungsdaten für die einzelnen Technologien und Betreiber werden als csv-Datei zur Verfügung gestellt. Dabei geben Einsen und Nullen an, ob ein Flächenelement von 100 m x 100 m versorgt ist oder nicht.

Inwieweit sind die Versorgungsangaben aus den Karten der Netzbetreiber konform mit denen der BNetzA bzw. inwieweit gibt es Diskrepanzen?

Um diese Frage am Beispiel der Region Münsterland und des Hochsauerlandkreises zu beantworten, wurden die zusammengehörigen Karten miteinander verschnitten und übereinstimmende bzw. abweichende Angaben markiert (siehe Abbildung 3-4).

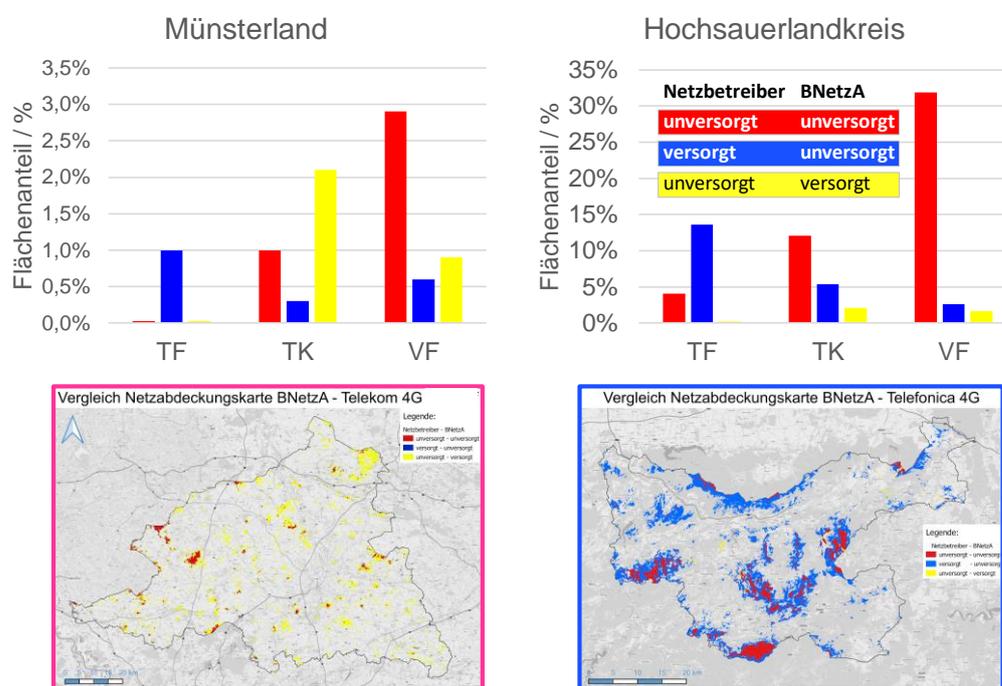


Abbildung 3-4: Vergleich zwischen den Netzabdeckungskarten der Betreiber und der BNetzA
Markiert sind jeweils unversorgte Flächen.

Bei den nicht markierten Flächen (im Münsterland sind es mehr als 95 %) stimmen die Karten der Netzbetreiber und der Bundesnetzagentur darin überein, dass eine Versorgung gegeben

ist. Allerdings gibt es in Bezug auf die als „nicht-versorgt“ klassifizierten Flächen einige Abweichungen zwischen den Quellen, die zu signifikanten Abweichungen führen können. Wie Abbildung 3-4 zeigt, überwiegen bei Vodafone (VF) die Übereinstimmungen bei der Frage der „Nicht-Versorgung“ deutlich. Die Telekom (TK) schätzt auf ihren eigenen Karten die Versorgung im Münsterland schlechter ein als auf den Karten der BNetzA angegeben. Outdoor-Versorgung auf den Karten von Telefónica (TF) ist verglichen mit den BNetzA-Karten (aber auch verglichen mit eigenen Messungen aus dieser Studie) deutlich zu optimistisch angegeben. Insgesamt kann man schließen, dass die Kriterien die den verschiedenen Versorgungskarten zugrunde liegen, recht unterschiedlich sind.

3.3.2 Beispiele für die Nutzung

Ebenso wie die Netzabdeckungskarten der Betreiber können auch die Karten auf den Seiten der BNetzA einige wichtige Hinweise geben, und zwar

- bei der Identifikation unversorgter Gebiete und von Bereichen für lohnenswerte neue Mobilfunk-Standorte
- für einen Vergleich der Flächenversorgung
 - zwischen verschiedenen Regionen
 - zwischen verschiedenen Technologien
 - zu verschiedenen Zeitpunkten
 - bei verschiedenen Flächennutzungsarten

Die entsprechenden Untersuchungen sind jedoch wegen der verfügbaren csv-Daten einfacher durchzuführen.

3.3.2.1 Flächenversorgung

In Abbildung 3-5 ist die LTE-Versorgung der drei Netzbetreiber Telefónica (TF), Telekom (TK) und Vodafone (VF) auf Basis der BNetzA-Daten für verschiedene ländlich geprägte Regionen in NRW sowie für ganz Deutschland (D) illustriert. Aufgetragen ist der Prozentsatz der unversorgten Fläche. Auf Basis dieser Daten ergibt sich für das dünn besiedelte Münsterland (MSL) eine vergleichsweise sehr gute Versorgung. Im ebenfalls dünn besiedelten, aber deutlich bergigeren Hochsauerlandkreis (HSK) ist die Versorgung signifikant schlechter. Ähnlich – wenn auch nicht ganz so stark ausgeprägt – zeigt sich der Einfluss der Topografie auf die Mobilfunkversorgung beim Vergleich der Kreise Soest und Kleve mit den Kreisen Oberbergisches Land und Euskirchen.

Über ganz Deutschland gesehen liegt bei einer gemeldeten Versorgung von 98 % bis 99 % der Haushalte die Flächenversorgung zwischen 83 % und 89 % – je nach Betreiber (siehe Abbildung 3-5). Betrachtet man die LTE-Versorgung durch alle Betreiber (Alle), so beträgt sie in Deutschland 96,5 %. Nimmt man noch die derzeitige 3G-Versorgung aller Betreiber hinzu, erreicht man mit 97,3 % auf Basis der heutigen BNetzA-Daten nahezu das in Tabelle 2-1 angegebene Ziel der Bundesregierung zur mobilen Breitbandversorgung in Hinblick auf die Fläche gemäß Förderrichtlinie [30]. Nach dieser Richtlinie gilt ein Gebiet versorgt, wenn dort Versorgung durch 4G/LTE oder 3G/UMTS durch mindestens einen der Netzbetreiber vorliegt.

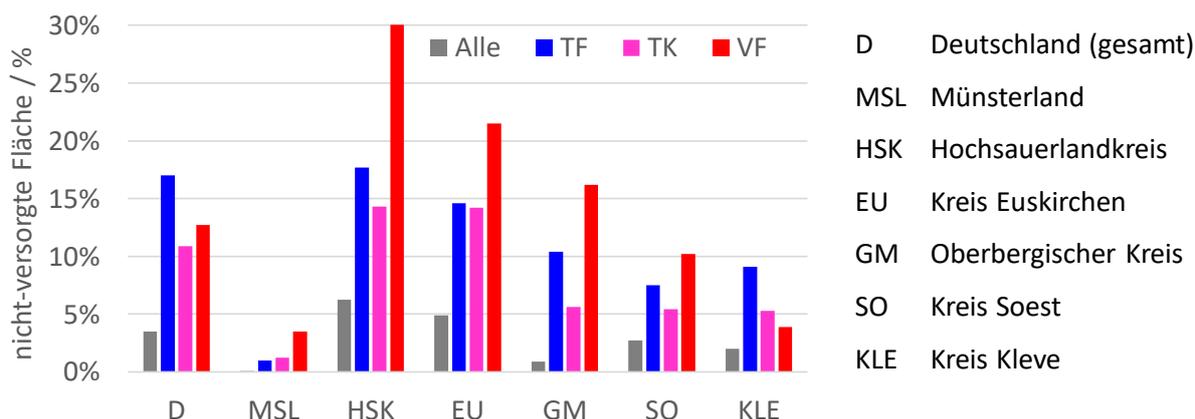


Abbildung 3-5: Nicht-versorgte Flächenanteile lt. BNetzA für verschiedene Regionen

Insofern sollten die Netzabdeckungskarten der BNetzA in ihrer derzeitigen Form nicht als alleiniges Kriterium für die Identifikation unversorgter Gebiete herangezogen werden. Wie später noch erläutert wird (Abschnitt 4.3.3), wurden auch in als „versorgt“ gekennzeichneten Gebieten schlechte Empfangspegel gemessen.

3.3.3 Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit

- Die Netzabdeckungskarten geben zwar Hinweise auf die Versorgung, die durchaus sowohl von den Endkunden als auch von Kommunen und Kreisen beachten werden sollten, besitzen aber nur eine begrenzte Aussagekraft.
- Für ein Flächenelement lässt sich nur eine gewisse Versorgungswahrscheinlichkeit angeben. Ferner können die Empfangsverhältnisse auch innerhalb einer Fläche von 100 m x 100 m stark variieren.
- Insofern können Messwerte und Erfahrungen bei der Nutzung von Mobilfunkdiensten auch von den Angaben in den Netzabdeckungskarten abweichen.
- Bei der Interpretation der Karten ist zu beachten, dass gerade in als „versorgt“ markierten Bereichen, die in unmittelbarer Nähe von unversorgten Bereichen liegen, eher eine schlechte Versorgung zu erwarten ist.
- Die Karten geben keine Abstufungen zum Grad der Versorgung an.

3.3.4 Empfehlungen

Kreisen und Kommunen können die Karten der BNetzA als Grundlage für die Suche nach lohnenswerten Standorten dienen, um kritische Versorgungslücken zu schließen. Im Gegensatz zu den Karten der Netzbetreiber sind die Daten einfacher in ein eigenes GIS zu integrieren.

Die BNetzA sollte die Kriterien für die Versorgung für die Nutzer transparenter machen und – wenn möglich – auch Abstufungen zur Versorgung in die Karten integrieren.

3.4 Funklochkarte der Bundesnetzagentur

In ihrem Breitband-Monitor stellt die BNetzA eine interaktive Karte – die sogenannte Funkloch-Karte – bereit, in der die Ergebnisse von Netzverfügbarkeits-/Funklocherfassung zusammengestellt sind.

- Bundesnetzagentur: Breitband-Monitor – Funkloch-Karte [31]:
<https://www.breitband-monitor.de/funkloch/karte>

Basis für diese Karte sind Messergebnisse die Mobilfunkkunden mit ihrem Endgerät und der darauf installierten „Breitbandmessung/Funkloch-App“ der BNetzA [32] gesammelt haben. Diese werden automatisch an die BNetzA übermittelt und dann in der Karte dargestellt.

3.4.1 Verfügbare Informationen

Die Darstellung der Messergebnisse erfolgt in Form von eingefärbten Hexagonen (Sechsecken), die je nach Zoom-Stufe eine Breite von 100 m bis 25,6 km besitzen. Die Färbung richtet sich danach, welche Technologie in dem jeweiligen Hexagon am Häufigsten in einem vorgegebenen Messzeitraum erfasst wurde. Ein Update der Karten erfolgt wöchentlich.

Klickt man auf eines dieser Hexagone, so bekommt man angezeigt, bei wie vielen Messpunkten 2G, 3G oder 4G registriert wurde bzw. bei wie vielen keinerlei Empfang vorlag. Ferner wird angegeben, wie viele verschiedene App-Installationen (Endgeräte) diese Messergebnisse jeweils erhoben haben. Es besteht ferner die Möglichkeit, die Ergebnisse nach Betreiber und Mess-Zeitraum (2, 6, 12, 24, 36 Monate) zu filtern.

Die Daten stehen inzwischen auch in Form einer sehr großen csv-Datei (740 MB) zur Verfügung.

In den untersten drei Zoom-Stufen (Hexagon-Breite 100/200/400 m) ist deutlich zu erkennen, dass die Messdaten vorwiegend auf (stark) befahrenen Straßen und in besiedeltem Gebiet gesammelt wurden. Auch in den beiden Zoom-Stufen darüber (Hexagon-Breite 800/1600 m) sind noch deutliche Lücken ohne Messdaten zu erkennen.

3.4.2 Beispiele für die Nutzung

Die Karte eignet sich also nur, um einen groben Überblick über die Versorgungslage zu bekommen und um potenziell schlecht versorgte Gebiete grob zu identifizieren. Für detailliertere Beurteilung der Versorgungslage gerade in dünn besiedelten Bereichen reicht die Datenlage nicht aus; insbesondere auch deshalb nicht, da nur Angaben zur Häufigkeit der detektierten Technologie, aber keine Angaben zur Güte (Empfangspegel, Datenrate) angezeigt werden. Ferner ist zu beachten, dass das Umfeld der Endgeräte (Gerätetyp, Vertragsbedingungen, Nutzung außen, im Fahrzeug, im Gebäude) völlig unbekannt ist.

3.4.3 Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit

- Die Daten stehen zwar inzwischen auch in Form einer csv-Datei zur Verfügung. Diese ist jedoch sehr groß (740 Mbyte) und etwas unhandlich zu verarbeiten.

- Die Karte eignet sich also nur, um einen groben Überblick über die Versorgungslage zu bekommen und um potenziell schlecht versorgte Gebiete grob zu identifizieren. Für detailliertere Beurteilung der Versorgungslage, gerade in dünn besiedelten Bereichen, reicht die Datenlage nicht aus.
- In den untersten drei Zoom-Stufen (Hexagon-Breite 100/200/400 m) ist deutlich zu erkennen, dass die Messdaten vorwiegend auf (stark) befahrenen Straßen und in besiedeltem Gebiet gesammelt wurden. Auch in den beiden Zoom-Stufen darüber (Hexagon-Breite 800/1600 m) sind noch deutliche Lücken ohne Messdaten zu erkennen.
- Angaben beziehen sich lediglich auf die Häufigkeit der detektierten Technologie, aber nicht auf Güte des Empfangs (Empfangspegel, Datenrate).
- Ferner ist zu beachten, dass das Umfeld der Endgeräte (Gerätetyp, Vertragsbedingungen, Nutzung außen, im Fahrzeug, im Gebäude) völlig unbekannt ist.

3.4.4 Empfehlungen

Kommunen und Kreise können die Daten aus der Funklochkarte als unterstützende Informationen zusätzlich zu den Netzabdeckungskarten heranziehen, um die Versorgungslage in besonders kritischen Bereichen zu prüfen. Sie könnten ferner die Bürgerinnen und Bürger animieren, die Funkloch-App der BNetzA verstärkt zu nutzen, um für ihr Gebiet eine bessere Datenlage zu erhalten.

3.5 Breitband-Atlas

Der Breitbandatlas wird im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) erstellt [33], [34].

- Breitbandatlas:
<https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandatlas-Karte/start.html>

Anhand interaktiver Karten ermöglicht er die Anzeige von Informationen über die Technologien (sowohl für den Festnetz- als auch den Mobilfunkbereich) und Bandbreiten, die für die Datenübertragung in verschiedenen Regionen zur Verfügung stehen. Die Kennzahlen zur Breitbandverfügbarkeit in Deutschland basieren auf freiwilligen Datenlieferungen von über 500 kontaktierten Telekommunikationsunternehmen.

Für den Bereich Mobilfunk lässt sich die LTE-Versorgung mit einer Datenrate von mindestens 2 Mbit/s anzeigen. Auf Rasterzellen der Größe 250 m x 250 m wird mittels einer Färbung dargestellt, wieviel Prozent der dort ansässigen Haushalte versorgt sind. Angezeigt wird die Versorgung also nur für solche Rasterelemente, in denen auch Haushalte zu finden sind, aber nicht für z.B. Waldflächen.

Ferner lässt sich noch für ein komplettes Stadt- bzw. Gemeindegebiete anzeigen, zu welchen Prozentsatz es mit LTE oder UMTS versorgt ist – aufgeschlüsselt nach Geländenutzung und Verkehrswegetyp.

Da die Angaben zur Mobilfunk-Versorgung auf denen der Netzbetreiber beruhen, ist kein zusätzlicher Informationsgewinn gegenüber den Netzabdeckungskarten der Betreiber bzw. der Bundesnetzagentur zu erwarten.

Für die Feststellung der Festnetz-Breitbandversorgung kann der Breitbandatlas sicherlich hilfreich sein. Für die Beurteilung der reinen Mobilfunkversorgung ist er weniger nützlich (keine Beurteilung der Flächenversorgung möglich, Datenrate von 2 Mbit/s als Kriterium für Versorgung zu gering bemessen) und wird daher im Folgenden nicht weiter betrachtet. Betrachtet man allerdings die Anbindung der Mobilfunk-Basisstationen über Glasfaser kann man auf diese Quelle zurückgreifen.

3.6 Crowd-Sourcing-Daten – „umlaut-Studie“

Eine weitere Quelle zur Beurteilung der Mobilfunk-Versorgung ist eine mehrteilige Studie der Firma umlaut AG, die im Januar 2020 erschienen ist.

- LTE-Mobilfunkversorgung in Deutschland [15]
- Ergebnisse aller Kreise und kreisfreien Städte im bundesweiten Ranking [35]
<https://www.umlaut.com/uploads/documents/Mobilfunkversorgung-2019/Mobilfunkversorgung-Deutschland-2019.pdf>

Deren Daten beruhen auf einer Crowd-Sourcing-Lösung, bei der die Android-Smartphones regulärer Mobilfunkkunden ständig im Hintergrund verschiedene Messdaten zur Mobilfunkversorgung sammeln und diese von Zeit zu Zeit an einen zentralen Server zur Auswertung versenden. Die Crowd-Daten (ca. 2 Milliarden Datensätze) – zu denen auch die gemessenen Empfangspegel gehören – wurden im Zeitraum April 2019 bis September 2019 erfasst.

Eine flächendeckende Erfassung von Messdaten war naturgemäß nicht möglich. In Bereichen mit nicht allzu großen Datenlücken, wurden die Daten daher für die Erstellung von Karten interpoliert. Auf diese Weise stehen Versorgungsdaten für ca. 80 % der Fläche und ca. 98,5 % der Haushalte in Deutschland zur Verfügung.

