

Lucidi, Stefano; Niedick, Lars; Sörries, Bernd

Working Paper

Implikationen einer Mobilfunk-Grundversorgung für den Infrastrukturwettbewerb

WIK Diskussionsbeitrag, No. 540

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Lucidi, Stefano; Niedick, Lars; Sörries, Bernd (2025) : Implikationen einer Mobilfunk-Grundversorgung für den Infrastrukturwettbewerb, WIK Diskussionsbeitrag, No. 540, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/334502>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

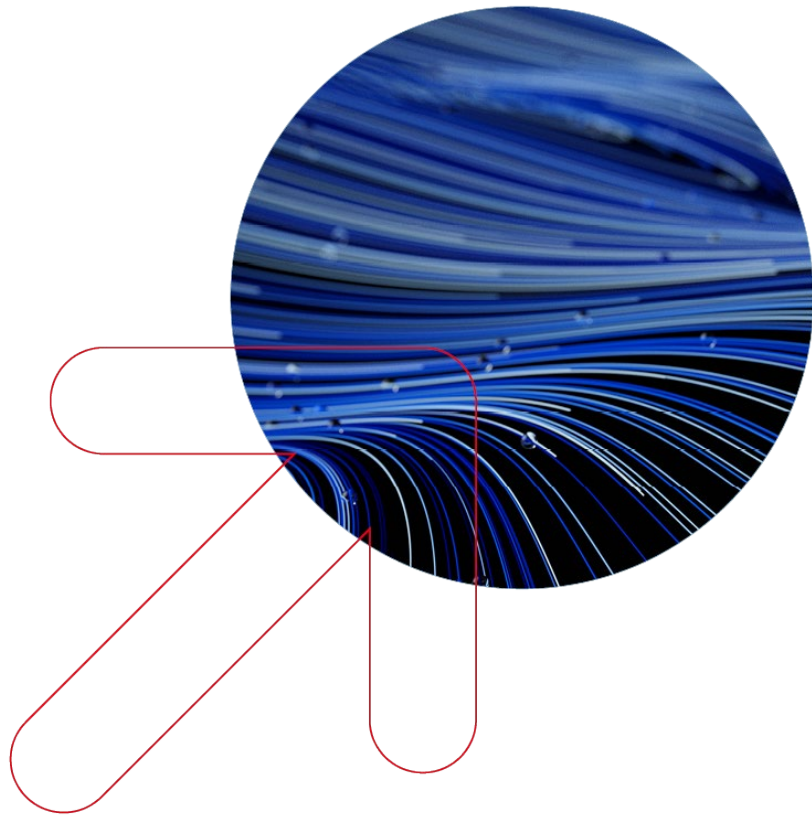
Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WIK • Diskussionsbeitrag

Nr. 540



Implikationen einer Mobilfunk- Grundversorgung für den Infrastrukturwettbewerb

Autoren:
Stefano Lucidi
Lars Niedick
Bernd Sörries

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführung	Dr. Cara Schwarz-Schilling (Vorsitzende der Geschäftsführung, Direktorin) Alex Kalevi Dieke (Kaufmännischer Geschäftsführer)
Prokuristen	Prof. Dr. Bernd Sörries Dr. Christian Wernick Dr. Lukas Wiewiorra
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Stand: Januar 2025

ISSN 1865-8997

Bildnachweis Titel: © Robert Kneschke - stock.adobe.com

Weitere Diskussionsbeiträge finden Sie hier:

<https://www.wik.org/veroeffentlichungen/diskussionsbeitraege>

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	IV
Summary	V
1 Einleitung	1
2 Infrastrukturwettbewerb im Mobilfunk	3
2.1 Pfadabhängigkeiten	3
2.2 Versorgungsaufgabe im Rahmen der Verlängerung von Frequenznutzungsrechten im Jahr 2025	6
2.3 Versorgungsgrad der Flächenabdeckung mit Mobilfunk	7
2.4 Regionale Unterschiede der Flächenversorgung und Netzqualität	8
2.5 Anzahl Basisstationen als Indikator des Wettbewerbs	10
2.6 Netzqualität der Mobilfunknetze	11
2.7 Zwischenfazit	18
3 Mobilfunk und Mindestversorgung	20
3.1 Recht auf Versorgung mit einem angemessenen Breitband- Internetzugangsdienst	20
3.2 Tools und Parameter für die Mobilfunkmessung	22
3.2.1 Mobilfunkmessungen der Bundesnetzagentur	22
3.2.2 Unterschiede in den Parametern zur Überprüfung des Mobilfunkmonitorings und des RaVT	24
3.3 Zwischenfazit	29
4 Fazit und Ausblick	30
Literaturverzeichnis	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Marktanteile der Mobilfunknetzbetreiber an den Mobilfunkanschlüssen (SIM-Karten)	4
Abbildung 2-2:	Umsätze im deutschen Mobilfunkmarkt im Jahr 2025	5
Abbildung 2-3:	Low-Band-Frequenzportfolio der Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland im Vergleich zum europäischen Durchschnitt	5
Abbildung 2-4:	Mobilfunkabdeckung in Deutschland (alle MNO)	7
Abbildung 2-5:	Technologieabdeckung der Mobilfunknetzbetreiber, 2024	8
Abbildung 2-6:	Mobilfunkerlebnis nach Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland	12
Abbildung 2-7:	Mobilfunknetztest 2026: Ergebnisse Deutschland	13
Abbildung 2-8:	Connect-Test-Scores (2017–2025)	14
Abbildung 2-9:	Coverage-Experience vs. (5G-)Verfügbarkeit der Mobilfunknetze in Deutschland	15
Abbildung 2-10:	Downloadgeschwindigkeit in den Mobilfunknetzen in Deutschland	16
Abbildung 2-11:	Entwicklung der 5G-Downloadgeschwindigkeit im europäischen Vergleich	16
Abbildung 2-12:	Vodafone-Roaming bei 1&1, 2025	17
Abbildung 2-13:	Abdeckungskarte des 1&1-Mobilfunknetzes inkl. National Roaming	18
Abbildung 3-1:	Schaubild eines digitalen Zwillings für ein Mobilfunknetz	27
Abbildung 3-2:	Die zehn wichtigsten Parameter zur Prognose der Datenrate und Latenz	28
Abbildung 3-3:	Konnektivitätskarte durch Prognose des Signalpegels	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Flächenversorgung je Bundesland (alle MNO)	9
Tabelle 2-2:	Anzahl der Basisstationen je Mobilfunknetzbetreiber	10
Tabelle 3-1:	Messwerte der Datenraten-Messung durch den Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur	24
Tabelle 3-2:	Parametervorgaben des Mobilfunkmonitorings	25

Abkürzungsverzeichnis

BNetzA	Bundesnetzagentur
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
CAGR	Compound Annual Growth Rate
DL	Downlink
EEKK	Europäischer Elektronischer Kommunikationskodex
EMF	Elektromagnetische Felder
GB	Gigabyte
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMA	Groupe Spéciale Mobile Association
ITU	International Telecommunication Union
LAK TIP	Länderarbeitskreis Telekommunikation, Informationswirtschaft, Post
LTE	Long Term Evolution (4G)
MBit/s	Megabit pro Sekunde
MNO	Mobile Network Operator (Mobilfunknetzbetreiber)
MHz	Megahertz
ML	Machine Learning
NR	New Radio (5G)
O2/TEF	Telefónica Germany GmbH & Co. OHG
RaVT	Recht auf Versorgung mit Telekommunikationsdiensten
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
SA	Standalone (5G-Architektur)
SINR	Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
TKG	Telekommunikationsgesetz
TKMV	Telekommunikations-Mindestversorgungsverordnung
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (3G)
VTC	Vehicular Technology Conference
WIK	Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste

Zusammenfassung

Im Zuge der Verlängerung der Frequenznutzungsrechte verpflichtete die Bundesnetzagentur die etablierten Mobilfunknetzbetreiber, bis zum Jahr 2030 eine bundesweite Flächenabdeckung von 99,5 % mit Mobilfunkdiensten sicherzustellen. Je umfassender solche Versorgungsaufgaben sind, desto weniger können sich die Mobilfunknetzbetreiber durch unterschiedliche räumliche Versorgungsstrategien im Markt differenzieren. Insofern könnten solche Versorgungsaufgaben im Widerspruch zum Infrastrukturwettbewerb, ein Leitbild des europäischen und nationalen Rechtsrahmens, stehen. Im ersten Teil der vorliegenden Studie wird deshalb das mögliche Spannungsverhältnis von Versorgungsaufgaben und Infrastrukturwettbewerb analysiert.

Da modernste Mobilfunktechnologien die technischen Vorgaben der Telekommunikations-Mindestversorgungsverordnung (TKMV) erfüllen, besteht das Interesse, außerhalb von Messungen vor Ort festzustellen, bei welchen Adressen die in der TKMV festgelegten Datenübertragungsraten im Up- und Downlink mit hoher Wahrscheinlichkeit vorliegen. Die Studie greift diese Diskussion auf und prüft netztechnische Parameter und vorhandene Daten, die für eine Prognose der Versorgungsqualität verwendet werden könnten.

Die Studie zeigt, dass der deutsche Mobilfunkmarkt durch einen Infrastrukturwettbewerb geprägt ist. Gerade für Mobilfunknetzbetreiber, die in ländlichen Regionen einen unterdurchschnittlichen Marktanteil haben, stellt die Flächenversorgungsauflage einen Anreiz dar, den Wettbewerb in diesen Regionen zu verstärken. Netzqualitätsauswertungen zeigen einen Trend abnehmender Qualitätsabstände zwischen den Mobilfunknetzen, was als Indikator für intensiven Wettbewerb und Modernisierungsprozesse interpretiert werden kann. Insofern ist festzustellen, dass das Ziel eines Infrastrukturwettbewerbs und Versorgungsaufgaben kein Gegensatz sein müssen.

Im Hinblick auf die TKMV zeigt sich, dass der Mobilfunk grundsätzlich einen Beitrag zur Grundversorgung leisten kann. Die tatsächliche Eignung ist jedoch von den verfügbaren Kapazitäten, der Nutzerzahl pro Funkzelle sowie potenziellen Priorisierungsinstrumenten, wie etwa Network Slicing, abhängig. Die derzeit verfügbare Datengrundlage über Qualitätsparameter in den Mobilfunknetzen ist jedoch weder hinreichend harmonisiert noch methodisch einheitlich. Dies erschwert eine verlässliche Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Mobilfunks für das Recht auf Versorgung mit Telekommunikationsdiensten (RaVT). Für eine belastbare Prognose wäre daher ein standardisiertes, interoperables Mess- und Datenkonzept erforderlich, das netzseitige Parameter und nutzungsbasierte Messungen zusammenführt. Darüber hinaus könnte die Entwicklung eines Machine-Learning-Tools zur Prognose der Mobilfunkqualität hilfreich sein.

Summary

As part of the extension of frequency usage rights, the Federal Network Agency required established mobile network operators to ensure nationwide coverage of 99.5% with mobile services by 2030. The more comprehensive such coverage obligations are, the less mobile network operators can differentiate themselves in the market through different geographical coverage strategies. In this regard, such coverage obligations could conflict with infrastructure competition, a guiding principle of the European and national legal framework. The first part of this study therefore analyzes the potential conflict between coverage obligations and infrastructure competition.

Since advanced mobile communications technologies meet the technical requirements of the Telecommunications Minimum Supply Ordinance (TKMV), there is interest in using forecasts to determine at which addresses the data transmission rates specified in the TKMV are highly likely to be available in the uplink and downlink, beyond on-site measurements. The study takes up this discussion and examines network parameters and existing data that could be used to forecast service and coverage quality.

The study shows that the German mobile communications market is characterized by infrastructure competition. For mobile network operators with a below-average market share in rural areas, the coverage obligation provides an incentive to intensify competition in these regions. Network quality evaluations show a trend toward decreasing quality differences between mobile networks, which can be interpreted as an indicator of intense competition and modernization processes. In this respect, it can be said that the objectives of infrastructure competition and coverage obligations do not have to be in conflict with each other.

With regard to the TKMV, the mobile communications network can contribute to ensure basic service provisions. However, its actual suitability depends on available capacities, the number of users per cell, and potential prioritization tools such as network slicing. At present, the available data on mobile network quality parameters is neither sufficiently harmonized nor methodologically consistent. This makes it difficult to reliably assess the performance of mobile communications in terms of fulfilling the right to supply with telecommunications services (RaVT). A reliable forecast would therefore require a standardized and interoperable measurement and data concept that combines network parameters and usage-based measurements. In addition, the development of a machine learning tool to forecast mobile communications quality could further support such analyses.

1 Einleitung

Im Rahmen der Verlängerung von Frequenznutzungsrechten hat die Bundesnetzagentur den etablierten Mobilfunknetzbetreibern¹ (MNO) auferlegt, bis zum Jahr 2030 bundesweit 99,5 % der Fläche mit Mobilfunkdiensten (50 Mbit/s pro Antennensektor im Downlink) zu versorgen.² Während die etablierten MNO die Flächenversorgungsaufgabe im Konsultationsverfahren als unverhältnismäßig einstufen³, kritisierten Bundesländer, dass mit den technischen Parametern der Versorgungsaufgabe ein neues Kapitel der Versorgungsillusion im Mobilfunk aufgeschlagen würde. So wurde argumentiert, dass die angedachte Versorgungsaufgabe nicht die Situation der Nutzenden angemessen widerspiegele, so dass sich in der Folge die Mobilfunkversorgung nicht maßgeblich verbessern könne.⁴

Ein weiterer Aspekt von weitgehenden, symmetrischen Flächenversorgungsaufgaben, nämlich die Auswirkungen auf den Infrastrukturwettbewerb, wurde in der Konsultation weniger häufig genannt, obwohl der Infrastrukturwettbewerb ein Leitgedanke des europäischen und nationalen Rechtsrahmens ist. Je räumlich umfassender Versorgungsaufgaben sind, desto weniger Anreize und Optionen bestehen für die Mobilfunknetzbetreiber, sich über die räumliche Versorgung am Markt zu differenzieren.