3.6.1 *Verfügbare Informationen*

Aus diesen Basisdaten wurden in der umlaut-Studie für alle Kreise und kreisfreien Städte in Deutschland (insgesamt 401) folgende Daten zur Versorgungslage in dem jeweiligen Gebiet extrahiert:

- der Prozentsatz der mit 4G/LTE versorgten Fläche (getrennt für alle Betreiber)
- der Prozentsatz der mit 4G/LTE versorgten Haushalten (getrennt für alle Betreiber)
- eine Karte zur LTE-Versorgung für den jeweils besten Betreiber im Gebiet
- eine Punktbewertung, die sich aus der 4G/LTE-Versorgung aller Betreiber in gewichteter Form zusammensetzt
- ein auf der Punktbewertung basierendes Ranking unter den 401 Kreisen und kreisfreien Städten

Die angegebene Versorgung ist als eine Art LTE-Basisversorgung zu verstehen, bei der eine Datenrate von ca. 10 Mbit/s zu erzielen ist, i.A. jedoch nicht die 50 Mbit/s aus den Versorgungsaufgaben, die die BNetzA fordert. Die umlaut-Studie definiert diese LTE-Basisversorgung dadurch, dass der Signalpegel für die sogenannten Reference Signal Received Power (RSRP) oberhalb von –120 dBm liegen muss.

Bei der Versorgungsqualität wird unterschieden zwischen:

- mäßig (rot)
- ordentlich (gelb)
- gut (grün)

Das Kriterium für die Unterscheidung wird nicht genannt. Weiterhin kann bei in den Karten nicht-einfärbten Bereichen nicht gesagt werden, ob sie nicht versorgt sind oder ob keine Daten zur Verfügung stehen.

Die Karten aus der umlaut-Studie lassen sich mit QGIS ebenfalls wie die Netzbetreiberkarten in einem recht aufwändigen Prozess digitalisieren, der im Rahmen des Projekts entwickelt und getestet wurde. Dazu wurden mehrere Kartenausschnitte im untersuchten Gebiet geladen, durch eine komplexe Software zusammengefügt und dann in das Geoinformationssystem QGIS [27] integriert.

3.6.2 Beispiele für die Nutzung

3.6.2.1 Anzeige der Flächenversorgung

In der umlaut-Studie findet man für jeden Kreis Karten zur 4G/LTE-Flächenversorgung für den jeweils in der Studie als „besten“ bewerteten Betreiber. Ein Beispiel für die Kreise Coesfeld und Steinfurt sowie für die Stadt Münster ist in Abbildung 3-6 zu sehen. Damit lassen sich Gebiete mit mäßiger Versorgung (rot) identifizieren. Bei Gebieten ohne Färbung wird keine Aussage darüber getroffen, ob keine Versorgung oder keine Messdaten vorliegen. Ist ein solches Gebiet von einem rötlich markierten Gebiet vollständig eingeschlossen, so ist eine Versorgungslücke oder zumindest eine schlechte Versorgung zu vermuten. In die Karte eingezeichnet ist zum Vergleich das Ergebnis einer eigenen Messfahrt (weitere Details zu den Messfahrten in Abschnitt 4.3). Optisch passen die Ergebnisse aus der eigenen Messfahrt gut zu den Ergebnissen der umlaut-Studie.

Aus den Angaben in der umlaut-Studie sowie aus den digitalisierten Karten lassen sich ferner Statistiken zur 4G/LTE-Versorgung generieren. Ausgewählte Ergebnisse für das Münsterland sind im rechten Teil von Abbildung 3-6 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Versorgung in der Stadt Münster deutlich besser ist als in den vier Kreisen.

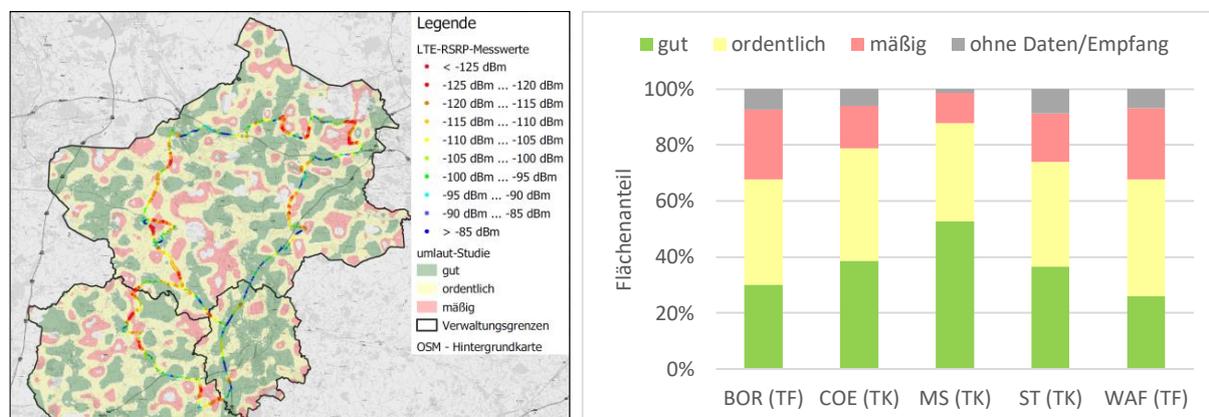


Abbildung 3-6: LTE-Versorgung lt. umlaut-Studie für den „besten“ Betreiber im jeweiligen Gebiet (links: Karte zusammen mit eigenen Messwerten; rechts: Statistik zur Versorgung)

3.6.2.2 Vergleich zwischen umlaut-Daten und Netzabdeckungskarten der Betreiber

Betrachtet man die Werte zur 4G/LTE-Flächenversorgung im Münsterland und im Hochsauerlandkreis aus der umlaut-Studie und den Netzabdeckungskarten der Betreiber, so passen die Werte von der Tendenz zwar zusammen, quantitativ gibt es jedoch zum Teil deutliche Abweichungen (siehe Abbildung 3-7).

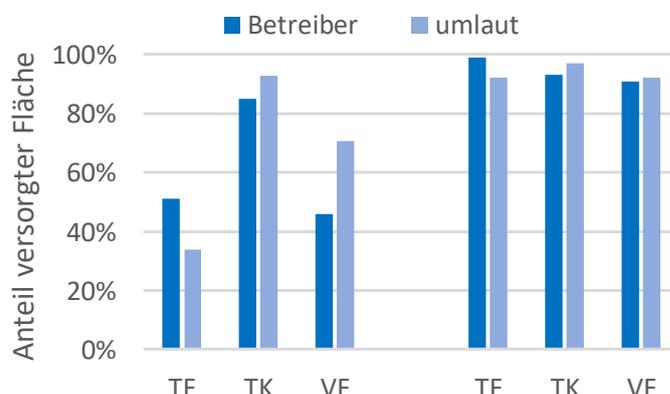


Abbildung 3-7: Vergleich 4G-Versorgung laut Netzabdeckungskarten und umlaut-Studie (links: Hochsauerlandkreis, rechts: Münsterland)

Bei einem weiteren Vergleich wurde geprüft, inwieweit in den von den Netzbetreibern als „versorgt“ klassifizierten Bereichen (NB-v) der Anteil der Fläche sinkt, der in der umlaut-Studie als „mäßig versorgt (u-mäßig)“ klassifiziert wird. In Abbildung 3-8 ist zwar deutlich eine Abnahme dieses Flächenanteils zu erkennen, aber auch in den von den Netzbetreibern als „versorgt“ klassifizierten Bereichen bleiben noch substantielle Anteile, die in der umlaut-Studie nur als „mäßig versorgt“ eingestuft werden.

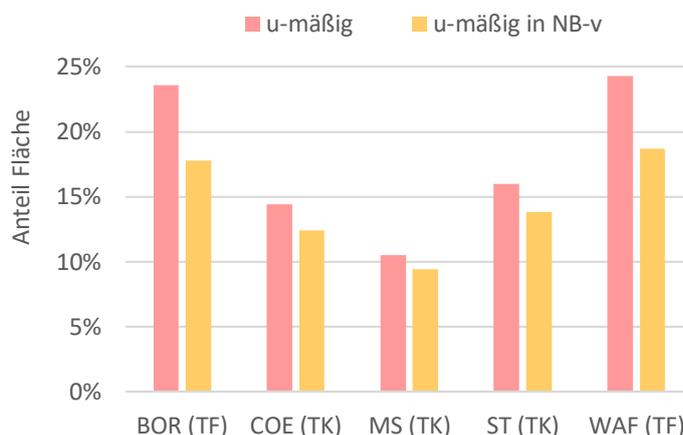


Abbildung 3-8: Vergleich von Versorgungsangaben – umlaut-Studie und Netzabdeckungskarten

Der Vorteil der Karten aus der umlaut-Studie gegenüber denen der Netzbetreiber bzw. denen der BNetzA besteht darin, dass sie Abstufungen zur Versorgung liefern (auch wenn die Definition der Abstufungen nicht angegeben ist). Andererseits bestehen auch einige Nachteile: Versorgungskarten sind nur für 4G/LTE (nicht für andere Technologien) und nur für den jeweils

besten Betreiber im jeweiligen Gebiet veröffentlicht. Die Daten beruhen auf einen Stand vom 2./3. Quartal 2019 und wurden seitdem nicht aktualisiert.

3.6.2.3 Vergleich der Versorgung verschiedener Regionen

Tabelle 3-1: Vergleich der 4G/LTE-Versorgung lt. umlaut-Studie für verschiedene Regionen

Region	Bester Betreiber	Punkte	Platz Ranking	Versorgte Fläche	Versorgte Haushalte
Kreis Borken	Telefónica	953,6	170	96,4 %	99,5 %
Coesfeld	Telekom	988,5	71	99,0 %	99,9 %
Stadt Münster	Telekom	992,0	60	99,4 %	100,0 %
Kreis Steinfurt	Telefónica	965,7	133	98,2 %	99,5 %
Kreis Warendorf	Telefónica	971,7	126	97,5 %	99,6 %
Hochsauerlandkreis	Telekom	795,6	375	92,9 %	99,5 %
Kreis Soest	Telekom	970,6	128	98,0 %	99,6 %
Kreis Kleve	Telekom	944,0	189	94,5 %	97,2 %
Kreis Euskirchen	Telekom	942,8	192	94,0 %	98,9 %
Oberbergischer Kreis	Telekom	886,8	301	97,4 %	99,1 %

Die Daten aus der umlaut-Studie erlauben einen Vergleich zwischen verschiedenen Regionen in Bezug auf die 4G/LTE-Versorgungslage. Als Beispiel sind in Tabelle 3-1 die Ergebnisse für die Regionen zusammengestellt, die auch schon anhand der Netzabdeckungskarten der BNetzA verglichen wurden. Bis auf den Kreis Borken mit seiner Grenze zu den Niederlanden sind die Kreise des Münsterlandes sowie die Stadt Münster im oberen Drittel des Rankings der umlaut-Studie zu finden. Kreise mit einer für die Funkausbreitung schwierigen Topografie (Oberbergischer Kreis oder Hochsauerlandkreis) sind im unteren Viertel der Bewertungsskala der Studie zu finden. Qualitativ passt diese Reihung in etwa zu den Daten aus den BNetzA-Karten (siehe Abbildung 3-5). Allerdings ist zu betonen, dass sich die Daten der BNetzA auf einen ca. ein Jahr aktuelleren Stand beziehen.

3.6.3 Hemmnisse, Einschränkungen, Zuverlässigkeit

- Da das genaue Umfeld der Smartphones bei der Messdatenerfassung nicht bekannt ist, spiegeln die Daten zwar die von den Anwendern wahrgenommene Versorgung wider, nicht aber unbedingt die vom Netzbetreiber in einem standardisierten Prozess geplante Versorgung.
- Die Kriterien für die Unterscheidung „mäßig“, „ordentlich“ und „gut“ versorgt sind nicht angegeben.
- Versorgungskarten sind nur für 4G/LTE (nicht für andere Technologien) und nur für den jeweils besten Betreiber im jeweiligen Gebiet veröffentlicht.
- Für die Integration in ein eigenes GIS müssen sie in einem aufwändigen Prozess digitalisiert werden.
- Aufgrund der vorgenommenen Interpolation von Messwerten kann es zu Ungenauigkeiten kommen, da der Empfangspegel bereits über kürzere Entfernungen stark variieren kann.

- Die Daten sind nur für den Ausbaustand April 2019 – September 2019 vorhanden und wurden bisher nicht aktualisiert.

3.6.4 Empfehlungen

Die umlaut-Studie bietet zusätzliche Informationen zu bestimmten Mobilfunktechnologien, aktuell LTE/4G. Auch bietet sie eine abgestufte Information hinsichtlich der Versorgungsgüte, ohne jedoch die genauen Kriterien der Abstufung zu nennen.

Da die Daten auf einer Erfassung von Messwerten beruhen, wenn auch durch Endgeräte und nicht durch überprüfbare Messaufbauten, ist bilden sie die Versorgungslage realitätsnäher ab, als reine Rechenmodelle.

Eine Kombination der Daten der umlaut-Studie mit weiteren Daten ermöglicht eine realistischere Einschätzung des Versorgungsgrades einer Region. Da die Daten der umlaut-Studie nicht kontinuierlich erhoben und veröffentlicht werden, ist die Aktualität zu prüfen.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus einer eigenen Messkampagne

Ein zentrales Anliegen des Projekts bestand darin, anhand von Messungen ein eigenes, möglichst objektives Bild der Versorgungslage zu gewinnen, die Störmeldungen aus der Umfrage nachzuvollziehen, kritische Bereiche und deren Ursachen zu identifizieren sowie die Analysen der Quellen aus Kapitel 3 an den Messergebnissen zu spiegeln.

4.1 Messequipment und Auswahl der Szenarien

Bei der Auswahl des Messequipments waren folgende Kriterien wichtig:

- Ein professionelles Mess- und Analysetool, das auch bei Netzbetreibern im Einsatz ist, sollte Verwendung finden.
- Dieses sollte die Möglichkeit zur Erfassung und Auswertung einer Vielzahl von Daten zur Versorgungsqualität, zur Ursache von Problemen und zum Netzausbau bieten.
- Die Untersuchung verschiedener typischer Anwendungsszenarien sollte möglich sein.
- In den Szenarien sollte die Wahrnehmung durch Endkunden möglichst realitätsnah nachvollzogen werden.
- Messungen sollten unter definierten Bedingungen erfolgen.

Diese Kriterien werden von dem für die Messungen verwendeten Mess- und Analysetools QualiPoc Android der Firma Rohde & Schwarz [36] erfüllt, das auf mehreren handelsüblichen Smartphones (Samsung Galaxy S5 und S10 5G sowie Sony Xperia (XZ2)) installiert war.

Zum Vergleich wurden mit anderen Smartphones (Galaxy S10e, Huawei P30 lite, Honor 7S) beispielhaft zusätzliche Messungen zur Technologie-Verfügbarkeit mit dem einfacheren Tool G-NetTrack Pro [37] aufgenommen.

Die Messungen wurden in verschiedenen Etappen von März bis August 2020 durchgeführt.

Jeweils direkt im Anschluss erfolgte mit verschiedenen Tools eine Vorverarbeitung der Messdaten sowie eine statistische Auswertung und eine Integration in das verwendete GIS.

Die Messungen erfolgten

- auf ausgewählten längeren Messrouten durch verschiedene Bereiche der Region (insgesamt ca. 1200 km)
- an ausgewählten Orten in etwas detaillierter Form

Auf den Messrouten wurden für die Netze aller drei Betreiber folgende Szenarien betrachtet:

- die Technologieverfügbarkeit
- die Telefonie-Versorgung
- die LTE-Versorgung

Dabei mussten die Routen typischerweise dreimal abgefahren werden, um alle Szenarien für alle Netze der drei Betreiber zu erfassen.

Bei der Auswahl der Messrouten wurden die Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage und weitere Hinweise aus den Wirtschaftsförderungsgesellschaften bzw. aus den Abteilungen der Kreisentwicklung des Münsterlandes berücksichtigt.

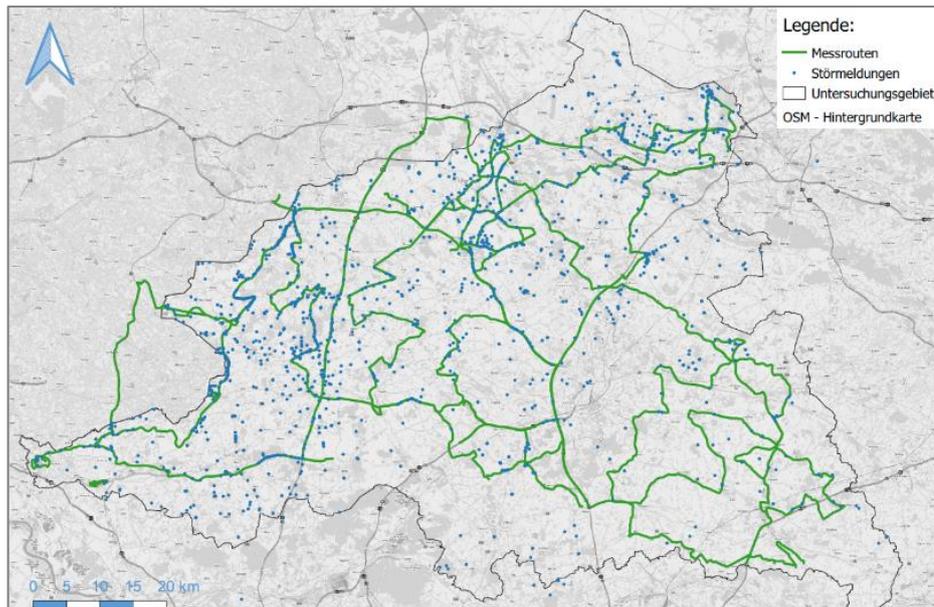


Abbildung 4-1: Übersicht Messroute im Münsterland mit gemeldeten Störpunkten

Alle Smartphones waren auf einer Vorrichtung auf der Rückbank eines PKWs ohne Außenantenne angebracht. Zuvor wurde der Einfluss der PKW-Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz und der Anordnung des Endgeräts im PKW untersucht, um auch Aussagen zum möglichen Empfang im Außenbereich machen zu können. Dies ist insbesondere für den Vergleich der Messergebnisse mit den Netzabdeckungskarten wichtig.

Die Messrouten verliefen in eher kritischen Bereichen (15% Waldgebiete, 60% landwirtschaftliche Fläche), und führten in der Nähe von ca. 550 der 1600 Störmeldungen vorbei.

Zudem erfolgten detailliertere Messungen an jeweils zwei bis vier verschiedenen Stellen in neun kleineren als kritisch gemeldeten Bereichen (Unternehmensstandorte, Industriegebiete, touristische Ziele, grenznahe Orte, ...). In diesem Fall waren die Smartphones für die Messungen auf einer transportablen Halterung aus Holz und Kunststoff angebracht.