Der vorliegende Diskussionsbeitrag greift deshalb das Wechselverhältnis von Flächenauflagen und Infrastrukturwettbewerb auf und stellt die Frage, welche wettbewerblichen Auswirkungen bestehende Flächenversorgungsaufgaben für die etablierten MNO in Deutschland haben könnten.

Über die Versorgungsaufgaben werden auch quantitative Vorgaben zur Versorgung von Haushalten gemacht, die grundsätzlich mit der Grundversorgung nach der Telekommunikations-Mindestversorgungsverordnung (TKMV) vereinbar sind. Daher wird in diesem Diskussionsbeitrag des Weiteren geprüft, wie außerhalb einer konkreten Einzelfallprüfung mit einer Messung vor Ort festgestellt werden kann, wo in den öffentlichen Mobilfunknetzen der etablierten MNO die in der TKMV festgelegten Datenübertragungsraten im Up- und Downlink vorliegen. In diesem Zusammenhang wird analysiert, welche technischen Parameter vorliegen müssten, um eine Aussage über das Vorliegen der Grundversorgung nach TKMV treffen zu können.

Zusammenfassend geht der Diskussionsbeitrag folgenden Leitfragen nach:

-
- 1 Die etablierten Mobilfunknetzbetreiber sind: Telekom Deutsche GmbH, Vodafone GmbH, Telefónica Germany GmbH & Co. OHG.
 - 2 S. hierzu: <https://www.bundesnetzagentur.de/1053942>, zuletzt abgerufen am: 09.12.2025.
 - 3 Die entsprechenden Stellungnahmen sind auf der Website der Bundesnetzagentur verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/x_abgeschlossen/start.html.
 - 4 Länderarbeitskreis TIP (2024), S. 2.

- Besteht angesichts symmetrischer Flächenversorgungsaufgaben noch ein Infrastrukturwettbewerb?
- Legen die Versorgungsaufgaben die Grundlage für eine Mindestversorgung, die gemäß der TKMV Versorgungslücken füllen kann?
- Welche Parameter sind für die Erhebung TKMV-konformer Versorgungsinformationen für den Mobilfunk mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit notwendig?

Der Diskussionsbeitrag gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 analysiert die Wettbewerbssituation im Mobilfunkmarkt und zeigt anhand historischer, technischer und regionaler Faktoren, wie sich der Infrastrukturwettbewerb in Deutschland darstellt und welche Rolle die Flächenversorgungsauflage hierbei spielt. In Kapitel 3 werden die Anforderungen der TKMV sowie mögliche Messmethoden, Parameter und Tools zur Beurteilung der Mobilfunkqualität betrachtet. Kapitel 4 fasst die zentralen Ergebnisse zusammen.

2 Infrastrukturwettbewerb im Mobilfunk

Im Folgenden wird die Frage beantwortet, wie sich symmetrische Flächenversorgungsauflagen⁵ auf den Wettbewerb im Mobilfunk auswirken. Dazu werden Parameter wie Versorgungsgrade, Netzqualitäten und örtliche Differenzierungen in der Verfügbarkeit der Telekommunikationsdienste in den Mobilfunknetzen der etablierten MNO betrachtet. Hierbei wird auch geprüft, ob die sequentielle Lizenzierung von Mobilfunknetzbetreibern in den 1990er Jahren heute noch den Wettbewerb beeinflusst.

2.1 Pfadabhängigkeiten

In Deutschland wie auch in einer Reihe anderer europäischer Länder wurden die öffentlichen Mobilfunknetzbetreiber zu unterschiedlichen Zeitpunkten lizenziert.

Zunächst erhielten die Deutsche Telekom und Mannesmann Mobilfunk (heute Vodafone) Mobilfunklizenzen in Deutschland. Sie konnten seit den frühen 1990er-Jahren mit den aus physikalischer Sicht vorteilhaften 900-MHz-Frequenzen ihre Mobilfunknetze aufbauen. Im Vergleich zu Frequenzen oberhalb von 1 GHz erlauben diese Frequenzen größere Zellradien und ermöglichen mit deutlich weniger Basisstationen eine kostengünstige Flächen- und Indoorversorgung.

Als die so genannten E-Netze (E-Plus und Viag Interkom, heute Telefónica O2) später (1994 bzw. 1998) lizenziert wurden, war das 900-MHz-Band bereits vergeben, sodass sie ausschließlich GSM-1800-Frequenzen erhielten. Erst später erhielten beide Mobilfunknetzbetreiber 900-MHz-Frequenzen. Um mit 1800-MHz-Frequenzen die gleiche Qualität bei ihren Telekommunikationsdiensten anbieten zu können, hätten sie drei- bis viermal so viele Basisstationen wie ihre Wettbewerber aufbauen und betreiben müssen.⁶ Diese Investitionen unterblieben aus betriebswirtschaftlichen Gründen, so dass sie von einer geringeren Kundengewinnung, höheren Churn-Raten und dauerhaft niedrigeren Preisen⁷ herausgefordert wurden.⁸

Da sich das 1800-MHz-Frequenzband vor allem für die innerstädtische Breitbandversorgung eignet⁹, haben die E-Netzbetreiber ihren Ausbau vor allem auf die Ballungsgebiete konzentriert.¹⁰ So hat sich die Wahrnehmung einer schlechteren Netzqualität in

⁵ Damit ist gemeint, dass die Versorgungsauflagen von den etablierten Mobilfunknetzbetreiber in gleicher Weise umgesetzt werden müssen. Das heißt, dass es keine spezifischen Auflage gibt, die beispielsweise nur für einen der drei etablierten Mobilfunknetzbetreiber gilt.

⁶ Stumpf, Kiesewetter & Nett (2005).

⁷ E-Plus musste teils Preisabschläge von 7,8 % bis 55,5 % machen, um die Qualitätsnachteile auszugleichen Stumpf, Kiesewetter & Nett (2005).

⁸ Stumpf, Kiesewetter & Nett (2005).

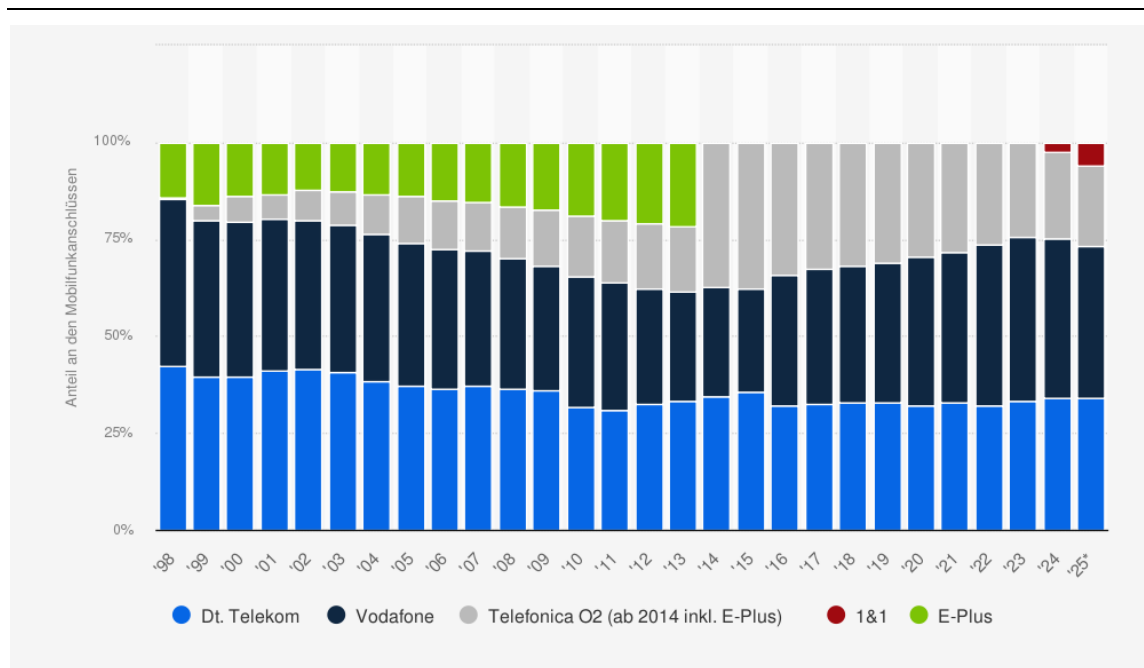
⁹ Monopolkommission (2015).

¹⁰ Sörries & Nett (2020), S. 19.

ländlichen Regionen etabliert.¹¹ Die Folge der asymmetrischen Frequenzausstattung war eine strukturell geminderte Wettbewerbsintensität.¹²

Im Zusammenhang mit der Fusion von Telefónica und E-Plus analysiert die Monopolkommission, dass die beiden Mobilfunknetzbetreiber vor allem „bei Low-value- und Prepaid-Kunden enge Wettbewerber seien, da sie eine geringere Netzqualität zu kostengünstigeren Tarifen als Deutsche Telekom und Vodafone anböten“¹³. Die Fusion der Mobilfunknetzbetreiber sollte aus Sicht der Unternehmen dazu dienen, eine höhere Netzqualität im Vergleich zu den Wettbewerbern zu ermöglichen.¹⁴ Damit wollte Telefónica die Deutsche Telekom und Vodafone, die sich mit ihrer Netzinfrastruktur bzw. den angebotenen Telekommunikationsdiensten im Wettbewerb differenzierten, herausfordern. Über eine verbesserte Netzqualität sollten dann auch die SIM- und Umsatzmarktanteile gesteigert werden. Nach dem aktuellsten Connect-Test hat Telefónica erstmals Vodafone bei der Netzqualität eingeholt bzw. bei einzelnen Kennziffern überholt.¹⁵

Abbildung 2-1: Marktanteile der Mobilfunknetzbetreiber an den Mobilfunkanschlüssen (SIM-Karten)



Quelle: Statista (2025), verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3028/umfrage/markt-anteile-der-netzbetreiber-am-mobilfunkmarkt-in-deutschland-seit-1998/>, zuletzt abgerufen am: 26.11.2025.

¹¹ Stumpf, Kiesewetter & Nett (2005).

¹² Stumpf, Kiesewetter & Nett (2005).

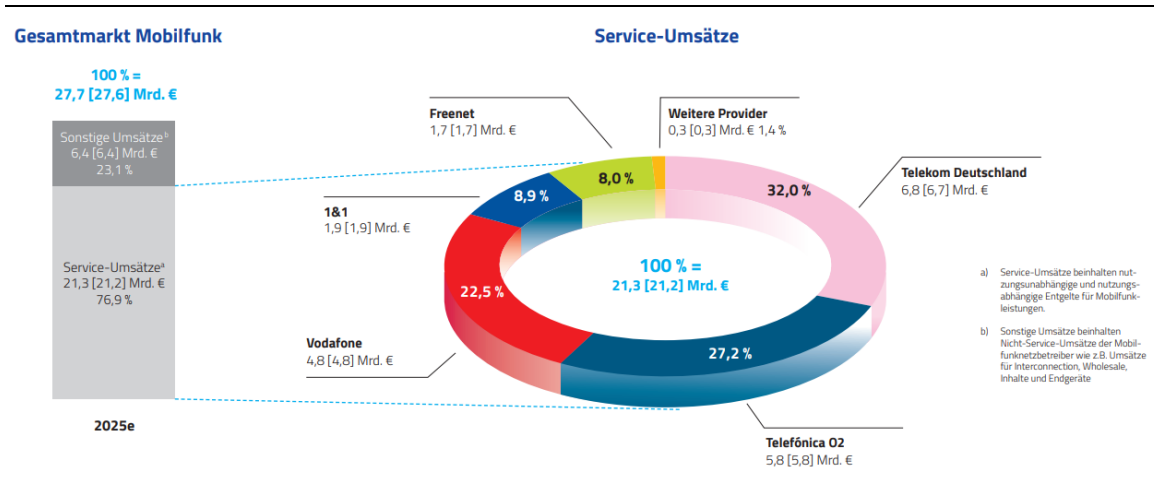
¹³ Monopolkommission (2015), S. 48.

¹⁴ Aussage von Markus Haas (CEO Telefónica Deutschland) in BASECAMP_digital (2024) in Minute 17, verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=69D3gRZmRI8>, zuletzt abgerufen am: 09.12.2025.

¹⁵ Siehe <https://www.connect.de/vergleich/mobilfunknetztest-2025-bestes-handy-netz-connect-3207575.html>, zuletzt abgerufen am: 09.12.2025.