4.2 Technologieverfügbarkeit

Im Idle Mode, bei dem das Endgerät lediglich eingeschaltet ist, aber keine Telefonie- oder Datenverbindung besteht, wählt es die jeweils verfügbare Technologie frei aus anhand von

- standardisierten Algorithmen
- betreiberspezifischen Schwellwerten
- und dem im Fahrzeug gemessenen Empfangspegel

Je nach Netzbetreiber lag der Anteil der Messroute, auf dem sich die Geräte bei LTE eingebucht haben, bei 85 – 93% (siehe Abbildung 4-2). Er war damit zwar immerhin deutlich höher als bei ähnlichen Messfahrten in der Grafschaft Bentheim 2017 (40 – 60 %, vgl. [38]). Andererseits steht damit aber auch auf 7 – 15 % der Fahrtstrecke LTE im Fahrzeug nicht zur Verfügung, so dass dann auch Telefonie über LTE nicht möglich ist.

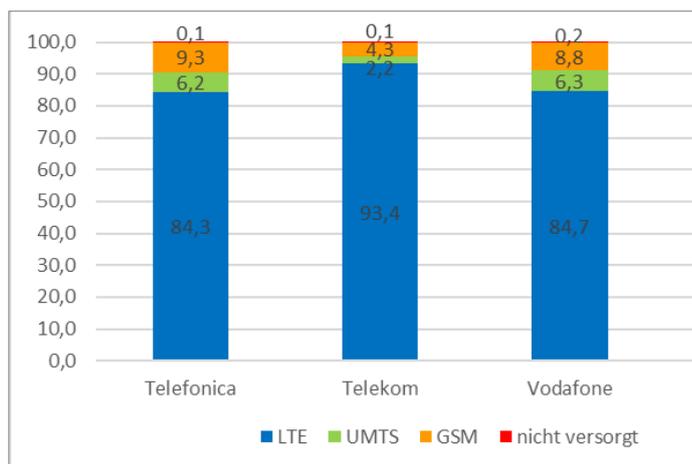


Abbildung 4-2: Prozentsatz der Technologieverfügbarkeit auf der Messroute

Vergleiche zwischen verschiedenen Endgeräten zeigten, dass sich diese bei der Ein- und Umbuchung zwischen den Technologien, Frequenzbändern und Funkzellen im Detail recht unterschiedlich verhalten.

4.3 LTE-Versorgung

Um die LTE-Versorgung genauer zu analysieren und die Messwerte mit den LTE-Netzabdeckungskarten der Betreiber und der BNetzA besser vergleichen zu können, wurden die Smartphones mittels QualiPoc gezwungen bei LTE zu bleiben, auch wenn die Pegel zu niedrig sind.

4.3.1 Frequenzbänder für die LTE-Versorgung

Die Abbildung 4-3 gibt einen Überblick über die auf den Messrouten detektierten Frequenzbänder, die zur 4G/LTE-Versorgung von den einzelnen Betreibern eingesetzt wurden. Über die ebenfalls detektierten und analysierten Zellkennungen konnten sie verschiedenen Mobilfunk-Standorten zugeordnet werden. Am häufigsten wurde das Frequenzband bei 800 MHz detektiert – sowohl als alleiniges Frequenzband als auch in Kombination mit anderen Bändern. Gerade im ländlichen Bereich wird von der Telekom ein Spektrum von 5 MHz (jeweils für den UL und den DL) im Frequenzband bei 900 MHz für LTE genutzt. Mit diesem geringen Spektrum ist allerdings nur eine LTE-Grundversorgung, aber keine hohe Datenrate zu erzielen. Der größere Teil des Spektrums, über das die Telekom in diesem Band verfügt, bleibt für 2G/GSM (Telefonie-Anwendungen) bestehen.

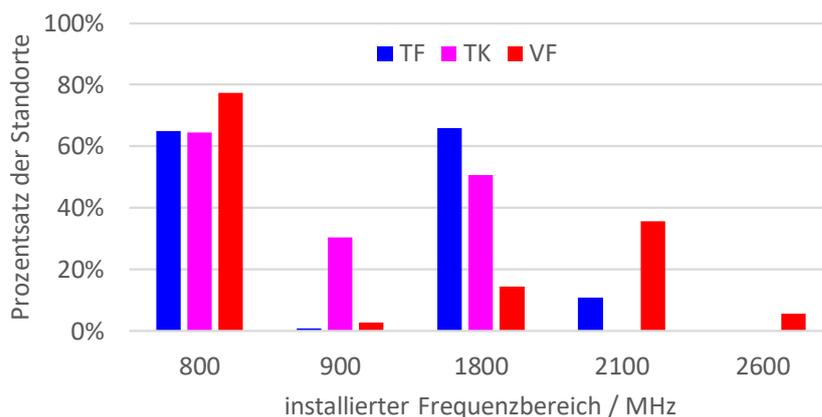


Abbildung 4-3: Häufigkeit detektierter Frequenzbänder für die LTE-Versorgung

Um die Kapazität an den Standorten zu erhöhen, werden unterschiedliche Bänder kombiniert. Bei den Messrouten wurden dabei die folgenden Kombinationen gefunden:

- Telefónica kombiniert das Band bei 800 MHz häufig mit dem bei 1800 MHz und seltener mit dem bei 2100 MHz.
- Die Telekom nutzt alle verschiedenen Kombinationen aus den Bändern 800 MHz, 900 MHz und 1800 MHz.
- Vodafone kombiniert das Band bei 800 MHz häufig mit dem bei 2100 MHz und seltener mit denen bei 1800 MHz und 2600 MHz.

4.3.2 Statistik zur LTE-Versorgung auf der Messroute

In der Nachverarbeitung wurden die im Fahrzeug gemessenen Pegel auf die Situation im Außenbereich umgerechnet. Messungen im Vorfeld haben Fahrzeug-Dämpfungen von 6 dB (für $f \leq 900$ MHz) bzw. 8 dB (für $f \geq 1800$ MHz) ergeben.

Legt man für eine LTE-Basisversorgung (B) einen Pegel der sogenannten Reference Signal Received Signal Power [8] von $RSRP = -120$ dBm zugrunde (siehe *umlaut-Studie*, Abschnitt 3.6) und für eine höherwertige Versorgung (H) einen Pegel von $RSRP = -109$ dBm (wie ihn die BNetzA für eine LTE-Versorgung verlangt), so erhält man die in Abbildung 4-4 gezeigten Werte für die LTE-Versorgung längs der Messroute.

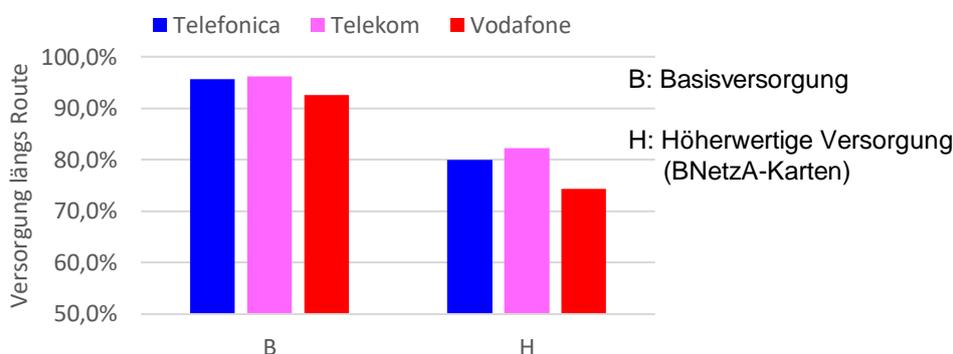


Abbildung 4-4: Mit 4G/LTE versorgte Anteile längs der Messroute

Auch wenn der versorgte Anteil deutlich geringer ist als z.B. in den Karten der BNetzA, so ist das Ergebnis angesichts der gewählten Route durch eher kritische Bereiche als recht

ordentlich zu bewerten. Allerdings ist zu beachten, dass diese Versorgungswerte für den Außenbereich gelten. Bei einer geforderten Versorgung auch im Innenbereich wären die Werte deutlich niedriger.

4.3.3 Vergleiche zwischen Messwerten und Netzabdeckungskarten

Die so bestimmten Pegel wurden in einer Farbskala in eine aufbereitete Netzabdeckungskarte eingetragen. Ein Beispiel ist in Abbildung 4-5 zu sehen. „Unversorgte“ Bereiche sind in dunkleren Grautönen (links, Karte der BNetzA) bzw. einem helleren Rotton (rechts, Karte eines Netzbetreibers) hervorgehoben. Geringe Empfangspegel sind durch rote und orange Punkte, hohe Empfangspegel durch blaue und grüne Punkte auf der Messroute symbolisiert. Rein optisch zeigen sich sowohl Übereinstimmungen als auch Abweichungen.

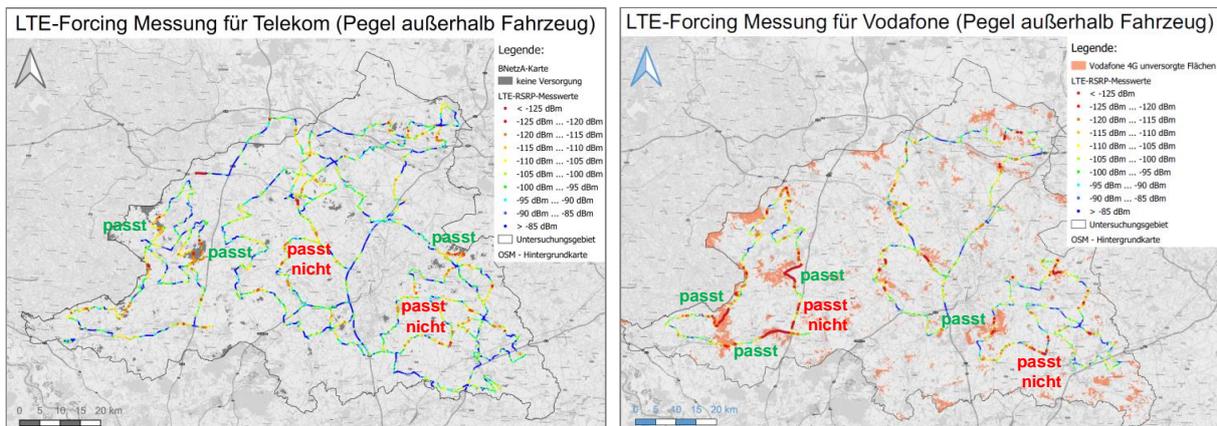


Abbildung 4-5: LTE-Empfang auf der Messroute im Vergleich zu den Netzabdeckungskarten

In einer statistischen Auswertung wurden die gemessene LTE-Versorgung sowie die Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen Messwerten und Netzabdeckungskarten genauer untersucht (siehe Abbildung 4-6). Zu beachten ist, dass die Messroute eher durch kritische Gebiete verlief und auf 12 – 20 % (je nach Betreiber) ihrer Strecke durch Gebiete vom Typ B (eher schlecht versorgt gemäß BNetzA-Karte, siehe Abbildung 4-6) führte.

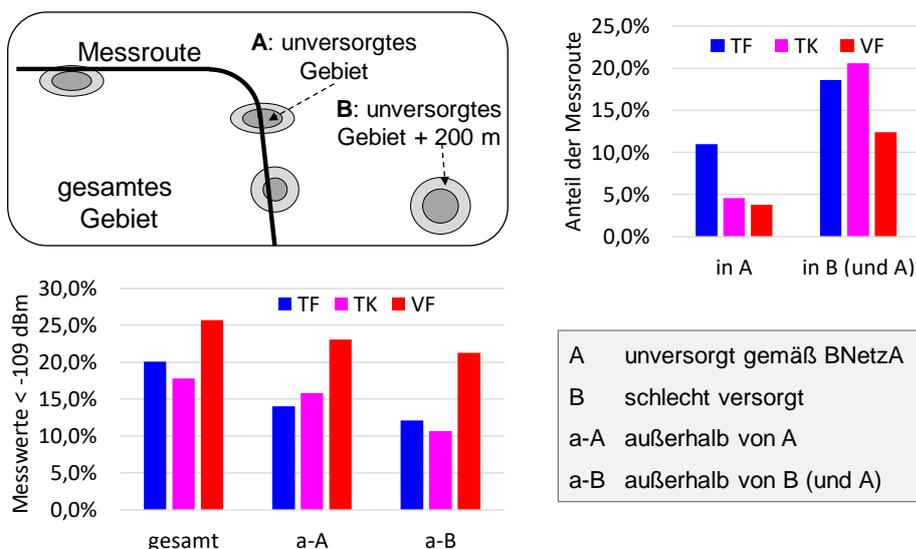


Abbildung 4-6: Statistik zur LTE-Versorgung im Vergleich zu den BNetzA-Karten

Eine LTE-Basisversorgung ($RSRP > -120$ dBm) wurde auf 92 – 97 % der Route beobachtet (im Diagramm nicht aufgeführt). Auf 18 – 26 % der Route wurde ein Pegel unterhalb von -109 dBm (Schwellwert für höherwertige Versorgung gemäß BNetzA) verzeichnet. Für die Routenanteile außerhalb der gemäß BNetzA-Karten nicht oder schlecht versorgten Gebiete sinkt dieser Prozentsatz auf 10 – 21 %, ist aber dennoch nicht vernachlässigbar. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den Netzabdeckungskarten der Betreiber führt auf ein ähnliches Ergebnis.

Einerseits kann dies folgende Ursachen haben:

- Aufgrund von Zellwechselalgorithmen und der zugehörigen Parametereinstellungen [9] bucht sich das Endgerät für die Messungen nicht sofort bei der besten Zelle ein.
- Die Karten beziehen sich auf einen Ausbauzustand, der zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht vorlag.

Andererseits wurde bei dem Vergleich der Messungen mit den Netzabdeckungskarten der Betreiber auf annähernde Zeitgleichheit geachtet, so dass durch die Messungen auch substantielle Bereiche mit unzureichender Versorgung identifiziert wurden, obwohl sie auf den Karten als „versorgt“ gekennzeichnet sind.

4.3.4 Vergleich zwischen Messwerten und Störmeldungen aus der Umfrage

In Abbildung 4-7 sind exemplarisch für einen der drei Betreiber drei Angaben zur Versorgung in einer Karte dargestellt:

- die nicht mit 4G/LTE versorgte Fläche laut Netzabdeckungskarte der BNetzA (dunkelgrau)
- die in der Umfrage gemeldeten Störpunkte (Kreise), die in der Nähe der Messroute lagen
- der gemessene mittlere Empfangspegel in der Nähe der Störpunkte (farblich gekennzeichnet)

Für den Vergleich hinsichtlich der LTE-Versorgung wurden nur die Störmeldungen der Kategorien „Funkloch“, „langsame Datenübertragung“, „lange Reaktionszeit“ verwendet, jedoch keine, die sich explizit auf Sprachqualität beziehen.

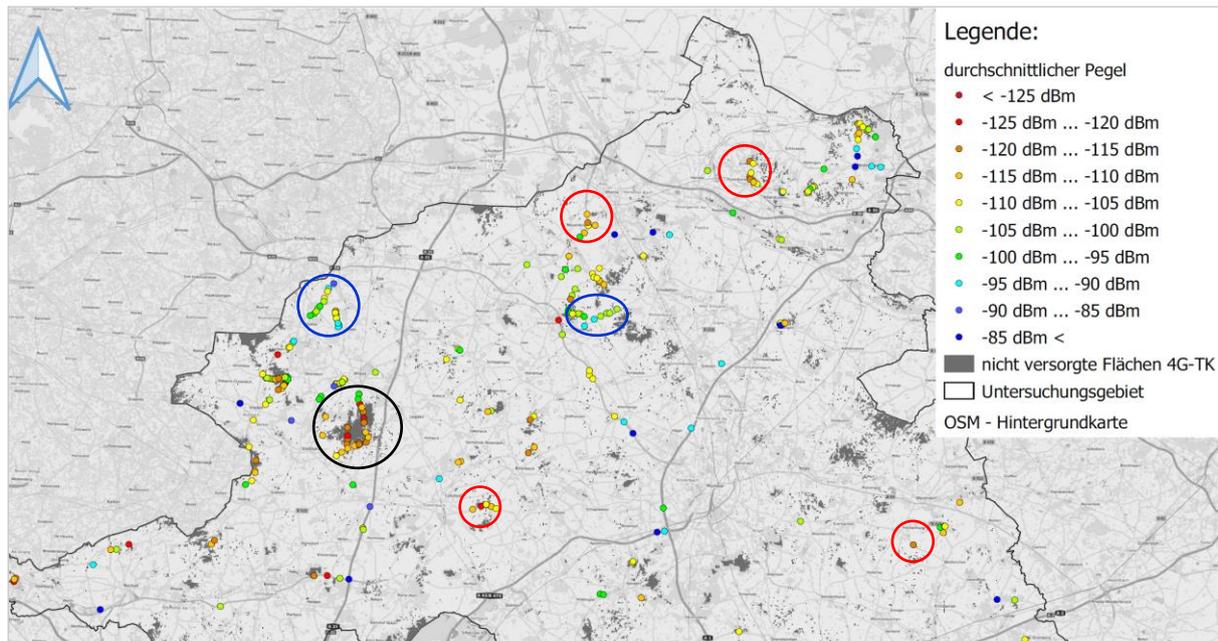


Abbildung 4-7: Störmeldungen, Messwerte und LTE-Netzabdeckungskarte im Vergleich

Schwarz eingekreist ist ein Bereich in dem alle drei Angaben zusammenpassen: nicht versorgt gemäß Netzabdeckungskarte, gemeldete Störpunkte und schlechter Empfangspegel.

Die rot eingekreisten Bereiche sind Beispiele für die Fälle, bei denen Störpunkte durch schlechte Empfangspegel bestätigt werden konnten, obwohl laut Netzabdeckungskarten eine Versorgung gegeben sein sollte.

Man findet aber auch Bereiche (blau eingekreist), bei denen sich die gemeldeten Störpunkte nicht nachvollziehen lassen – weder durch die eigenen Messungen noch durch die Netzabdeckungskarten.

Durch die Messung ließen sich insgesamt ca. 50 % der genannten Störpunkte nachvollziehen. Dass es zu Diskrepanzen bei den anderen 50 % kommt, kann folgende Ursachen haben:

- Die Randbedingungen beim Auftreten der gemeldeten Störungen sind nicht genau bekannt und weichen von der Messkonstellation ab.
- Die Angaben zu den Störpunkten waren geografisch und in Hinblick auf die Kategorie ungenau.
- Angaben wurden aus der Erinnerung heraus gemacht. Messungen und Netzabdeckungskarten beziehen sich auf einen neueren Ausbaustand.