Während der SIM-Karten-Marktanteil der Telefónica trotz Netzverbesserungen rückläufig ist, liegt der Umsatz-Marktanteil der Telefónica seit einigen Jahren über dem Vergleichswert der Vodafone.¹⁶

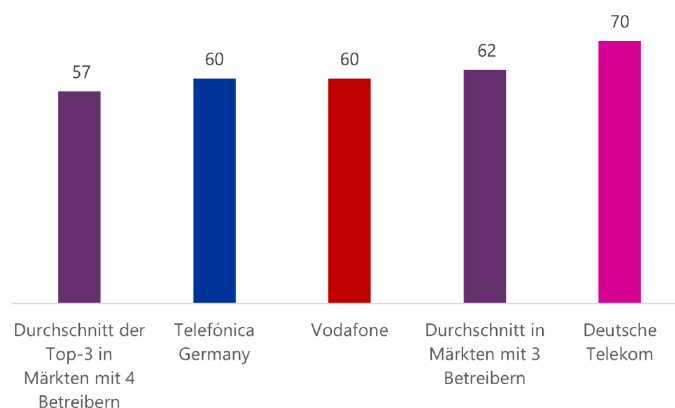
Abbildung 2-2: Umsätze im deutschen Mobilfunkmarkt im Jahr 2025



Quelle: VATM (2025).

Heute verfügen die etablierten Mobilfunknetzbetreiber weitgehend über den gleichen Umfang an Spektrum im Low-Band-Spektrum (siehe Abbildung 2-3).¹⁷ Die mit den unterschiedlichen Lizenzierungszeitpunkten verbundene Asymmetrie bei den Zuteilungen besteht somit nicht mehr.

Abbildung 2-3: Low-Band-Frequenzportfolio der Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland im Vergleich zum europäischen Durchschnitt



Anmerkung: Von den 210 MHz zur Verfügung stehenden Low-Band-Frequenzen sind 190 MHz für den Mobilfunk bereitgestellt. 70 MHz stehen der Telekom Deutschland zur Verfügung, jeweils 60 MHz für Telefónica Germany und Vodafone.

Quelle: NERA (2024).

¹⁶ Siehe VATM-Marktstudien.

¹⁷ NERA (2024).

Neue Analysen von Opensignal zeigen ebenfalls eine deutliche Verbesserung aller Mobilfunknetzbetreiber, wobei Telefónica nach dieser Erhebung eine höhere „Coverage Experience“¹⁸ als Telekom Deutschland aufweist.¹⁹

Auch wenn sich die Netzqualitäten der etablierten MNO (vorerst) angeglichen haben, so bestehen nach Expertengesprächen weiterhin Unterschiede bei den regionalen Marktanteilen der MNO und im Segment der Geschäftskunden.²⁰ Die Ursache für diese (regionale) Unterschiede lag in der unterschiedlichen Qualität der Mobilfunknetze. Oben wurde bereits ausgeführt, dass E-Plus und Telefónica im ländlichen Raum nicht die gleiche Versorgungsqualität anboten. Beide Unternehmen hatten ihre Vermarktungsschwerpunkte in den Ballungsgebieten. Verkehrswege und die Versorgung in der Fläche waren im Vergleich schlechter versorgt.²¹ Telekom und Vodafone hatten deshalb in ländlichen Gemeinden, in denen 34 % der Haushalte in Deutschland ansässig sind²², bisher besser ausgebaute Netzinfrastrukturen und in der Konsequenz höhere Marktanteile.

2.2 Versorgungsaufgabe im Rahmen der Verlängerung von Frequenznutzungsrechten im Jahr 2025

Während in der Vergangenheit der Fokus von Auflagen maßgeblich auf der Haushaltsversorgung lag, hat sich dies zuletzt in Deutschland geändert. Im Rahmen der Verlängerung bestehender Frequenznutzungsrechte hat die Bundesnetzagentur im Jahr 2025 Versorgungsaufgaben festgelegt, die sicherstellen sollen, dass Mobilfunkdienste in der Fläche in hinreichender Qualität bereitgestellt werden. Eine zentrale Vorgabe ist hierbei die Verpflichtung der Betreiber, ab dem Jahr 2030 mindestens 99,5 % der Fläche Deutschlands mit Sprach- und Datendiensten bei einer Bandbreite von mindestens 50 Mbit/s im Zellsektor zu versorgen.²³ Im Kontext dieser Analyse stellt sich die Frage, ob und wie sich die Mobilfunknetzbetreiber künftig hinsichtlich ihrer Funknetzinfrastruktur untereinander differenzieren können? Die Diskussion über die Verlängerung von Frequenznutzungsrechten zeigt hier, dass insbesondere Vertreter von Gebietskörperschaften eine gleiche (Mindest-)Qualität in den Mobilfunknetzen anstreben.²⁴ Damit hängt eine Differenzierung im Markt maßgeblich davon ab, wie die Mindestversorgung de facto ausgestaltet werden soll.

18 Definition: „Coverage Experience“ misst die geografische Abdeckung bevölkerter Gebiete. Der Parameter spiegelt daher die Abdeckungserwartungen und -erfahrungen einer typischen Nutzung genauer wider. Das Ergebnis kann sich etwas von herkömmlichen Schätzungen unterscheiden, die entweder auf geografischen oder bevölkerungsbezogenen Messungen basieren. Die Metrik verwendet eine Skala von 0 bis 10 (Opensignal, 2025b).

19 Opensignal (2025a).

20 Sörries et al. (2023), S. 16.

21 Sörries & Nett (2020), S. 19.

22 umlaut communications & WIK-Consult (2022).

23 Bundesnetzagentur (2025a).

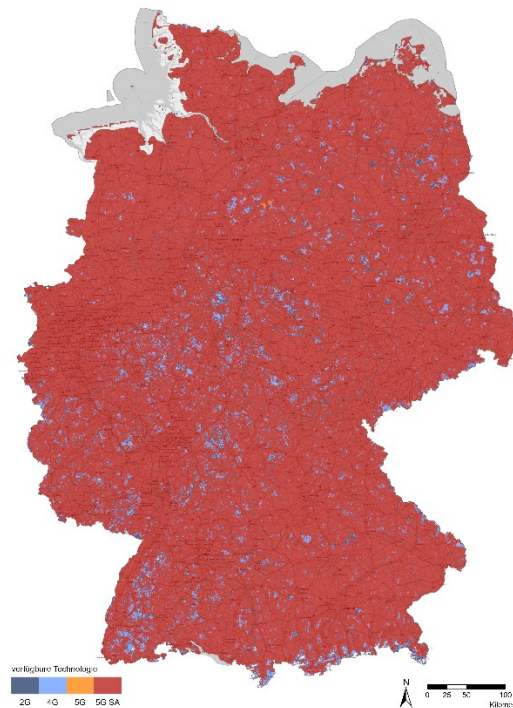
24 Vgl. dazu die Stellungnahmen im Rahmen des Frequenzverlängerungsverfahrens der BNetzA.

2.3 Versorgungsgrad der Flächenabdeckung mit Mobilfunk

Wie fällt die Versorgungsqualität im öffentlichen Mobilfunk in Deutschland aus?

Das Bundesgebiet ist nahezu flächendeckend von mindestens einem MNO versorgt (vgl. Abbildung 2-4). Die Abdeckung summiert über alle Mobilfunknetzbetreiber und Technologiestandards liegt bei 99,8 %. Mit rund 97,5 % ist ein Großteil der Bundesrepublik durch mindestens einen Mobilfunknetzbetreiber mit 4G versorgt.²⁵ Die Flächenabdeckung mit 5G variiert bei den einzelnen Mobilfunknetzbetreibern zwischen ca. 73,5 % und 86,1 %.²⁶ 94,64 % der Bundesrepublik sind von mindestens einem Mobilfunknetzbetreiber mit 5G versorgt. Die Versorgung mit 5G-Standalone (5G-SA) liegt bundesweit bei rund 94,62 %, nahezu gleichauf mit der 5G-Gesamtversorgung.²⁷

Abbildung 2-4: Mobilfunkabdeckung in Deutschland (alle MNO)



Quelle: Bundesnetzagentur (2025), verfügbar unter: https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/2507/202507_MobilfunkMonitoring_Deutschland.png, zuletzt abgerufen am: 29.10.2025.

Die Flächenversorgung der einzelnen MNO ist dabei heterogen (siehe Abbildung 2-5). Telekom Deutschland bietet technologieunabhängig deutschlandweit die höchste Mobilfunkabdeckung.²⁸

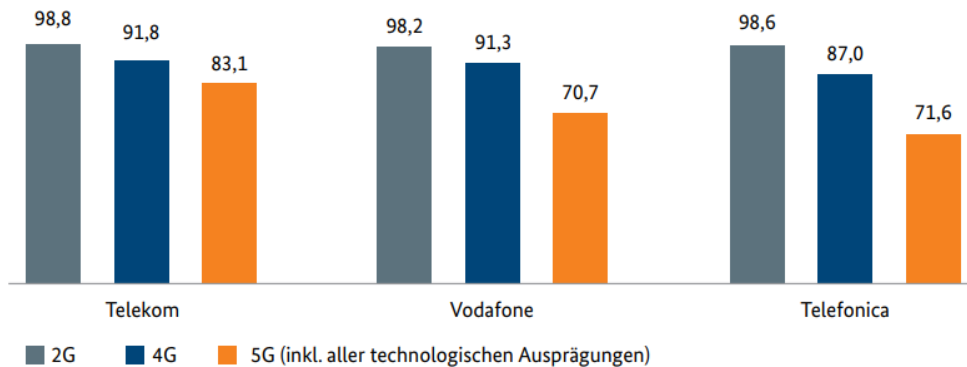
²⁵ Bundesnetzagentur (2025b).

²⁶ Bundesnetzagentur (2025c).

²⁷ Bundesnetzagentur (2025d).

²⁸ Bundesnetzagentur (2025b).

Abbildung 2-5: Technologieabdeckung der Mobilfunknetzbetreiber, 2024



Quelle: Bundesnetzagentur (2025b), S. 83; Werte in Prozent.

Obwohl die bundesweiten Abdeckungswerte ein relativ homogenes Bild vermitteln, offenbaren regionale Vergleiche deutliche Unterschiede. Diese werden besonders sichtbar zwischen urbanen Räumen und ländlichen Gebieten.

2.4 Regionale Unterschiede der Flächenversorgung und Netzqualität

In der regionalen Verfügbarkeit von Mobilfunknetzen gibt es starke regionale Unterschiede. Funklöcher, graue und weiße Flecken treten vor allem in ländlich geprägten Regionen mit topografischen Herausforderungen auf (Tabelle 2-1). In dünn besiedelten Regionen mit Gebirgen, wie Rheinland-Pfalz, Thüringen und Bayern, bestehen die meisten weißen Flecken. In bergigen Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte gibt es höhere Kosten für den Netzausbau. Norddeutsche Regionen sind hingegen nahezu versorgt, da sie flache Landschaften ohne Hindernisse aufweisen. Auch Stadtstaaten weisen kaum Versorgungslücken mit einer Versorgung von über 99 % Flächenabdeckung auf, was stellvertretend für urbane Räume gilt.

Tabelle 2-1: Flächenversorgung je Bundesland (alle MNO)

Bezugsraum	Fläche insgesamt (km ²)	Funkloch (%)	graue Flecken (%)	weiße Flecken (%)
Bund	357.585,4	0,2	13,38	1,95
Schleswig-Holstein	15.652,8	0,00	3,78	0,14
Hamburg	752,9	0,00	1,21	0,01
Niedersachsen	47.676,0	0,03	10,43	1,01
Bremen	402,6	0,00	0,08	0,00
Nordrhein-Westfalen	34.126,0	0,08	10,6	1,25
Hessen	21.098,6	0,20	19,7	2,90
Rheinland-Pfalz	19.864,3	0,30	18,66	3,07
Baden-Württemberg	35.760,2	0,21	19,29	2,80
Bayern	70.621,0	0,62	15,34	3,01
Saarland	2.580,4	0,00	11,22	0,92
Berlin	893,1	0,00	0,83	0,00
Brandenburg	29.713,5	0,00	12,95	1,26
Mecklenburg-Vorpommern	23.182,2	0,00	10,68	1,15
Sachsen	18.510,8	0,06	9,61	0,92
Sachsen-Anhalt	20.554,3	0,08	10,7	1,78
Thüringen	16.196,8	0,25	14,91	3,05

Quelle: Bundesnetzagentur (2025d).

Die regional unterschiedlich ausgeprägte Versorgung trifft auf eine kontinuierlich steigende Nachfrage nach mobilen Daten und bandbreitenintensiven Anwendungen. Dieser Nachfrageanstieg verschärft insbesondere in Regionen mit geringerer Infrastrukturdichte den Ausbaubedarf. Dadurch entsteht zusätzlicher Druck auf die Mobilfunknetzbetreiber, ihre Kapazitäten auszubauen und bestehende regionale Lücken zu schließen.

2.5 Anzahl Basisstationen als Indikator des Wettbewerbs

Steigende Nutzungsvolumina und die damit verbundenen Qualitätsanforderungen erhöhen den Druck auf die MNO, kontinuierlich in ihre Infrastruktur zu investieren. Dies ist ein zentraler Indikator für den Infrastrukturwettbewerb.

Das Investitionsniveau lässt sich anhand einer Analyse der Basisstationen beschreiben. Tabelle 2-2 zeigt, dass die drei etablierten MNO vergleichbare Standortzahlen in allen Raumtypen aufweisen. Telekom verfügt mit rund 39.000 Standorten über die höchste absolute Zahl, gefolgt von Telefónica mit knapp 35.000 und Vodafone mit rund 29.300 Standorten.²⁹ Im Jahr 2020 zeigte eine Analyse des Handelsblatts, dass die Telekom ca. 31.300, Vodafone ca. 25.000 und Telefónica rund 26.000 in Betrieb hatten.³⁰ Die Anzahl der Basisstationen hat sich bei allen Betreibern bis zum Jahr 2025 deutlich gesteigert, wobei der höchste Anstieg bei Telefónica zu verzeichnen ist.