4.4 Messungen zur Telefonie

4.4.1 Allgemeine Erkenntnisse

Da bei den Unternehmensumfragen vielfach Mängel bei der mobilen Telefonie genannt wurden, wurde dieser Aspekten in gesonderten Messungen untersucht. Dabei wurden im Fahrzeug (ohne Außenantenne) Dauertelefonate geführt, bei denen nur von Zeit zu Zeit oder nach Abbrüchen ein Neuaufbau erfolgte.

Obwohl mit handelsüblichen Endgeräten ohne besondere Zusatzmaßnahmen telefoniert wurde, konnten keine übergroßen Mängel festgestellt werden. Zwar gab es auf den Messrouten von mehr als 800 km pro Betreiber ca. 7 bis 9 Bereiche mit schlechterer Sprachqualität, aber insgesamt ist das Ergebnis als gut bis zufriedenstellend zu beurteilen.

Zwei der Betreiber (Telefónica, Vodafone) setzen für Telefonate über 2G/GSM die Methode des sogenannten „CM Re-establishments“ ein. Kommt es zu einem Abbruch, so wird das Telefonat nach kurzer Zeit (ca. 10 – 30 s) automatisch wiederaufgebaut, sofern es möglich ist. Der Nutzer spürt nur eine gewisse Unterbrechung, muss aber nicht neu wählen. Einerseits ist das natürlich vorteilhaft, andererseits empfindet der Nutzer berechtigterweise einen Mangel, der in diesem Fall aber nicht beim Betreiber als Abbruch gezählt wird.

Auf den Messrouten (> 800 km) gab es pro Betreiber jeweils ca. 700 – 800 erfolgreiche Handover (Zellwechsel während der Verbindung). Im Mittel erfolgte also nach ca. 1 km jeweils ein Handover. Bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 60 km/h hat man also im Mittel nach einer Minute einen Handover zu verzeichnen. Bei einem Telefonat von mehreren Minuten müssen also mehrere Handover erfolgreich sein.

Handover können auch zwischen verschiedenen Technologien erfolgen (4G → 3G, 4G → 2G, 3G → 2G, 2G → 3G). Ein Handover von 2G oder 3G nach 4G ist derzeit nicht implementiert. Da die Handover in der Technologie tendenziell abwärts führen, war das Endgerät bei der Telefonie bei allen Betreibern zu mehr als 90 % der Messroute mit dem 2G/GSM-Netz verbunden.

4.4.2 Exemplarische Ergebnisse aus den Messfahrten

Die Abbildung 4-8 zeigt beispielhaft die Ergebnisse aus einer Messfahrt. Blaue und grüne Färbungen geben dabei eine gute Qualitätsstufe (Parameter RXQUAL bei 2G/GSM) mit niedrigen Bitfehlerraten, orange und rote Färbungen schlechte Qualitätsstufen mit hoher Bitfehlerrate an. Die Phasen schlechter Qualität sind eingekreist.

Die in Abbildung 4-8 gezeigte Grafik bezieht sich auf den Betreiber, bei dem die meisten Gesprächsabbrüche (CR: Channel Release) – nämlich 11 – zu verzeichnen waren mit einer Häufung innerhalb des großen roten Kreises. Zudem wurde dreimal die Prozedur „CM Re-establishment“ eingeleitet. Bei einer Dauer der gesamten Messungen zur Telefonie von knapp 14 h kam es also durchschnittlich zu lediglich einem Abbruch (bzw. „CM Reestablishment“) pro Stunde. Bei dem besten Betreiber gab es auf der kompletten Messroute sogar nur einen einzigen Gesprächsabbruch.

In wenigen Fällen kam es zu einem Handover Failure (HOF), bei dem zwar ein eingeleiteter Handover aus verschiedenen technischen Gründen nicht durchgeführt wurde, bei dem es aber keinen Abbruch gab, sondern die ursprüngliche Zelle weiter genutzt werden konnte.

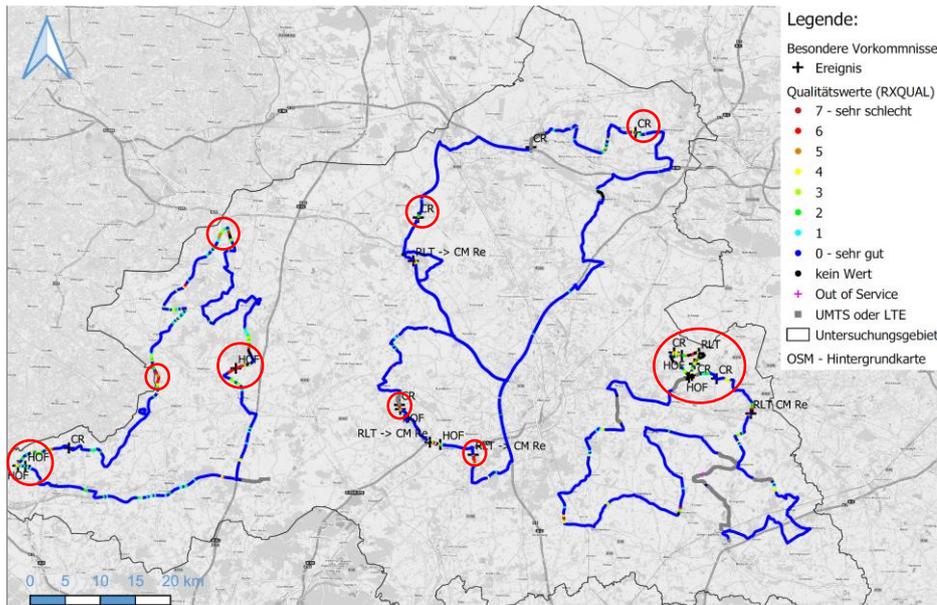


Abbildung 4-8: Empfangsqualität und besondere Ereignisse auf den Messrouten

Der für GSM-Telefonie kritische Pegel von -104 dBm wurde je nach Betreiber auf nur 0,5 - 2,5 % der Messroute unterschritten. Zum Vergleich: Bei eigenen Messungen in der Grafschaft Bentheim im Sommer 2017 war der Anteil ca. viermal so hoch [38].

Die guten Ergebnisse zur Telefonie aus den eigenen Messungen gehen konform mit den Angaben zur 2G/GSM-Versorgung aus den Netzabdeckungskarten der Netzbetreiber und der BNetzA: Für das Münsterland ist sie besser als 99,9%.

Im Vergleich dazu liegt die entsprechenden Zahlen für die 2G/GSM-Versorgung im Hochsauerlandkreis „nur“ bei 96 – 98 % (je nach Betreiber). Insofern ist in diesem Kreis eine schlechtere Telefonie-Versorgung verbunden mit mehr Gesprächsabbrissen zu erwarten.

4.4.3 Vergleich zwischen Messungen und Störmeldungen aus der Umfrage

Ebenso wie die Messergebnisse zur LTE-Versorgung wurden auch die Messergebnisse zur Telefonie-Versorgung mit den Störmeldungen aus der Umfrage verglichen. Für diesen Vergleich wurden die Störmeldungen der Kategorien „Funkloch“, „schlechte Sprachqualität“, „Gesprächsabbrisse“ verwendet, jedoch keine, die sich explizit auf eine langsame Datenübertragung beziehen. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 4-9. Kreise geben die gemeldeten Störpunkte an. Rot markiert sind die Punkte, an denen ein geringer Pegel gemessen wurde und somit Einschränkungen bei der Telefonie-Qualität zu erwarten sind. Gut 30% der gemeldeten Störpunkte lassen sich so nachvollziehen.

Bei den blau, grün oder gelb markierten Punkten sollte der Empfangspegel i.A. für eine zufriedenstellende bis gute Sprachqualität ausreichen.

Abweichungen könnten auf folgende Effekte zurückzuführen sein:

- Bei den Störmeldungen aus den Umfragen erfolgte die Telefonie zunächst über LTE, und der erforderliche Handover zu GSM ist gescheitert.
- Das Endgerät war im Fall der gemeldeten Störpunkte an einer sehr ungünstigen Stelle angebracht.

- Störmeldungen erfolgten aus der Erinnerung – die Versorgungslage hatte sich bis zum Zeitpunkt der Messungen verbessert.
- Störmeldungen sind auf kurzzeitige Ereignisse zurückzuführen, die sich negativ auswirken – wie das Vorbeifahren an einem LKW.

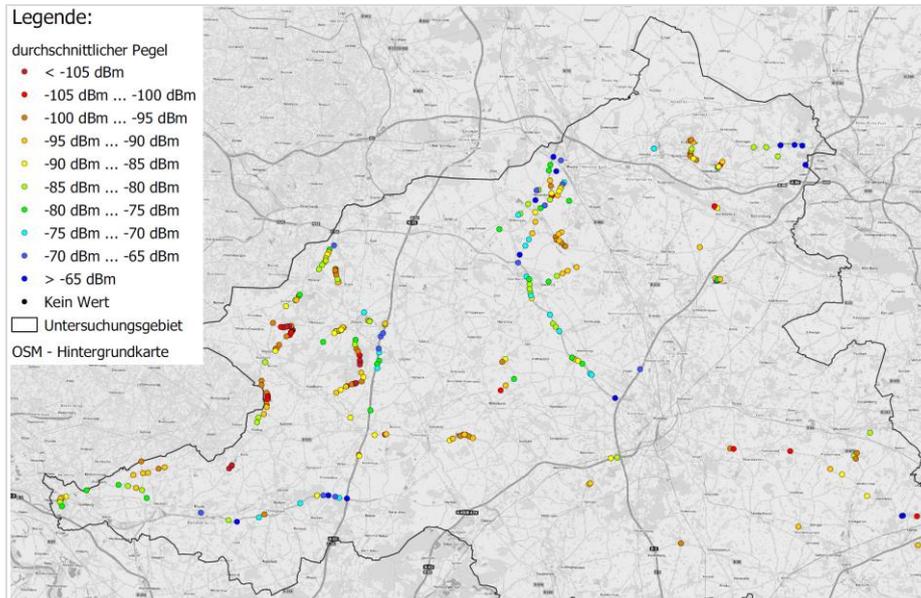


Abbildung 4-9: Störmeldungen und gemessener 2G/GSM-Pegel im Vergleich

4.4.4 Test der Telefonie über LTE

Voice over LTE ermöglicht bei guten Empfangsverhältnissen eine verbesserte Sprachqualität, stand aber zum Zeitpunkt der Messungen nicht flächendeckend zur Verfügung.

Voice over LTE wurde auf einer Teilstrecke von etwa 200 km gesondert getestet, bei der das Endgerät für die Messung bei laufender Telefonie gezwungen wurde, im LTE-Netz zu verbleiben. Dabei gab es 4 Abbrüche in mit 4G/LTE nur schlecht versorgten Bereichen. Auf 17 % der Route stieg die Rate fehlerhafter Sprachblöcke auf über 5 %, was zu einer schlechten Sprachqualität führte (siehe Abbildung 4-10). Bei der Telefonie über 2G/GSM und 3G/UMTS gab es auf dieser Teilstrecke zwar auch drei kürzere und eine etwas längere Phase mit schlechterer Sprachqualität aber nur einen Abbruch.

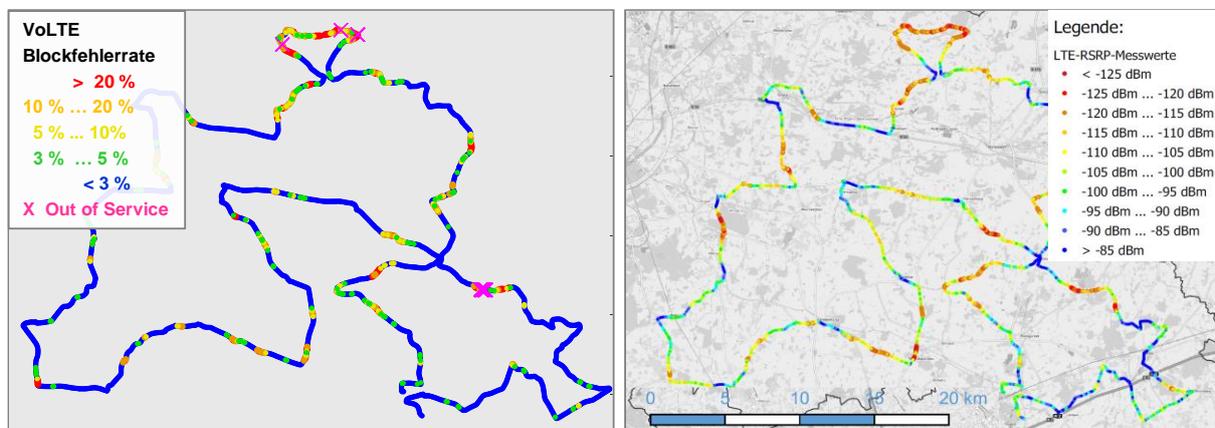


Abbildung 4-10: Test von Telefonie über LTE – Blockfehlerrate und Empfangspegel

4.5 Besonderheiten in Grenznähe

Auf die Besonderheiten bei Versorgung in Grenznähe wurde bereits in Abschnitt 2.5 hingewiesen. In diesen Abschnitt werden einige Ergebnisse aus den Messfahrten zu dieser Thematik vorgestellt.

Verwendung der niederländischen Netze

In den Niederlanden werden die Mobilfunknetze von folgenden Gesellschaften betrieben:

- Vodafone Libertel B.V.
- Royal KPN N.V.
- Telfort (Tochterunternehmen von KPN)
- T-Mobile Netherlands B.V. (Tochterunternehmen der Deutsche Telekom AG)

Bei den Messfahrten in der Nähe der Grenze haben sich die verwendeten Endgeräte an verschiedenen Stellen in die niederländischen Netze eingebucht. Beispiele für die LTE-Messfahrten (Verwendung von LTE-Forcing) sind in Abbildung 4-11 illustriert.

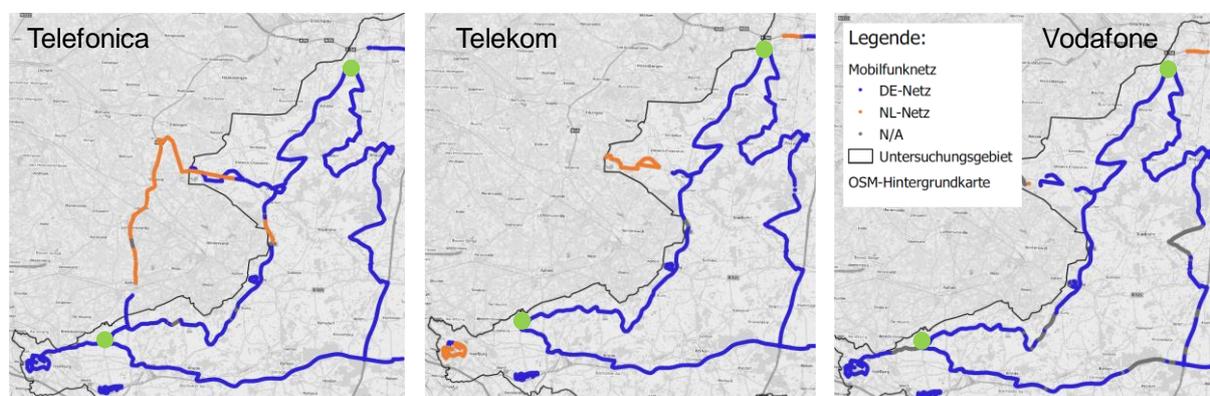


Abbildung 4-11: Verwendung der niederländischen Netze bei LTE-Messfahrten

Das Umschalten vom Netz eines Landes auf das eines anderen erfolgt nach standardisierten Algorithmen auf der Basis gemessener Empfangspegel und jeweils in den Netzen eingestellter Parameterwerten. Dabei kommt es zu Verzögerungen beim Umschalten, so dass z.B. eine Verbindung zum niederländischen Netz auch noch weit in das deutsche Gebiet hinein bestehen bleibt. Ferner hängt es von der Vorgeschichte und der Fahrtrichtung ab, über welches Netz die Versorgung erfolgt (siehe Abbildung 4-12).

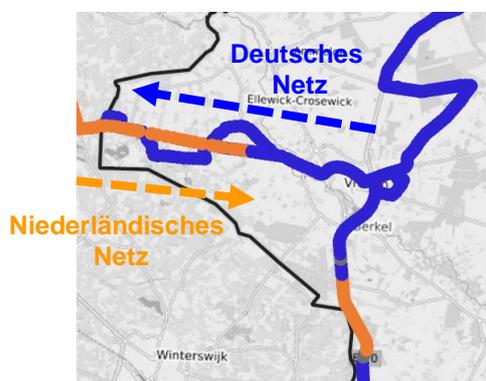


Abbildung 4-12: Illustration zum Netzwechsel abhängig von der Fahrtrichtung

In den niederländischen Netzen wurden bei LTE-Versorgung vorwiegend die Frequenzen im 800-MHz-Bereich detektiert, die auch in den deutschen Netzen verwendet werden. Insofern kann es zu gegenseitigen Störungen kommen. Vereinzelt wurden auch Frequenzen im 900- und 1800-MHz-Bereich detektiert.

Bei Telefonie-Messfahrten auf deutschem Gebiet kam es zu keinem Wechsel in ein niederländisches Netz. Zwar gab bei allen Netzbetreibern ein paar Phasen mit schlechterer Sprachqualität, aber nur bei einem Betreiber war ein einziger Abbruch der Verbindung zu beobachten. Um grenzüberschreitende Handover während eines Telefonats anzureizen, musste die Landesgrenze überschritten werden.

Handover zwischen Netzen unterschiedlicher Länder

Wie schon erwähnt, stellt der Wechsel zwischen den Netzen unterschiedlicher Länder bei einer bestehenden Verbindung, z.B. bei einem Telefonat, eine besondere Herausforderung dar. Ein solcher grenzüberschreitender Handover ist seit einiger Zeit für die Technologien 2G und 3G prinzipiell möglich und sollte daher bei Telefonie-Anwendungen funktionieren. Bei einzelnen, allerdings corona-bedingt eher exemplarischen Messungen wurde festgestellt, dass der Handover zwischen dem deutschen und dem niederländischen Netz in manchen Fällen, aber längst noch nicht zuverlässig erfolgt.