Tabelle 2-2: Anzahl der Basisstationen je Mobilfunknetzbetreiber

Basisstationen	Telekom	Vodafone	Telefónica
urban	17.906	13.355	16.099
sub-urban	13.610	10.238	12.144
rural	7.445	5.780	6.691
Summe	38.961	29.373	34.934
Datenvolumen 2024 (GB)	3.810.000.000	3.140.000.000	5.600.000.000
Datenvolumen je Basisstation (GB)	97.790	106.901	160.302
Durchschnittliches Datenvolumen je Basisstation pro Tag (GB)	268	293	439

Quellen: EMF Datenbank der BNetzA, Stand 09.05.2025, verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/start.html>;

Datenvolumen Telekom: <https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/das-netze-jahr-2024-mobilfunk-legt-ordentlich-zu-glasfaser-boomt-1084780>, Datenvolumen Vodafone: <https://newsroom.vodafone.de/datenrekorde-im-mobilfunk-und-festnetz-von-vodafone>, Datenvolumen Telefónica: <https://www.telefonica.de/news/corporate/2025/02/geschaeftergebnisse-2024-erfolgreiche-umsetzung-des-strategieprogramms-steigert-betriebsergebnis-von-o2-telefonica.html>.

Die Daten der EMF-Datenbank zeigen, dass Telefónica auch in ländlichen Regionen das Netz ausgebaut hat, in denen gemäß Marktexperten die Telekom und Vodafone überdurchschnittlich hohe Marktanteile haben. Bis Mitte 2025 sind allein im ländlichen Raum 200 neue Masten neu in Betrieb gegangen.³¹ Somit tritt Telefónica verstärkt als

²⁹ EMF Datenbank der BNetzA, Stand 09.05.2025, verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/start.html>.

³⁰ Scheuer (2020).

³¹ S. <https://www.telefonica.de/news/corporate/2025/03/starker-jahresstart-beim-netzausbau-o2-telefonica-bringt-schnelles-netz-in-laendliche-gemeinden.html>, zuletzt abgerufen am: 26.11.2025.

Wettbewerber in ländlichen Regionen auf. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass nunmehr die infrastrukturellen Voraussetzungen vorliegen, dass die Endkunden in sämtlichen Regionen unter qualitativ sehr vergleichbaren Netzen auswählen können.

Wie ausgeprägt die Auswahl-situation sein kann, indizieren Crowd-Daten, wie sie beispielsweise von Opensignal³² veröffentlicht werden. Sie zeigen, wie gut die MNO Frequenzen, Standorte und Technologie kombinieren und welche Qualitätsunterschiede im Markt bestehen. Im folgenden Abschnitt wird daher die aktuelle Netzqualität differenziert betrachtet.

2.6 Netzqualität der Mobilfunknetze

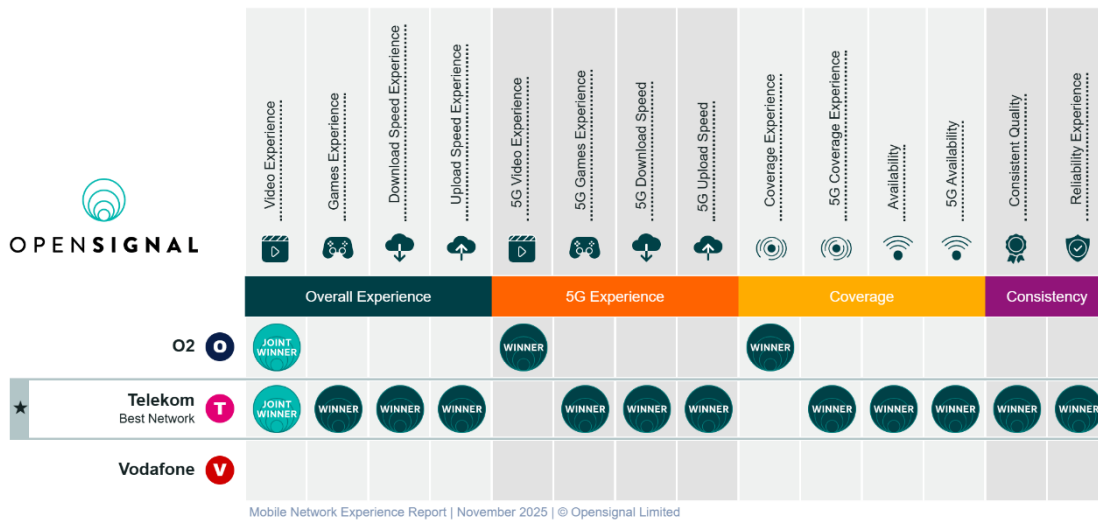
Die Netzqualität ist neben der Preissetzung ein wesentlicher Parameter in den Wettbewerbsstrategien der etablierten MNO. Die Netzqualität bzw. die Qualität der angebotenen Telekommunikationsdienste beschreibt, wie zuverlässig und leistungsfähig ein mobiles Kommunikationsnetz ist. Sie wird durch verschiedene technische Faktoren bestimmt, darunter Signalstärke, Datenübertragungsrate (Download- und Upload-Geschwindigkeit), Latenz und Stabilität der Verbindung. Auch die Verfügbarkeit von modernen Netztechnologien wie 5G spielt im Wettbewerb eine wichtige Rolle.

Zur Bewertung und zum Vergleich der Mobilfunknetze veröffentlicht u. a. Opensignal die Ergebnisse von realen Messungen durch Nutzende. Bei den Auswertungen der Messdaten entsteht ein Bild über die Netzqualität anhand verschiedener Indikatoren, bspw. Download- oder Uploadgeschwindigkeit, Gaming-Erlebnis sowie Coverage. Diese Auswertungen zeigen, dass die Mobilfunknetze in Deutschland von heterogener Qualität sind (s. Abbildung 2-6).³³

³² Opensignal (2025b).

³³ Opensignal (2025b).

Abbildung 2-6: Mobilfunckerlebnis nach Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland



Quelle: Opensignal (2025b).