Bei 4G/LTE bestehen noch größere technische Herausforderungen, so dass dafür ein solcher Handover noch nicht implementiert ist.

Versorgung und Empfangspegel in Grenznähe

Im Vergleich zur gesamten Messroute war auf der Strecke in Grenznähe eine signifikante Abnahme der Versorgung zu beobachten, wie die Abbildung 4-13 zeigt. Dabei wurde die LTE-Versorgung auf der gesamten Messroute mit der auf dem grenznahen Anteil der Route verglichen, der durch die beiden grünen Punkte in Abbildung 4-12 begrenzt wird. Bei Vodafone fällt auf dem grenznahen Teil der Route die höherwertige LTE-Versorgung (H) auf unter 50 % und ist daher in dem Diagramm nicht angezeigt.

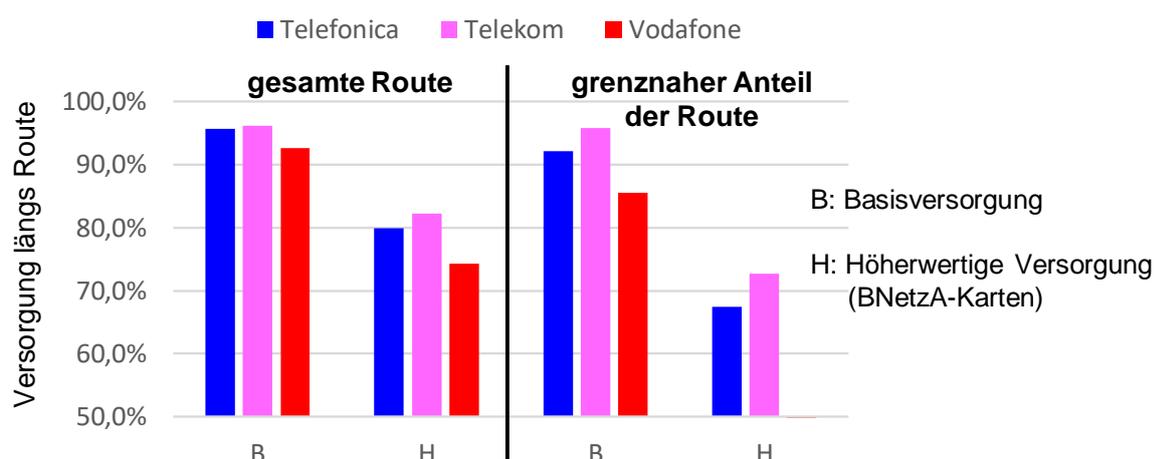


Abbildung 4-13: Vergleich der LTE-Versorgung in Grenznähe mit gesamter Messroute

4.6 Messungen an ausgewählten Orten

Die zuvor beschriebenen Messungen auf längeren Routen dienen dazu, einen Überblick über die Versorgungslage und mögliche Probleme und deren Ursachen im Münsterland zu erhalten sowie dazu Vergleiche mit anderen Quellen zu ziehen.

An manchen ausgewählten, als kritisch erachteten Orten wurde die Versorgungslage genauer untersucht, um daraus weitere Schlüsse zu ziehen und weitere Handlungsempfehlungen abzuleiten. Diese Orte wurden von den Beteiligten aus dem Partnerprojekt (Wirtschaftsförderungsgesellschaften, Kreisentwicklung, Gigabitkoordinator*innen aus dem Münsterland) genannt. Die Auswahl erfolgte auf Basis der Bedeutung dieser Orte und bekannten Rückmeldungen zu einer schwierigen Versorgungslage.

Ausgewählt wurden folgende Gebietstypen, wobei die Zahl Klammern die jeweilige Anzahl der untersuchten Orte angibt:

- touristisches Gebiet (1)
- verschiedene landwirtschaftliche Flächen (3)
- Industriegebiete (3)
- Wohngebiete (2) – Stadtrand, entlegener Ortsteil

An den Orten wurde jeweils an 2 – 4 unterschiedlichen Stellen mehrfach gemessen.

In diesem Abschnitt werden einige typische Effekte, die bei den Messungen beobachtet wurden, exemplarisch vorgestellt.

4.6.1 Messungen auf landwirtschaftlichen Flächen

Abbildung zeigt das Ergebnis von Messungen zur LTE-Versorgung auf einer landwirtschaftlichen Fläche für einen der Betreiber. Messungen zur Datenrate an drei verschiedenen Stellen im Außenbereich ergaben zweimal recht niedrige Datenraten von 1 – 2 Mbit/s im Downlink und einmal eine mäßige Datenrate von ca. 20 Mbit/s im Downlink. Bei den anderen beiden Betreibern sind die Datenratenmessungen ähnlich ausgefallen. Eine Art LTE-Basisversorgung ist also in dem Gebiet für den Außenbereich gegeben, fällt aber hinsichtlich der Datenrate deutlich niedriger aus als die geforderten 50 Mbit/s aus den Versorgungsaufgaben.

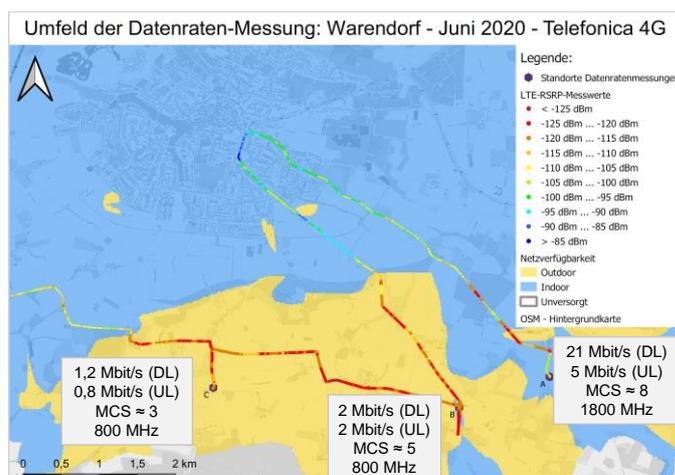


Abbildung 4-14: Empfangsqualität und Datenraten auf einer landwirtschaftlichen Fläche

Auf Basis der bei der Messung aufgezeichneten Modulations- und Codier-Schemata (MCS) und deren niedriger Werte kann man schließen, dass die Ursache eine schlechte Verbindungsqualität und nicht eine hohe Auslastung der Funkzellen in dem Gebiet war.

Telefonie war in dem untersuchten Bereich bei allen Netzbetreibern mit zufriedenstellender bis guter Qualität möglich.

Die Abbildung 4-14 zeigt noch einen Nebeneffekt: In den als „nur outdoor versorgt“ klassifizierten gelben Bereichen in der unterlegten Netzabdeckungskarte des Betreibers wurden sehr niedrige Empfangspegel auch für den Außenbereich gemessen. Zu erkennen ist dies an dem rot eingefärbten Teil der Fahrtroute durch das Gebiet. In dieser Weise in den Netzabdeckungskarten eingefärbte Bereiche sind also als eher schlecht versorgt zu beurteilen – auch im Außenbereich (was sich auch bei anderen Messungen gezeigt hat).

4.6.2 Messungen auf dem Gelände von Unternehmen

Das Ziel dieser Messungen war es, die Versorgungslage auf einem Firmengelände in verschiedenen Bereichen zu untersuchen, wie auf dem Außengelände, in einer Fertigungshalle sowie in einem Bürogebäude. Beispielhaft sind in Abbildung 4-15 die Messungen zu Datenraten im Unternehmen 2 dargestellt, bei dem die wesentlichen Effekte am deutlichsten zu Tage treten.

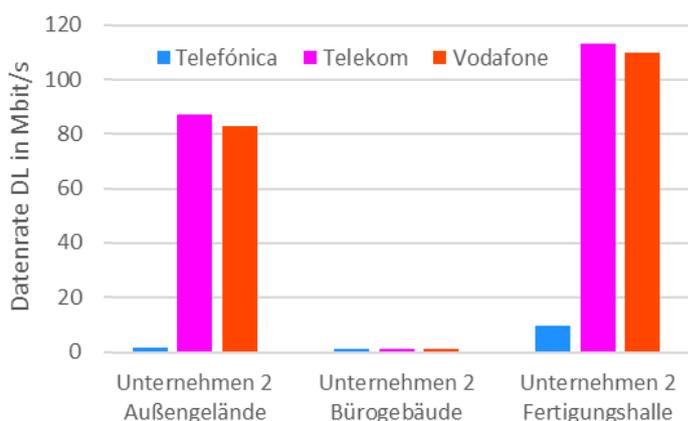


Abbildung 4-15: Messungen zu Datenraten (DL) auf dem Gelände eines Unternehmens

Zum Zeitpunkt der Messungen hatte das Unternehmen Mobilfunkverträge mit Telefonica geschlossen. Ein Blick auf die Netzabdeckungskarte zeigte, dass im Bereich des Unternehmens Schwierigkeiten bei der Indoor-Versorgung zu erwarten sind (und damit nach der Analyse aus dem vorhergehenden Abschnitt auch eine schlechte Outdoor-Versorgung).

Dies hat sich durch die Messungen bestätigt. Die anderen beiden Betreiber lieferten in Außenbereich und in der Fertigungshalle deutlich höhere Datenraten. Durch Abschattungen durch die Fertigungshalle war die Datenrate im Außenbereich sogar etwas geringer als in der Halle.

Im Büro war bei keinem der Betreiber eine Datenübertragung oder einer eine stabile Telefonieverbindung möglich. Ursache dafür sind Abschattungen durch die Halle, aber insbesondere die energetisch sanierte Gebäudehülle, deren Wärmeschutzverglasung die Funkwellen sehr stark dämpft.

Empfohlen wurde daher

- die Netzabdeckungskarten zu beachten und den Betreiber zu wechseln
- im Bürogebäude WLAN auszubauen (mit einem Gastzugang für Besucher) und mobile Telefonie über WLAN zu nutzen (siehe Abschnitt 5.1)

4.6.3 Messungen in Wohngebieten

Es wurden Messungen in zwei Wohngebieten durchgeführt.

In einer recht neuen Wohnsiedlung am Stadtrand von Ochtrup lagen die gemessenen Datenraten von 7 bis 85 Mbit/s im Downlink und von 2 bis 15 Mbit/s im Uplink in einem akzeptablen Bereich – ebenso wie die gemessenen Empfangspegel. Allerdings konnten diese Messungen Corona-bedingt nur im Außenbereich durchgeführt werden. In den Gebäuden könnte es vereinzelt schon Einschränkungen bei der Datenübertragung geben.

Kritischer war die Versorgungslage in Hembergen, einem abgelegenen, sehr ländlich geprägten Ortsteil von Emsdetten mit ca. 800 Einwohnern.

Besonders problematisch zeigte sich die Versorgungslage bei Vodafone (auch an der Netzabdeckungskarte zu erkennen). An zwei von drei Messorten war keine oder nur eine extrem schlechte Datenübertragung möglich, am dritten Ort lag sie in einem mäßigen Bereich. An verschiedenen Stellen war sogar eine Telefonieverbindung über GSM nicht möglich.

Bei der Telekom war zwar an alle drei Messorten eine Telefonieverbindung und auch eine Datenübertragung möglich, allerdings auch nur mit niedrigen Datenraten von 0,5 bis 1,5 Mbit/s (im Downlink im Außenbereich). Eindeutig die besten Versorgungsergebnisse lieferte Telefónica mit 40 bis 80 Mbit/s im Downlink und 7 bis 12 Mbit/s im Uplink.

Für die Bewohner dieses Ortes ist es also ratsam, die Netzbetreiber zu vergleichen und sich eine SIM-Karte des eindeutig besten Betreibers für dieses Gebiet anzuschaffen.

4.6.4 Messungen in einem grenznahen touristischen Gebiet

Bei dem Wasserschloss Anholt nahe der Grenze zu den Niederlanden im Kreis Borken handelt es sich um ein touristisch sehr beliebtes Ziel. Insofern ist eine gute Mobilfunkversorgung unerlässlich, auch wenn die Zahl der Haushalte in dem Umfeld sehr gering ist.

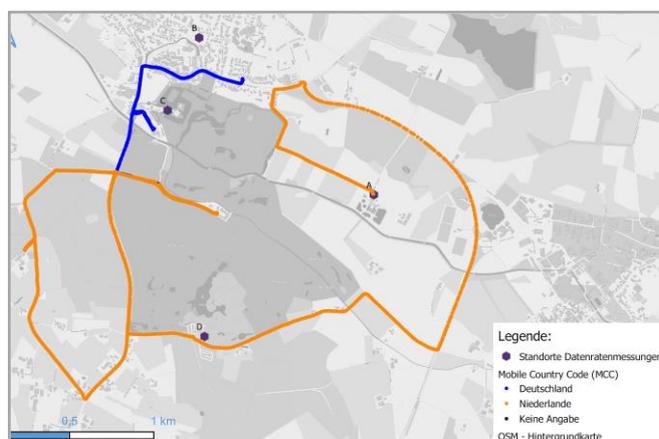


Abbildung 4-16: Illustration zur Netzwahl in Grenznähe

Eine besondere Herausforderung ist hier die Grenznähe, wie eine Überblicksmessung im Netz der Telekom zeigt. Auf einem Großteil der Strecke buchte sich das Endgerät im niederländischen Netz ein (orange gefärbter Routenanteil in Abbildung 4-16) und wechselte erst später bei den Datenratenmessungen an drei der vier Messorte in das Netz der Deutschen Telekom. Die Versorgungslage zeigte sich sehr heterogen mit Downlink-Datenrate von 2 Mbit/s am Punkt C (über 900 MHz) bis 130 Mbit/s am Punkt B (über 1800 MHz). Diese großen Unterschiede könnten auf die Zell- und Frequenzwahlmechanismen und –parameter zurückzuführen sein, bei denen der Betreiber Optimierungen vornehmen könnte.

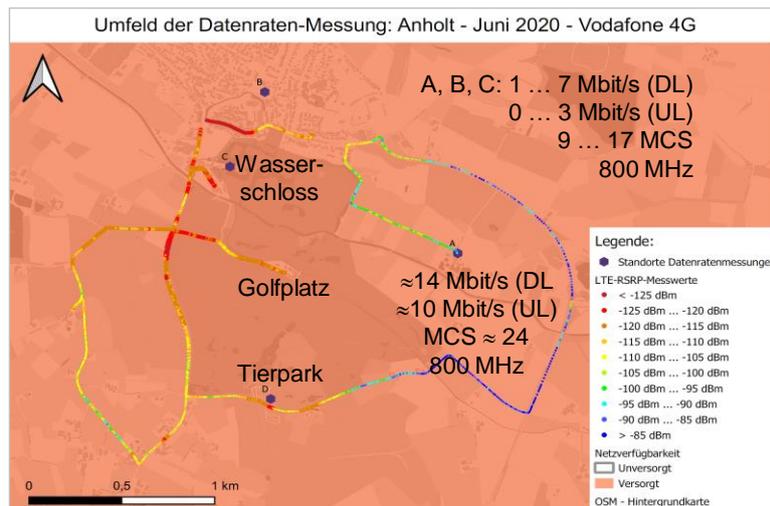


Abbildung 4-17: Empfangspegel und Datenraten in einem touristischen Gebiet (Beispiel)

Auch waren bei Vodafone lagen die Messergebnisse zu den Datenraten in einem geringen bis mäßigen Bereich (siehe Abbildung 4-17). Eindeutig die besten Ergebnisse wurden im Netz von Telefónica gemessen (Downlink-Datenraten zwischen 25 und 55 Mbit/s an allen vier Punkten).

Da die eintreffenden Besuchergruppen jedoch die Netze unterschiedlicher Betreiber nutzen, sollten die zuständigen Stellen in dem Kreis unbedingt Kontakt zu den Netzbetreibern suchen und auf die Dringlichkeit bei der Versorgung dieses Gebietes hinweisen (was inzwischen auch geschehen ist).

4.7 Abschließende Bewertung von Mobilfunkmessungen

4.7.1 Allgemeine Anmerkungen zu Mobilfunkmessungen

Messungen stellen eine probate und etablierte Methode dar, um die Mobilfunkversorgung in ausgewählten Bereichen beurteilen zu können. Wie die Untersuchungen in dieser Studie gezeigt haben, lassen sich damit abhängig von der Messmethode

- kritische Bereiche für Versorgung identifizieren,
- die Ursachen für eine schlechte Versorgung aufdecken,
- unabhängige Vergleiche zu anderen Quellen ziehen.

Aber auch wenn Messungen die tatsächlichen Gegebenheiten besser widerspiegeln als Netzabdeckungskarten, die auf zwar etablierten, aber theoretischen Berechnungen und Modellen beruhen, so gibt es doch auch einige Einschränkungen:

- Aus Aufwandsgründen können Messwerte nicht flächendeckend, sondern nur gezielt auf ausgewählten Routen bzw. an ausgewählten Orten durchgeführt werden.
- Einmalige Messungen erfassen nur einen Momentan-Zustand. Wegen des dynamischen Netzausbaus verlieren sie schnell ihre Aussagekraft.
- Auch Messungen können nur ansatzweise das Verhalten verschiedener Endgeräte und deren Nutzung nachvollziehen, so dass es auch Diskrepanzen zwischen Messergebnissen und dem Nutzerempfinden geben kann.

Möchte man die Analyse der Versorgungssituation durch Messungen untermauern, so sollten diese – wie in diesem Projekt geschehen – vorab sorgsam geplant und vorbereitet und die Routen gezielt ausgewählt werden.

4.7.2 Vergleich verschiedener Messmethoden

Für die ergänzende Analyse der Mobilfunkversorgung durch Messungen gibt es unterschiedliche Ansätze mit verschiedenen Vor- und Nachteilen. Diese werden im Folgenden kurz erörtert.

(A) Messung mit professioneller Multiband- und Multitechnologie-Scanner-Hardware (siehe z.B. [39])

Vorteile:

- Messwerte werden unter definierten Bedingungen mit etablierter und zuverlässiger Messtechnik erfasst.
- Empfangspegelwerte können bei einer Messfahrt gleichzeitig für alle Betreiber, Technologien und alle Frequenzbänder erfasst werden.
- Die Ergebnisse lassen sich am besten vergleichbar mit Output von Funknetzplanungstools bzw. lassen sich am besten in die Prozesse beim Netzbetreiber integrieren.

Nachteile:

- Fachkundiges Personal zur Bedienung der komplexen und kostenintensiven Messtechnik ist erforderlich (Beauftragung externer Unternehmen/Institutionen).
- Das Verhalten von Endgeräten lässt sich nicht direkt nachvollziehen.

(B) Messung mit professioneller Mess-und Analysesoftware auf handelsüblichen Smartphones

Hierbei handelt es sich um die Messmethodik, die für diese Studie verwendet wurde und die in Abschnitt 4.1 beschrieben ist.

Vorteile:

- Messwerte werden unter definierten Bedingungen mit etablierter und zuverlässiger Messtechnik erfasst.
- Verschiedene typische Nutzungsszenarien (Telefonie, Datenübertragung, Verhalten bei Grenzübertritt, ...) lassen sich untersuchen.
- Ursachen für Mängel lassen sich detailliert identifizieren.

Nachteile:

- Fachkundiges Personal zur Bedienung der komplexen und kostenintensiven Messtechnik ist erforderlich (Beauftragung externer Unternehmen/Institutionen).
- Für die Untersuchung mehrerer Szenarien, Betreiber und Frequenzbänder sind mehrere Messgeräte bzw. mehrere Messfahrten erforderlich.

(C) Crowd-basierte Messungen mit einfachen Apps auf handelsüblichen Smartphones

Diese Art der Messmethodik wurde zusammen mit einer komplexen Auswertung in der in Abschnitt 3.6 erläuterten Umlaut-Studie verwendet [15]. Im weiteren Sinne könnte man dazu auch Messungen mit der Funkloch-App der BNetzA zählen [32], deren Ergebnisse auf der zugehörigen Funklochkarte [31] dargestellt werden. Desweiteren gibt es zahlreiche frei verfügbare Apps wie z.B. „CellMapper“, bei der die Messergebnisse in Google Maps angezeigt werden [40].

Vorteile

- Viele Daten für viele Gebieten können kontinuierlich erfasst werden.
- Erfasste Daten kommen unter typischen Bedingungen zustande.

Nachteile:

- Die Randbedingungen (z.B. Typ und Nutzung des Geräts) für die Messergebnisse sind nicht bekannt.
- Es können keine gezielten Messungen vorgenommen werden.

(D) Messungen mit einfachen Apps auf handelsüblichen Smartphones durch ausgewählte Personen/Institutionen

Dieser Ansatz wird von der Kompetenzstelle Digitalisierung „Breitband und Mobilfunk“ im Landkreis Bad Kissingen (Bayern) verfolgt [41]. Dazu wurde ein „Mobilfunk-Messrucksack“ mit drei Smartphones zusammengestellt. Dieser wird in Fahrzeugen des Landkreises mitgeführt und sammelt permanent Daten zur Versorgung durch jeden der drei Netzbetreiber. Zur Anwendung kommt dabei die weit verbreitete App „CellMapper“, die auch eine Visualisierung der Messdaten erlaubt.

Vorteile:

- Kommunen/Kreise sind autark (keine Beauftragung erforderlich) bei den Messungen und können die zu vermessenden Gebiete gezielt festlegen.
- Erfasste Daten kommen unter typischen Bedingungen zustande.

Nachteile:

- Gegenüber professioneller Messtechnik stehen weniger Messdaten und Analysemöglichkeiten zur Verfügung.
- Die Analyse der Ergebnisse muss selbst vorgenommen werden.

Empfehlungen

Für sehr grundsätzliche Untersuchungen und bei konkreten, in näherer Zukunft umzusetzenden Projekten, bei denen die Versorgung in einem eng umrissenen Bereich zu prüfen ist, empfehlen sich Messungen mit professionellen Equipment, bei den Firmen oder Institutionen mit fachkundigem Personal beauftragt werden.

Für eine kontinuierliche und etwas großflächigere Überprüfung eines Gebiets einer Kommune oder Kreises ist die Methode (D) ratsam. Dabei ist seitens der zuständigen Institution zu prüfen, ob insbesondere die Auswertung und grafische Aufarbeitung der Messergebnisse selbst durchgeführt oder ein externes Unternehmen damit beauftragt werden sollte, die zugehörige Plattform zu betreiben.

5 Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel sind die wichtigsten Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung zusammengefasst, die sich aus den Untersuchungen im Projekt ergeben haben.

Der Abschnitt 5.1 enthält mehrere Hinweise für Endkunden – sei es private oder unternehmerische Endkunden –, wie sie selbst durch eigenes Handeln in manchen Situationen ihre Mobilfunkversorgung verbessern können. Untermauert sind die Hinweise mit Ergebnissen aus dem Projekt. Sie wurden intensiv mit den Beteiligten in dem Partnerprojekt „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ diskutiert und erörtert und fließen dort in die „Handreichungen für Unternehmen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im Einzelfall“ ein [5].

Aus den Gesprächen mit den Beteiligten aus dem Kooperationsprojekt, mit Vertretern der Netzbetreiber sowie mit anderen Akteuren aus dem Mobilfunkumfeld haben sich mehrere Handlungsfelder ergeben, von denen einige auch in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung erörtert werden.

Die entsprechenden Handlungsfelder sind in Abschnitt 5.2 aus der Sicht der Autoren dieser Studie in allgemeiner Form zusammengefasst. Konkreter und im Detail beschrieben werden sie in den „Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand“, die im Rahmen des Projekts „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ entstanden sind.

5.1 Empfehlungen für Unternehmen und Endkunden

In diesem Kapitel sind einige Hinweise für Endkunden – sei es private oder unternehmerische Endkunden – zusammengefasst, wie sie durch eigenes Handeln in manchen Situationen ihre Mobilfunkversorgung verbessern können. Zu betonen ist, dass sich mit den empfohlenen Maßnahmen bei Weitem nicht alle Probleme lösen lassen, aber bei einigen Szenarien doch substantielle Verbesserungen erzielt werden können. Sie sollten daher als Ergänzung, jedoch nicht als Ersatz für einen erforderlichen Netzausbau durch die Betreiber verstanden werden.

Passenden Vertrag wählen:

- Die 4G/LTE-Nutzung sollte Bestandteil des Vertrages sein. In Zukunft – wenn der entsprechende Netzausbau vorangeschritten ist – sollte auch 5G enthalten sein,
- 4G/LTE ist von seiner Leistungsfähigkeit eindeutig besser einzuschätzen als 3G/UMTS. Zudem ist seit einigen Jahren die Versorgungslage bei 4G/LTE i.A. deutlich besser, wie auch Analysen in dieser Studie zeigen.
- 3G/UMTS wird Mitte (Telekom, Vodafone) bzw. Ende (Telefónica) des Jahres 2021 abgeschaltet. Kunden ohne bisherige LTE-Option werden automatisch für LTE freigeschaltet bzw. werden informiert und bekommen eine LTE-SIM-Karte zugesandt.
- Ein hinreichendes Datenvolumen sollte vereinbart werden.

- Der geeignete Betreiber ist auszuwählen. Die Wahl sollte nicht nur auf Basis des Preises, sondern auf Basis des Netzausbaus in den für den Nutzer relevanten Regionen getroffen werden.
- Netzabdeckungskarten der Betreiber bzw. Versorgungskarten der Bundesnetzagentur können erste Hinweise liefern, müssen aber richtig interpretiert werden (siehe Kapitel 3.2 und 3.3).

Dual-SIM-Geräte mit zwei SIM-Karten von unterschiedlichen Netzbetreibern verwenden.

- Es gibt Bereiche, in den ein Betreiber keine Versorgung gewährleistet, aber ein anderer. Der Bereich der „Funklöcher“ kann so deutlich verringert werden.
- Laut BNetzA-Karten reduziert sich beispielsweise im Hochsauerlandkreis der Anteil der Fläche ohne LTE-Versorgung für den besten Betreiber von 14,3 % bei Hinzunahme eines weiteren Betreibers auf ca. 10 % und darunter.
- Verbesserungen sind aber nur bei stationärer Nutzung bzw. bei einer Nutzung, bei der nur von Zeit zu Zeit der Standort gewechselt wird, zu erzielen, nicht aber z.B. bei Telefonie im Fahrzeug, da die Verbindung nicht automatisch von einem auf den anderen Betreiber weitergereicht wird.

Leistungsfähiges Endgerät wählen

- Für 4G/LTE sollten die folgenden Bänder vom Endgerät unterstützt werden: 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz und 3500 MHz (Datenblätter beachten). Neuere Endgeräte sind dafür i.A. gerüstet.
- 5G wird in Deutschland – je nach Betreiber – in den Frequenzbereichen 700 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz und 3500 MHz realisiert. Da 5G derzeit nur in Kombination mit LTE realisiert ist, muss das Endgerät mehrere Kombinationen aus einer sogenannten LTE-Ankerfrequenz und einer 5G-Frequenz unterstützen. Viele Endgeräte leisten dies jedoch noch nicht.
- Telefonie über LTE (Voice over LTE, VoLTE) und mobiles Telefonieren über Wireless LAN (WLAN Call bzw. WiFi Calling) sollte unterstützt werden. In den Einstellungen des Endgeräts ist zu überprüfen, ob diese Merkmale aktiviert sind. Ältere Endgeräte bieten diese Leistungsmerkmale vielfach nicht.

Telefonie im Fahrzeug

- Falls das Fahrzeug eine für den Mobilfunk vorgesehene Außenantenne besitzt, so sollte diese unbedingt verwendet werden.
- Eigene Test zeigen, dass ohne Außenantenne die Anbringung des Smartphones in einer Halterung am Armaturenbrett vielfach deutliche Vorteile bietet gegenüber z.B. einer Lagerung in der Mittelkonsole, der Jackentasche oder dem Rücksitz.
- Falls keine Außenantenne im Fahrzeug verbaut ist, ist es provisorisch möglich Magnetfußantennen auf dem Fahrzeugdach anzubringen und das Antennenkabel durch ein Fenster ins Innere zu führen. Dabei bestehen zwei Anschlussmöglichkeiten:
 - Es kann an einen passiven Antennenkoppler angeschlossen werden, auf den man das Smartphone auflegt. Da es sich um einen passiven Koppler handelt,

der das Signal nicht verstärkt, sind Vorteile nur bei Fahrzeugen zu erwarten, die das Signal von Außen stark abschirmen (verspiegelte Scheiben).

- Es wird an einen LTE-Router angeschlossen. Im Innenraum wird das Signal über WLAN weitergeleitet (WLAN Call / WiFi Calling). Bei ersten Tests zeigte diese Methode bessere Ergebnisse als die Verwendung eines passiven Antennenkopplers. Allerdings ist dies durch den erforderlichen LTE-Router, der zudem eine weitere SIM-Karte benötigt, mit höheren Kosten verbunden.
- Bei guten Empfangsbedingungen bietet die Telefonie über LTE (VoLTE) zwar eine bessere Sprachqualität. Dennoch kann es bei der Telefonie über längere Strecken, bei der es in der Vergangenheit vielfach zu Gesprächsabbrüchen gekommen ist, hilfreich sein, in den Einstellungen des Smartphones den Netzmodus auf „nur 2G/GSM“ zu stellen. Ohne Technologiewechsel ist das Risiko scheiternder Handover (Zellwechsel) geringer. Im Anschluss muss daran gedacht werden, wieder alle Netzmodi freizugeben.

Versorgung im Gebäude oder auf dem Firmengelände

- Wärmeschutzverglasung (verspiegelte Scheiben), metallische Gebäudehüllen und Stahlbetondecken können die Mobilfunkwellen stark abschirmen.
- Ein eigenes WLAN kann zusammen mit der Nutzung von WLAN Call (bzw. WiFi Calling) die Versorgungslage verbessern. Für Besucher empfiehlt sich ein gesonderter Gastzugang.
- Netzbetreiber bieten zum Teil Repeater-Lösungen an, bei denen das Mobilfunksignal mit einer Antenne im Außenbereich aufgenommen und mit einer anderen im Innenbereich verstärkt wiedergegeben wird. Für solche Repeater sollte man nur auf die Lösungen der Netzbetreiber zurückgreifen, aber nicht auf Bestellungen von Equipment im Internet. Insgesamt geht der Trend bei Versorgung der Innenbereiche mehr in Richtung von WLAN als in Richtung der Repeater.
- Für größere Firmen bieten die Betreiber besondere Lösungen zur Versorgung des Firmengeländes sowie Angebote für 5G-Campusnetze.

Hinweise bei der Detektion von Störungen

- Bei Telefonaten mit schlechter Sprachqualität sollte man die Verbindung nicht selbst frühzeitig beenden, sondern einige Zeit (20 bis 30 Sekunden) warten, bis die Verbindung endgültig abgerissen ist. Nur dann werden Abbrüche in der Betriebszentrale des Netzbetreibers registriert.
- Die Art der Störung sollte zusammen mit dem Ort möglichst genau erfasst werden und an die Hotline des jeweiligen Netzbetreibers übermittelt werden.
- Ferner bietet die BNetzA ein „Kontaktformular Kundenschutz Telekommunikation“, über das man Anliegen klären kann, die sich über den Netzbetreiber nicht lösbar waren.

Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) und Internet-of-Things-Anwendungen (IoT)

- Für diese Art der Anwendungen bieten Netzbetreiber gesonderte Lösungen an, die man auf deren Internetseiten findet: [42], [43], [44].

5.2 Empfehlungen für die öffentliche Hand

In den vergangenen Jahren hat es bereits deutliche Fortschritte beim Ausbau der Mobilfunknetze gegeben. In den kommenden Jahren wird dieser noch deutlich weiter voranschreiten aufgrund folgender Punkte:

- Mit 5G wird eine Technologie eingeführt, die sich von ihrer Leistungsfähigkeit gegenüber dem heutigen Stand noch deutlich weiterentwickeln wird. Um diese auch umzusetzen zu können, ist eine Vielzahl neuer Standorte erforderlich.
- Zudem werden voraussichtlich 2022/23 neue Frequenzen versteigert. Für die entsprechende Vergabe sind erhöhte Auflagen auch zur Flächenversorgung in dünn besiedelten Gebieten zu erwarten.
- Bis Ende 2022 müssen die durchaus anspruchsvollen Versorgungsaufgaben aus der Frequenzauktion 2019 erfüllt werden.
- Die Mobilfunknetzbetreiber haben Kooperationen geschlossen, um einige weiße und graue Flecken durch die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur effizienter zu schließen.
- Es wurden politische Initiativen ergriffen wie die Mobilfunkstrategie der Bundesregierung [14], der Mobilfunkpakt NRW [45] bzw. Förderungsstrategien in anderen Bundesländern [46] [47] [48] [49], um den Mobilfunkausbau voranzutreiben und weitere weiße Flecken zu schließen.

Daher sollten Kreise und Kommunen kurzfristig die Initiative ergreifen, um sich durch „Know-how“ und entsprechende Stellen mit der nötigen Fachkompetenz in diese Prozesse einzubringen.

Man wird zwar auf kommunaler oder Kreis-Ebene nicht die langfristigen Ausbaustrategien der Netzbetreiber beeinflussen können. Als Wirtschaftsunternehmen bauen die Betreiber zunächst in den Bereichen aus, in denen es sich für sie ökonomisch lohnt und bei denen sie möglichst effizient die Versorgungsaufgaben erfüllen. Die Versorgung dünn besiedelter Gebiete verursacht Kosten (selbst dann, wenn die passive Infrastruktur zur Verfügung gestellt wird), ohne dass zusätzliche Kunden und damit zusätzliche Einnahmen generiert werden.

Aber dennoch kann man – wie Beispiele aus dem Münsterland und im Projekt erfolgte Gespräche mit den Netzbetreibern zeigen – in Einzelfällen für einen beschleunigten Ausbau und für eine substantielle Verbesserung sorgen.

Aus den Gesprächen mit den Beteiligten aus dem Kooperationsprojekt, mit Vertretern der Netzbetreiber sowie mit anderen Akteuren aus dem Mobilfunkumfeld haben sich mehrere Handlungsfelder ergeben, von denen einige auch in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung erörtert werden.

Die entsprechenden Handlungsfelder sind im Folgenden aus der Sicht der Autoren der vorliegenden Studie in allgemeiner Form zusammengefasst. Konkreter und im Detail beschrieben werden sie in den „Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand“, die im Rahmen des Projekts „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ entstanden sind, mit dem es eine intensive Kooperation gab.

Eingehende Analyse der Versorgungssituation vor Ort

Diese Analyse kann auf Basis der in Kapitel 3 erläuterten Quellen und Methoden geschehen – insbesondere im ersten Schritt auf Basis der Netzabdeckungskarten, wobei sowohl die der Netzbetreiber selbst, aber auch die der Bundesnetzagentur betrachtet werden sollten. Ferner sollten die Daten herangezogen werden, die voraussichtlich von der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft zu den Ausbauabsichten der Netzbetreiber im Rahmen der Mobilfunkvorausschauverordnung erhoben werden [50]. Dazu gehören u.a. die geografischen Koordinaten der geplanten Standorte, die dort zu installierenden Technologien und Frequenzbereiche sowie die zu erwartende Netzabdeckung.

In Einzelfällen – bei unklarer Lage – können Ergebnisse aus einer beauftragten Messkampagne oder aus Messungen mit einfachen Smartphone-Apps durch ausgewählte Personen/Institutionen (siehe Abschnitt 4.7) unterstützen.

Zusätzlich können Meldungen aus der Bevölkerung bzw. aus Unternehmen gesammelt, klassifiziert und geografisch zugeordnet werden, um kritische Bereiche zu identifizieren.

Ferner müssen durch genaue Ortskenntnisse die Gebiete erfasst werden, für die es besondere Bedarfe für die Mobilfunkversorgung gibt, gerade, wenn sie nicht im Fokus der Versorgungsaufgaben liegen. Dazu gehören touristische Ziele, Industriegebiete, kleinere abgelegene Ortschaften, land- und forstwirtschaftliche Flächen sowie wichtige Kreis- und Gemeindestraßen und Wirtschaftswege.

Unterstützung der Netzbetreiber bzw. Tower Companies bei der Standortsuche sowie Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigungsverfahren

Die Netzbetreiber berichteten in den Gesprächen von Problemen, geeignete neue Standorte für Mobilfunksendeanlagen zu akquirieren. Ferner dauert es von der Planung bis zur Errichtung einer solchen Anlage durchschnittlich 2 Jahre, was auf eine Vielzahl einzuholende Genehmigungen und Ausnahmen zurückzuführen ist, bei denen Kommunen die Regelungen zum Teil unterschiedlich anwenden.

Zur Verbesserung der Situation werden in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung einige Punkte genannt, die in der Verantwortung des Bundes bzw. der Länder liegen [14]. Dazu gehören Vereinfachungen bzw. Modifikationen bei Bauplanungsrecht (Bauleitplanung), dem Bauordnungsrecht sowie bei den Standortbescheinigungs- und Grenzkoordinierungsverfahren [24]. Ferner werden einige geeignete Liegenschaften im Verantwortungsbereich des Bundes und der Länder identifiziert (z.B. Straßenmeistereien, BOS-Masten).

Auf der Ebene der Kreise und Kommunen kann dieser Prozess unterstützt werden durch z.B.

- weniger Restriktionen bei der Bauleitplanung und bei Satzungen bzw. durch die Berücksichtigung von Mobilfunkbedarfen bei der Bauleitplanung
- durch Unterstützung bei Baugenehmigungen durch eine verbesserte Koordination

Ferner sollten eigene Liegenschaften identifiziert und in GIS-basierten Liegenschaftskatastern erfasst werden, die sich für Mobilfunksendeanlagen in bisher unversorgten bzw. schlecht versorgten Gebieten eignen. Das Vorhandensein eines

Glasfaseranschlusses ist dabei ein wesentlicher Aspekt (siehe Abschnitt 2.1). Zudem könnten auch Unternehmen oder Privatpersonen angesprochen werden, bei Interesse geeignete Liegenschaften anzubieten.

Für die zentrale Erfassung von Infrastrukturen (Liegenschaften, Leerrohre, Masten, Straßenlaternen, ...), die für den Breitband- und Mobilfunkausbau genutzt werden können, betreibt die BNetzA den Infrastrukturatlas [51].

Kooperation mit den Netzbetreibern aufbauen

Aus Sicht der Netzbetreiber, aber auch aus Sicht der Kommunen und Kreise ist eine strukturierte, kontinuierliche Kommunikation miteinander mit klar definierten Zielen und festen fachkompetenten Kontaktpersonen äußerst erstrebenswert und förderlich für den weiteren Netzausbau. Für eine erfolgreiche und vertrauensvolle Kooperation ist es wichtig, dass

- die Kontakte kontinuierlich und langfristig gepflegt werden
- die tatsächlichen Bedarfe bzw. Randbedingungen transparent und offen ausgetauscht werden

um zu einem gegenseitigen Verständnis zu gelangen.

In den institutionalisierten Gesprächen mit den Netzbetreibern sollten die Analysen zur Versorgungssituation vor Ort zusammen mit priorisierten Vorschlägen zu möglichen Mobilfunkstandorten eingebracht und mit den Ausbauplänen der Netzbetreiber abgeglichen werden.

Kommunikation mit Bürgern und Unternehmen

Zu diesem Thema beabsichtigt die Bundesregierung in ihrer Mobilfunkstrategie, eine auf mehrere Jahre angelegte Kommunikationsinitiative in die Wege zu leiten [14]. Im Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern soll dabei transparent und neutral über die wichtigsten Entwicklungen im Mobilfunk informiert werden. Zu den zu kommunizierenden Themen gehören technische Fragestellungen, Anwendungsfelder und Möglichkeiten neuer Technik sowie die gesellschaftlichen Auswirkungen und mögliche gesundheitliche Aspekte (Sorge um Strahlenbelastung verhindert die Errichtung von Sendeanlagen).

Dieser Prozess kann und sollte auf kommunaler Ebene bzw. Kreis-Ebene unterstützt und begleitet werden, wie sich in diesem und dem Kooperationsprojekt gezeigt hat, und zwar durch

- Aufklärung zu den technischen Zusammenhängen im Mobilfunk (siehe Kapitel 2)
- Informationen über die tatsächliche Versorgungslage in den betroffenen Gebieten und die weiteren Ausbauabsichten
- Hinweise für Endkunden zur Verbesserung der eigenen Versorgungslage (siehe Abschnitt 5.1)
- Aufklärungsarbeit zu den Auswirkungen elektromagnetischer Felder und den zugehörigen Richtlinien

Gerade der letzte Punkt ist wichtig, um Hemmnisse bei der Errichtung neuer Standorte zu beseitigen, wie die Netzbetreiber in den Gesprächen berichteten. Aus Sorge um die

Strahlenbelastung entstehen vermehrt Bürgerinitiativen zur Verhinderung neuer Standorte. Durch entsprechende Aufklärungskampagnen besteht die Chance, diese Sorgen zu vermindern. Neutrale Informationen zur Auswirkung elektromagnetischer Felder stellt das Bundesamt für Strahlenschutz bereit und bietet darüber hinaus auch Online-Sprechstunden für kommunale Bedienstete an [52].

Ferner sind in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung [14] „Clearing-Stellen“ angekündigt, die Dialog-Formate (Aufklärungskampagnen) in Kooperation mit den Kommunen koordinieren sollen.

Kooperation mit der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft aufbauen

Im Rahmen der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung wurde Ende 2020 die Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft (MIG) mit Sitz in Naumburg (Sachsen-Anhalt) gegründet [53]. Die MIG soll insbesondere das vom Bund aufgelegte Förderprogramm im Umfang von 1,1 Milliarden Euro betreuen, mit dem ca. 5000 Standorte in unversorgten Bereichen errichtet werden sollen, in den keine privaten Ausbaupläne bestehen und für die keine Versorgungsaufgaben zu erfüllen sind. Anfang 2021 befand sich dieses Programm im Notifizierungsprozess bei der Europäischen Kommission.

Der MIG kommen u.a. die folgenden Aufgaben zu:

- Erfassung der aktuellen Versorgungssituation, von öffentlichen Liegenschaften und mitnutzbaren Infrastrukturen
- Festlegung von Suchkreisen in Förderprojekten für mögliche Mobilfunk-Standorte im Dialog mit den Netzbetreibern
- Abstimmung von Nutzungsbedingungen und Musterverträgen
- Unterstützung von Kommunen bei der Schließung weißer Flecken mit Fördermitteln des Bundes in weitgehend standardisierten Prozessen
- Koordinierung von privatwirtschaftlichen und geförderten Ausbauaktivitäten in einem institutionalisierten Austausch mit Netzbetreibern, Ländern und Kommunen

Ferner wird in der Breitbandstrategie der Bundesregierung ein Förderprogramm erwähnt, um die Land- und Forstwirtschaft beim Aufbau von 5G-Campusnetzen im Bereich von 3,7 – 3,8 GHz und damit bei der Digitalisierung in ihrem Bereich zu unterstützen [14].

Kommunen und Kreise sollten sich gründlich auf das zu erwartende Förderprogramm vorbereiten und frühzeitig die zu versorgenden Gebiete identifizieren. Ferner ist zu hinterfragen, wie „weiße Flecken“ bzw. „unversorgte Gebiete“ definiert sind bzw. identifiziert werden. Wie die vorliegende Studie gezeigt hat, ist im Münsterland lt. Netzabdeckungskarten der BNetzA die Mobilfunkversorgung äußerst gut, und weiße Flecken sind kaum vorhanden (siehe Abschnitt 3.3.2). Dennoch konnten deutliche Probleme bei der Mobilfunkversorgung identifiziert werden.

Einrichtung einer Stelle „Mobilfunkkoordination“

Angesichts der zuvor genannten vielfältigen Aufgaben und des sehr komplexen Problems der Mobilfunkversorgung ist die Einrichtung einer gesonderten Stelle zur „Mobilfunkkoordination“ unerlässlich. Auch die Mobilfunkstrategie der Bundesregierung

schlägt die Etablierung eines „Mobilfunklotsens“, der für die Abstimmung zwischen Netzbetreibern und Kommunen zuständig ist, als Stelle vor. Eine alleinige Ansiedlung einer solchen Stelle auf Landesebene wäre zu kurz gegriffen, da eine genaue Kenntnis der Situation vor Ort unbedingt erforderlich ist. Daher ist sehr dafür zu plädieren, eine Stelle „Mobilfunkkoordination“ auf der Ebene der Kreise oder der Ebene einer Region (wie z.B. der Region Südwestfalen mit den Kreisen Hochsauerland Kreis, Märkischer Kreis, Olpe, Siegen-Wittgenstein und Soest) einzurichten.

6 Zusammenfassung und Fazit

Projektdurchführung

In dem vom Ministerium für Umwelt Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Projekt „Untersuchungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im ländlich geprägten Raum“ wurde anhand verschiedener externer Quellen und einer umfangreichen eigenen Messkampagne die Mobilfunkversorgung für die ländlich geprägte Modellregion „Münsterland“ – bestehend aus den Kreisen Borken, Coesfeld, Steinfurt und Warendorf sowie der Stadt Münster – eingehend analysiert.

Ausgehend von den konkreten Analyseergebnissen für das Münsterland als Beispiel wurden die allgemeinen Konsequenzen herausgearbeitet, die sich auch auf andere ländlich geprägte Räume übertragen lassen.

Bei der Durchführung des Projekts gab es eine enge und intensive Kooperation mit den zuständigen Personen aus den Wirtschaftsförderungs- bzw. Entwicklungsgesellschaften sowie den Gigabitkoordinator*innen der Region, die an einem verwandten, aber separaten Projekt „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ gearbeitet haben, das ebenfalls vom MULNV NRW gefördert wurde.

Die Kooperation hat den Fortschritt beider Projekte sehr befördert, da sich verwaltungstechnische Kenntnisse sowie die Kenntnisse aus den Erfordernissen und der Situation zur Mobilfunkversorgung in der Region mit der eingehenden mobilfunktechnischen Fachkompetenz der Fachhochschule Südwestfalen als wirtschaftlich neutraler Instanz sehr gut ergänzt haben. Dies zeigte sich insbesondere in den gemeinsamen Treffen und Diskussionen mit verschiedenen Akteuren im Bereich Mobilfunk (Netzbetreiber, Tower Companies, Bundesnetzagentur, ...) sowie bei den Webinaren zum Ergebnistransfer.

Zudem bildeten die Ergebnisse aus der Unternehmensumfrage aus dem Projekt „Aufklärungskampagne“ einen Ausgangspunkt für die Analysen des vorliegenden Projekts. Umgekehrt dienen die Untersuchungsergebnisse des vorliegenden Projekts als Basis für Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung sowohl für Mobilfunk-Endkunden einerseits – und hier insbesondere für Unternehmen – als auch für die öffentliche Hand andererseits.

Ergebnisse aus einer Vorbetrachtung

Im ersten Schritt wurde der Begriff der „Mobilfunk-Versorgung“ ausführlich diskutiert. Dabei wurden die Versorgungsaufgaben aus den Frequenzauktion und der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung kritisch hinterfragt. In Bezug auf die geforderten Datenraten (von z.B. 50 Mbit/s) ist zu betonen, dass es sich um Datenraten handelt, die einem Haushalt prinzipiell zur Verfügung stehen sollen. In der Praxis kann sie jedoch aufgrund verschiedener Effekte – die zum Teil im Umfeld des Nutzers liegen – deutlich geringer ausfallen und zeitlich stark schwanken. Insofern kann die individuell wahrgenommene Versorgungslage von der in Netzabdeckungskarten angegebenen abweichen, selbst wenn diese seriös erstellt und seitens der Bundesnetzagentur messtechnisch überprüft wurden.

Ergebnisse aus der Analyse verschiedener Quellen zur Mobilfunkversorgung

Im zweiten Schritt wurden verschiedene externe (zumeist öffentlich zugängliche) Quellen in Hinblick auf ihre Eignung zur Beurteilung der Mobilfunkversorgung untersucht.

Sowohl Endkunden als auch Kommunen und Kreise sollten die Netzabdeckungskarten der Netzbetreiber und der Bundesnetzagentur zur Identifikation von Versorgungslücken heranziehen, auch wenn diese Karten tendenziell ein zu optimistisches Bild liefern. So wurde für das Münsterland eine 4G/LTE-Flächenversorgung (im Außenbereich) von 96 – 100 % ermittelt (je nach Karte und Betreiber), die nach Flächennutzung und Straßentyp aufgeschlüsselt wurde. In eher bergigeren ländlichen Regionen liegt die 4G/LTE-Flächenversorgung nur bei 70 – 90 %. Bei der Interpretation der Karten sollte man davon ausgehen, dass auch in der näheren Umgebung der Versorgungslücken mit einer schlechten Versorgung zu rechnen ist.

Sinnvoll ist es, beide Typen von Karten (Karten der Betreiber und der Bundesnetzagentur) zu betrachten, da sich die Angaben – wie sich in der Analyse herausgestellt hat – aufgrund verschiedener Kriterien für die Versorgung an einigen Orten unterscheiden können.

Die Karten der Bundesnetzagentur sind einfacher in ein eigenes GIS zu integrieren und statistisch auszuwerten. Für die Karten der Netzbetreiber wurde dazu ein aufwändiges Verfahren erarbeitet. Netzbetreiber und Bundesnetzagentur sollten die Kriterien für die Versorgung für die Nutzer transparenter machen und – wenn möglich – auch Abstufungen zur Versorgung in die Karten integrieren.

Etwa die Hälfte aller Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage konnten mit den in den Netzabdeckungskarten als unversorgt klassifizierten Gebiete bzw. deren näherer Umgebung in Zusammenhang gebracht werden. Daher ist es sinnvoll, den Ausbau in diesen Bereich zu forcieren.

Im Projekt wurde eine Methode entwickelt, die es Kommunen und Kreisen auf dieser Basis ermöglicht, Bereiche für Liegenschaften für lohnenswerte neue Standorte zu identifizieren.

Eine sinnvolle Ergänzung zur Beurteilung der Versorgungslage stellt die Standort-Datenbank der Bundesnetzagentur dar. Zwar wurde im Projekt ein komplexes Verfahren entwickelt, um die relevanten Daten aus den PDF-Dateien zu extrahieren und diese dann in einer gut zu verarbeitenden Datenstruktur abzulegen, doch sind die Daten aktuell nicht nutzbar (Daten z.T. nicht aktuell bzw. fehlerhaft, rechtliche Lage unklar).

Seitens der Landes- und Bundespolitik sollte dem Prozess Nachdruck verliehen werden, dass den Kommunen und Kreisen diese Daten in gut strukturierter Form zusammen mit den im Rahmen der Mobilfunkvorausschauverordnung erhobenen Daten zu den Ausbauabsichten der Netzbetreiber zur Verfügung gestellt werden.

Ergebnisse aus der eigenen Messkampagne

Ein zentrales Anliegen des Projekts bestand darin, anhand von Messungen ein eigenes, möglichst objektives Bild der Versorgungslage zu gewinnen, die Störmeldungen aus der Umfrage nachzuvollziehen, kritische Bereiche und deren Ursachen zu identifizieren sowie die Analysen der externen Quellen an den Messergebnissen zu spiegeln.

Mit einem professionellen Mess- und Analysetool installiert auf handelsüblichen Smartphones, das auch bei Netzbetreibern im Einsatz ist, wurden verschiedene Anwendungsszenarien (Technologie-Verfügbarkeit, LTE-Versorgung, Telefonie) auf Routen von insgesamt 1200 km untersucht. An mehreren ausgewählten, als kritisch erachteten Orten wurde die Versorgungslage genauer untersucht, um daraus weitere Schlüsse zu ziehen und weitere Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Bei der Auswahl der Messrouten und Orte wurden die Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage und weitere Hinweise seitens der Beteiligten aus dem Partnerprojekt berücksichtigt. Die Auswahl erfolgte auf Basis der Bedeutung dieser Orte und bekannten Rückmeldungen zu einer schwierigen Versorgungslage.

Auf Basis der Messungen lassen sich folgende zentrale Aussagen treffen:

Längs der Messroute, die durch eher kritische Bereiche verlief, war eine LTE-Basisversorgung von 92 – 97 % zu verzeichnen. Legt man eine höherwertige LTE-Versorgung zugrunde (Kriterium gemäß BNetzA), so sinkt längs der Fahrtroute die Versorgung auf 74 – 82 %. Die Werte gelten für den Außenbereich. In Gebäuden längs der Fahrtroute sind deutlich niedrigere Werte zu erwarten.

Vergleicht man die Messwerte mit den Netzabdeckungskarten, so ist Folgendes zu konstatieren: Für die Routenanteile außerhalb der laut Netzabdeckungskarten nicht oder schlecht versorgten Gebiete sinkt der Prozentsatz schlechter Pegelwerte, ist aber dennoch nicht vernachlässigbar. Ein schlechter Empfang wurde also auch in als eindeutig versorgt angegebenen Bereichen detektiert.

Im Vergleich zur gesamten Messroute war auf einer Teilstrecke in Grenznähe eine signifikante Abnahme der Versorgung zu beobachten.

Die Messrouten führte an gut einem Drittel der Störmeldungen aus der Unternehmensumfrage vorbei. Von diesen konnten knapp 50% durch die Messungen bestätigt werden.

Bei den Unternehmensumfragen wurden vielfach Mängel bei der mobilen Telefonie genannt. Obwohl mit handelsüblichen Endgeräten ohne besondere Zusatzmaßnahmen telefoniert wurde, konnten keine übergroßen Mängel festgestellt werden. Zwar gab es auf den Messrouten von mehr als 800 km pro Betreiber ca. 7 – 9 Bereiche mit schlechterer Sprachqualität, aber insgesamt ist das Ergebnis als gut bis zufriedenstellend zu beurteilen.

Die guten Ergebnisse zur Telefonie aus den eigenen Messungen gehen konform mit den Angaben zur 2G/GSM-Versorgung aus den Netzabdeckungskarten der Netzbetreiber und der BNetzA: Für das Münsterland ist sie besser als 99,9%. In anderen ländlichen Regionen (z.B. im Hochsauerlandkreis) ist die 2G/GSM-Netzabdeckung eindeutig geringer. Insofern ist in diesen Regionen eine schlechtere Telefonie-Versorgung verbunden mit mehr Gesprächsabbrüchen zu erwarten.

Bei einzelnen, allerdings corona-bedingt eher exemplarischen Messungen wurde festgestellt, dass der Handover (Wechsel während eines Telefonats) zwischen dem deutschen und dem niederländischen Netz in manchen Fällen, aber längst noch nicht zuverlässig erfolgt.

Empfehlungen

Insgesamt ist folgendes zu konstatieren: In Bezug auf die Güte der Versorgung stellt sich die Lage aus den Netzabdeckungskarten besser dar als die aus den Messungen und diese wiederum besser als die aus der Umfrage. Diskrepanzen sind zum Teil deutlich. Daher sollten für eine umfassende Beurteilung der Versorgungslage mehrere Quellen herangezogen werden. Das betrifft insbesondere auch die Kriterien für die Förderung unversorgter Bereiche gemäß der Mobilfunk-Strategie der Bundesregierung. Würde man z.B. nur die Karten der Bundesnetzagentur heranziehen, so würden Gebiete unbeachtet bleiben, obwohl sich dort eine mangelnde Mobilfunkversorgung detektieren lässt.

Einige Hinweise für Endkunden – sei es private oder unternehmerische Endkunden – wurden erarbeitet, wie sie selbst durch eigenes Handeln in manchen Situationen ihre Mobilfunkversorgung verbessern können. Untermauert sind die Hinweise mit Ergebnissen aus dem Projekt. Dazu gehören:

- die Wahl eines passenden Vertrages
- die Verwendung von Dual-SIM-Geräte mit zwei SIM-Karten von unterschiedlicher Netzbetreibern.
- die Verwendung eines leistungsfähigen Endgeräts, das alle aktuellen Leistungsmerkmal und Frequenzbänder unterstützt
- die Verwendung externer Antennen, anderer Zubehörteile bzw. eine geeignete Anbringung des Endgeräts bei der Telefonie im Fahrzeug
- WLAN und WLAN-Call zur Versorgung im Gebäude oder auf dem Firmengelände
- Hinweise bei der Detektion von Störungen

Sie wurden intensiv mit den Beteiligten in dem Partnerprojekt „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ diskutiert und erörtert und fließen dort in die „Handreichungen für Unternehmen zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung im Einzelfall“ ein.

Aus den Gesprächen mit den Beteiligten aus dem Kooperationsprojekt, mit Vertretern der Netzbetreiber sowie mit anderen Akteuren aus dem Mobilfunkumfeld haben sich mehrere Handlungsfelder ergeben, von denen einige auch in der Mobilfunkstrategie der Bundesregierung erörtert werden. Die entsprechenden Handlungsfelder sind in Abschnitt 5.2 aus der Sicht der Autoren dieser Studie in allgemeiner Form zusammengefasst. Konkreter und im Detail beschrieben werden sie in den „Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand“, die im Rahmen des Projekts „Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland“ entstanden sind.

In den vergangenen Jahren hat es bereits deutliche Fortschritte beim Ausbau der Mobilfunknetze gegeben. In den kommenden Jahren wird dieser aufgrund von Versorgungsaufgaben, technischer Neuerungen und politischer Initiativen noch deutlich weiter voranschreiten. Daher sollten Kreise bzw. Regionen kurzfristig die Initiative ergreifen, um sich durch „Know-how“ und entsprechende Stellen mit der nötigen Fachkompetenz in diese Prozesse einzubringen. Durch die Einrichtung einer Stelle „Mobilfunkkoordination“ sollten die folgenden Aufgaben vorangetrieben werden:

- Eingehende Analyse der Versorgungssituation vor Ort

- Unterstützung der Netzbetreiber bzw. Tower Companies bei der Standortsuche sowie Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigungsverfahren
- Kooperation mit den Netzbetreibern aufbauen
- Kommunikation mit Bürgern und Unternehmen
- Kooperation mit der Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft aufbauen

Man wird zwar auf Kreis- oder regionaler Ebene nicht die langfristigen Ausbaustrategien der Netzbetreiber beeinflussen können. Als Wirtschaftsunternehmen bauen die Betreiber zunächst in den Bereichen aus, in denen es sich für sie ökonomisch lohnt und bei denen sie möglichst effizient die Versorgungsaufgaben erfüllen. Die Versorgung dünn besiedelter Gebiete verursacht Kosten (selbst dann, wenn die passive Infrastruktur zur Verfügung gestellt wird), ohne dass zusätzliche Kunden und damit zusätzliche Einnahmen generiert werden.

Aber dennoch kann man – wie Beispiele aus dem Münsterland zeigen – in Einzelfällen für einen beschleunigten Ausbau und für eine substantielle Verbesserung sorgen. Insbesondere hat sich im Projekt herausgestellt, dass sowohl aus Sicht der Netzbetreiber als auch aus Sicht der Kommunen und Kreise ist eine strukturierte, kontinuierliche Kommunikation miteinander mit klar definierten und festen fachkompetenten Kontaktpersonen äußerst erstrebenswert und förderlich für den weiteren Netzausbau ist.

Ausblick – weiterführende Untersuchungen

Der Fokus der Analysen dieser Studien lag auf der Mobilfunkversorgung mit 2G-, 3G- und insbesondere 4G-Technologie in Hinblick auf Telefonie-Anwendungen und Datenübertragungen mit einer akzeptablen Datenrate, wie sie auch in den Versorgungsaufgaben gefordert wurde.

In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit haben die Netzbetreiber mit dem Aufbau der 5G-Technologie begonnen. Dieser Ausbau wird weiter voranschreiten, ebenso wie die Umrüstung von 3G-Standorten auf 4G- oder 5G-Technologie.

Insofern bleibt zu untersuchen, wie sich diese Aus- und Umbaumaßnahmen auf die Versorgungsqualität zukünftig auswirken.

Zu betonen ist, dass der aktuelle Ausbau mit 5G zwar die Versorgung, die Kapazität und die Datenraten in den Mobilfunknetzen sicherlich steigern wird, die derzeitigen Leistungsmerkmale aber noch nicht entscheidend über die der 4G/LTE-Technologie hinausgehen. Mit den entsprechenden Technologien ist erst in ein paar Jahren zu rechnen.

Ferner wurden in der Unternehmensumfrage im Münsterland einige betriebsspezifische Fachanwendungen genannt, die andere Kommunikationsanforderungen besitzen als die klassische Telefonie oder Datenübertragung. Für den Bereich der Landwirtschaft waren dies beispielsweise:

- die Erstellung und Nutzung von Ackerschlagdateien
- das Herdenmanagement
- das Hofmanagement
- Informationen zum Pflanzenschutz, zur Düngung, zur Aussaat
- die Steuerung und Überwachung von Anlagen (Melkanalagen, Fütterung, ...)

Diese Anwendungen erfordern i.A. keine hohen Datenraten, so dass sie sich durch LTE-M oder LTE Narrow Band IoT realisieren lassen – oder sogar ohne Mobilfunk mittels z.B. eigenständiger LoRaWAN-Netze. In Zukunft ist allerdings mit einer zunehmenden Digitalisierung der Landwirtschaft und dem Einsatz von hochauflösenden Videokameras zu rechnen, um Felder per Drohne zu scannen oder Traktoren und Landmaschinen fernzusteuern. Diese Anwendungen erfordern deutlich höhere Datenraten und geringere Latenzzeiten und damit den Einsatz von 5G.

Um zu untersuchen, welche Kommunikationsbedarfe die aktuellen und zukünftigen Fachanwendungen konkret haben, ist es ratsam, über das Mittel der Umfragen hinauszugehen und gezielte und ausführliche Interviews mit den Unternehmen und landwirtschaftlichen Betrieben zu führen. Dabei könnten auch Details zu etwaigen aktuellen Versorgungsproblemen erfragt werden, um so die Diskrepanz zwischen empfundener schlechter Versorgung und fortschreitendem Netzausbau weiter aufzuklären.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesnetzagentur, „Jahresbericht 2019,“ [Online]. Available: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2019.html>. [Zugriff am 31.12.2020].
- [2] Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, „Mobilfunk-Dashboard Nordrhein-Westfalen,“ [Online]. Available: www.giscloud.nrw.de/mobilfunk-dashboard.html. [Zugriff am 31.12.2020].
- [3] Bundesnetzagentur, „Breitband-Messungen, Jahresbericht 2018/2019,“ 2019.
- [4] Wirtschaftsförderungs- und Entwicklungsgesellschaft Steinfurt mbH (WEST mbH), „Mobilfunk im Münsterland - Umfrage,“ [Online]. Available: <https://westmbh.de/mitreden-umfrage-zur-mobilfunkversorgung/>. [Zugriff am 31.03.2020].
- [5] „Mobilfunk im Münsterland: Aufklärungskampagne zu den Engpassfaktoren der Mobilfunkversorgung im Münsterland,“ 2021. [Online]. Available: www.mobilfunk-immuensterland.de. [Zugriff am 03.2021].
- [6] S. Breide, C. Lüders, K. Beuth u.a., Nachrichtentechnik, 4. Aufl., Würzburg: Vogel Verlag, 2016.
- [7] Bundesnetzagentur, „EMF-Karte Öffentlich,“ [Online]. Available: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/DigitaltesTelekommunikation/Funktechnik/EMF/start.html>. [Zugriff am 15.02.2021].
- [8] 3GPP, „TS 36.214, Physical Layer; Measurements,“ 2020. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2428>. [Zugriff am 10.12.2020].
- [9] 3GPP, „TS 36.304, User Equipment Procedure in Idle Mode,“ 2020. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2432>. [Zugriff am 10.12.2020].
- [10] Bundesnetzagentur, „Frequenzauktion 2019,“ [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html?nn=26766. [Zugriff am 03.12.2020].
- [11] Bundesnetzagentur, „Versorgungsaufgaben aus der Auktion 2015,“ [Online]. Available: www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html. [Zugriff am 03.12.2020].

- [12] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Pressemitteilung - 063/2019 Ausbauoffensive für ländliche Räume startet - Meilenstein für flächendeckende Mobilfunkversorgung,“ [Online]. Available: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/063-scheuer-ausbauoffensive-fuer-laendliche-raeume.html>. [Zugriff am 03 12 2020].
- [13] Chip, „Telekom, Vodafone und Telefonica kooperieren: So sollen die Nutzer davon profitieren,“ 20 01 2021. [Online]. Available: https://www.chip.de/news/Telekom-Vodafone-und-Telefonica-kooperieren-So-sollen-Nutzer-davon-profitieren_183245581.html. [Zugriff am 20 01 2021].
- [14] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Mobilfunkstrategie der Bundesregierung,“ 11 2019. [Online]. Available: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 31 10 2020].
- [15] I. Forkel, J. Riihijärvi, O. Gerwig, „Studie LTE-Mobilfunkversorgung in Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.umlaut.com/uploads/documents/Mobilfunkversorgung-2019/Mobilfunkversorgung-Deutschland-2019.pdf>. [Zugriff am 31 03 2020].
- [16] Bundesnetzagentur, „Versorgungsaufgaben - Telefonica und Telekom erreichen Zwischenziele,“ 10 08 2020. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/20200810_teilfristversorgungsaufgaben.html. [Zugriff am 03 12 2020].
- [17] Bundesnetzagentur, „Die Bundesnetzagentur hat die Angaben der Mobilfunknetzbetreiber zur Erfüllung der Versorgungsaufgaben aus der Frequenzauktion 2015 überprüft,“ [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/20200810_teilfristversorgungsaufgaben.html. [Zugriff am 03 12 2020].
- [18] Bundesnetzagentur, „Ende der Frist zur Erfüllung der Versorgungsaufgaben aus der Auktion 2015,“ 10 01 2020. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Pressemitteilungen/2020/20200110_Versorgung.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 03 12 2020].
- [19] Bundesnetzagentur, „Überprüfung der Versorgungsberichte der Mobilfunknetzbetreiber abgeschlossen,“ 14 04 2020. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/20200414_Versorgungsaufgabe.html?nn=268128. [Zugriff am 07 12 2020].
- [20] Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen, „Wir in NRW - Das Landesportal: Nordrhein-Westfalen schließt Funklöcher im ländlichen Raum,“ [Online]. Available:

- <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-schliesst-funkloecher-im-laendlichen-raum>. [Zugriff am 28 01 2021].
- [21] ZFK, „Mobilfunk: Telefonica, Telekom und Vodafone arbeiten zusammen,“ [Online]. Available: <https://www.zfk.de/digitalisierung/breitband/mobilfunk-telefonika-telekom-und-vodafone-arbeiten-zusammen-graue-flecken-bundeskartellamt-bundesnetzagentur>. [Zugriff am 31 10 2020].
- [22] GSM Association, „Infrastructure Sharing: An Overview,“ [Online]. Available: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/infrastructure-sharing-an-overview/>. [Zugriff am 27 03 2021].
- [23] Europäische Union, „Roaming: Nutzung eines Mobiltelefons in der EU,“ [Online]. Available: https://europa.eu/youreurope/citizens/consumers/internet-telecoms/mobile-roaming-costs/index_de.htm. [Zugriff am 15 02 2021].
- [24] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Ab sofort mehr Empfang für mindestens 780.000 Haushalte,“ [Online]. Available: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/072-scheuer-mobilfunk-in-grenzregionen.html>. [Zugriff am 31 10 2020].
- [25] Bundesnetzagentur, „EMF-Monitoring,“ [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/EMF/emf-node.html. [Zugriff am 17 02 2021].
- [26] Bundesnetzagentur, „EMF-Portal Städte und Kreise,“ [Online]. Available: <https://datenportal.bundesnetzagentur.de/>. [Zugriff am 31 01 2020].
- [27] QGIS, „QGIS,“ 24 02 2020. [Online]. Available: <https://www.qgis.org/de/site/forusers/download.html>.
- [28] GEOportal.NRW, „GEOportal.NRW,“ 24 02 2020. [Online]. Available: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dlm/basis-dlm/basis-dlm_EPSG25832_Shape.zip.
- [29] Bundesnetzagentur, „Breitband Monitor BNetzA,“ 01 12 2020. [Online]. Available: <https://www.breitband-monitor.de/mobilfunkmonitoring/karte>. [Zugriff am 11 01 2021].
- [30] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Förderrichtlinie Mobilfunkförderung,“ 06 2020. [Online]. Available: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/mobilfunkfoerderrichtlinie.pdf. [Zugriff am 31 10 2020].
- [31] Bundesnetzagentur, „Breitband-Monitor: Funkloch-Karte,“ [Online]. Available: <https://www.breitband-monitor.de/funkloch/karte>. [Zugriff am 15 02 2021].
- [32] Bundesnetzagentur, „Funkloch App,“ [Online]. Available: <https://breitbandmessung.de/kartenansicht-funkloch>. [Zugriff am 31 01 2021].
- [33] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Der Breitbandatlas,“ [Online]. Available:

- <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandatlas-Karte/start.html>. [Zugriff am 15 02 2021].
- [34] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Mitte 2018), Erhebung des TÜV Rheinland im Auftrag des BMVI,“ [Online]. Available: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/breitband-verfuegbarkeit-mitte-2018.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 31 03 2020].
- [35] I. Forkel, J. Riihijärvi, O. Gerwig, „Ergebnisse aller Kreise und kreisfreien Städte im bundesweiten Ranking,“ Jan 2020. [Online]. Available: <https://www.umlaut.com/de/studie-lte-netzabdeckung-in-deutschland>. [Zugriff am 15 02 2021].
- [36] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, „QualiPoc Android von Rohde & Schwarz,“ 2021. [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/qualipoc_android-produkt-startseite_63493-55430.html. [Zugriff am 12 01 2021].
- [37] Gyokov Solutions, „G-NetTrack,“ 2021. [Online]. Available: <https://gykovsolutions.com/g-nettrack/>. [Zugriff am 12 Januar 2021].
- [38] S. Breide, S. Helleberg, C. Lüders, „Untersuchungen zur Mobilfunkversorgung am Beispiel einer grenznahen ländlichen Region,“ ITG-Fachbericht 278, 2018.
- [39] „R&S®TSMx Scanner für Drive- und Walk-Tests,“ Rohde & Schwarz, [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/de/produkt/tsmx-produkt-startseite_63493-526400.html. [Zugriff am 02 2021].
- [40] CellMapper, „CellMapper,“ [Online]. Available: https://www.cellmapper.net/First_Time_Startup/de?lang=de. [Zugriff am 01 2021].
- [41] Landkreis Bad Kissingen, „Kompetenzstelle Digitalisierung "Breitband und Mobilfunk",“ [Online]. Available: <https://www.landkreis-badkissingen.de/wirtschaft/schnelles-internet/index.html>. [Zugriff am 02 2021].
- [42] Telekom, „Unsere Lösungen für Ihr erfolgreiches IoT-Projekt,“ [Online]. Available: <https://iot.telekom.com/de/loesungen>. [Zugriff am 25 03 2021].
- [43] Vodafone, „Internet of Things,“ [Online]. Available: <https://www.vodafone.de/business/loesungen/internet-of-things.html?icmp=Geschaeftskunden:t10278>. [Zugriff am 27 03 21].
- [44] Telefonica, „Internet of Things,“ [Online]. Available: <https://iot.telefonica.de/iot-m2m-produkte/iot-connect-tarif/>. [Zugriff am 27 03 21].
- [45] Ministerium für Wirtschaft ,Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, „Mobilfunkpakt zwischen Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen und den Mobilfunkunternehmen Telefonica und Telekom,“ 06 2018. [Online]. Available:

- https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/mobilfunkpakt_final.pdf.
[Zugriff am 18 02 2021].
- [46] Hessische Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung, „Mobilfunkportal - Das Mobilfunkförderprogramm,“ [Online]. Available: <https://www.mobilfunk-hessen.de/mobilfunk-foerderprogramm>. [Zugriff am 22 02 2021].
- [47] Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Richtlinie zur Förderung des Ausbaus der Mobilfunkversorgung im Freistaat Bayern,“ [Online]. Available: <https://www.mobilfunk.bayern/service-download/>. [Zugriff am 22 02 2021].
- [48] Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern, „Grundsätze des Ausbaus der Mobilfunkversorgung in Mecklenburg-Vorpommern im Rahmen eines Masteninfrastruktur-Treuhandvermögens,“ [Online]. Available: <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/em/Digitalisierung/mobilfunk/>. [Zugriff am 22 02 2021].
- [49] Stabsstelle Digitalisierung - Niedersachsen, „Fördergrundsätze der Mobilfunkrichtlinie,“ [Online]. Available: https://www.mw.niedersachsen.de/startseite/themen/digitalisierung/mobilfunkausbau_niedersachsen/. [Zugriff am 23 02 2021].
- [50] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Verordnungsentwurf: Verordnung zur Vorausschau zum Mobilfunknetzausbau nach dem Telekommunikationsgesetz,“ [Online]. Available: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/verordnung-mobilfunknetzausbau-telekommunikationsgesetz.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 23 02 2021].
- [51] Bundesnetzagentur, „Infrastrukturatlas – Zentrale Informationsstelle,“ [Online]. Available: www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/ZIdB/ZIdB-node.html. [Zugriff am 08 02 2021].
- [52] Bundesamt für Strahlenschutz, „Online-Sprechstunde für Bürgermeister*innen, Landrät*innen und kommunale Bedienstete,“ [Online]. Available: www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/online-sprechstunde/online-sprechstunde_node.html. [Zugriff am 17 02 2021].
- [53] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Sitz der neuen Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft wird Naumburg - starkes Signal für die neuen Länder,“ [Online]. Available: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2020/077-scheuer-mobilfunkinfrastrukturgesellschaft.html>. [Zugriff am 24 02 2021].