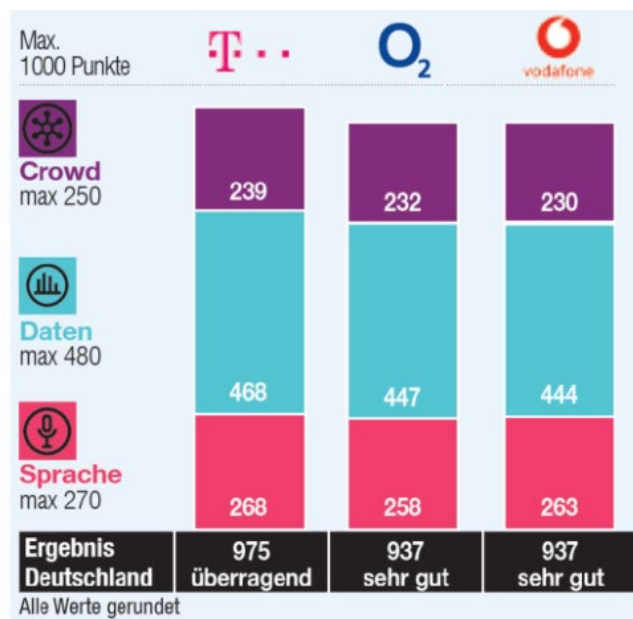
Die Analysen von Opensignal (2025b) zeigen, dass sich die Netzqualität der etablierten MNO im Vergleich zum Vorjahr verbessert hat. Im Jahr 2025 verfügt Telefónica über die beste „Coverage Experience“, während die Telekom die beste allgemeine Verfügbarkeit³⁴ hat (s. Abbildung 2-9).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch der aktuelle connect-Netztest. Die Telekom ist wiederholt Gesamtsieger des Tests. Telefónica hingegen zeigt die stärkste Aufholbewegung seit Jahren und verbessert sich um 20 Punkte gegenüber dem Vorjahr. Damit erreichen erstmals seit Beginn des Tests Telefónica und Vodafone die gleiche Punktzahl.³⁵

³⁴ Definition: Angabe, wie viel Zeit Menschen an den Orten, an denen sie sich am häufigsten aufhalten, über eine Netzwerkverbindung verfügen (Opensignal, 2025b).

³⁵ Rügheimer (2025); Heuzeroth (2025).

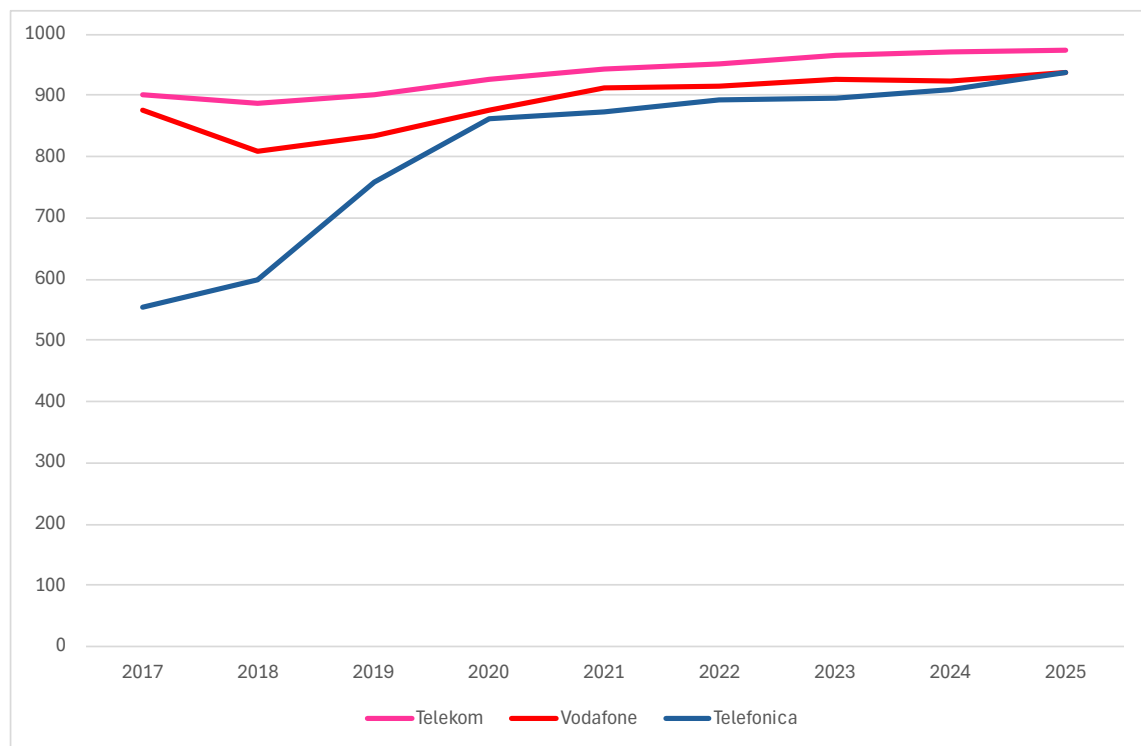
Abbildung 2-7: Mobilfunknetztest 2026: Ergebnisse Deutschland



Quelle: Rügheimer (2025).

Besonders hervorgehoben wird, dass Telefónica durch massive Netzausbauoffensiven, insbesondere in der Fläche, ihren Rückstand gegenüber früheren Jahren deutlich reduziert hat. Damit bestätigt der letzte Connect-Test, dass für Telefónica der Wettbewerb um das beste Netz ein wesentlicher Baustein ihrer Wettbewerbsstrategie ist (s. Abbildung 2-8).

Abbildung 2-8: Connect-Test-Scores (2017–2025)



Quelle: Historie der Netztest von connect, verfügbar unter: <https://www.connect.de/specials/netztest/>, zuletzt abgerufen am: 09.12.2025.

Darüber hinaus zeigen die Auswertungen von Opensignal insgesamt geringe Unterschiede zwischen den drei Mobilfunknetzen (s. Abbildung 2-9). Bei der allgemeinen Verfügbarkeit liegt die Telekom mit 98,1 % knapp vor Telefónica und Vodafone. Besonders deutlich ist der Vorsprung der Telekom bei der 5G-Verfügbarkeit (21,7 %). Insgesamt verbessern sich alle Mobilfunknetze in den Abdeckungs- und Verfügbarkeitsmetriken im Vergleich zum Vorjahr.³⁶

³⁶ Opensignal (2025b).

Abbildung 2-9: Coverage-Experience vs. (5G-)Verfügbarkeit der Mobilfunknetze in Deutschland



Quelle: Opensignal (2025b).

Ein anderes Bild entsteht im Hinblick auf die durchschnittliche Downloadgeschwindigkeit. Die Downloadgeschwindigkeit im Vergleich zum Vorjahr ist im Netz der Telekom (65,2 → 68,9 Mbit/s) und O2 (40,4 → 47,4 Mbit/s) gestiegen. Im Netz von Vodafone (57,2 → 56,3 Mbit/s) ist sie hingegen gesunken. Ebenso gibt es Veränderungen der durchschnittlichen 5G-Downloadgeschwindigkeit. Hier konnte lediglich die Telekom ihre Geschwindigkeit steigern (166,4 → 173, 8 Mbit/s), während O2 (120,3 → 114,5 Mbit/s) und Vodafone (165,0 → 154,3 Mbit/s) Rückgänge zu verzeichnen hatten.³⁷

³⁷ Opensignal (2024); Opensignal (2025b).

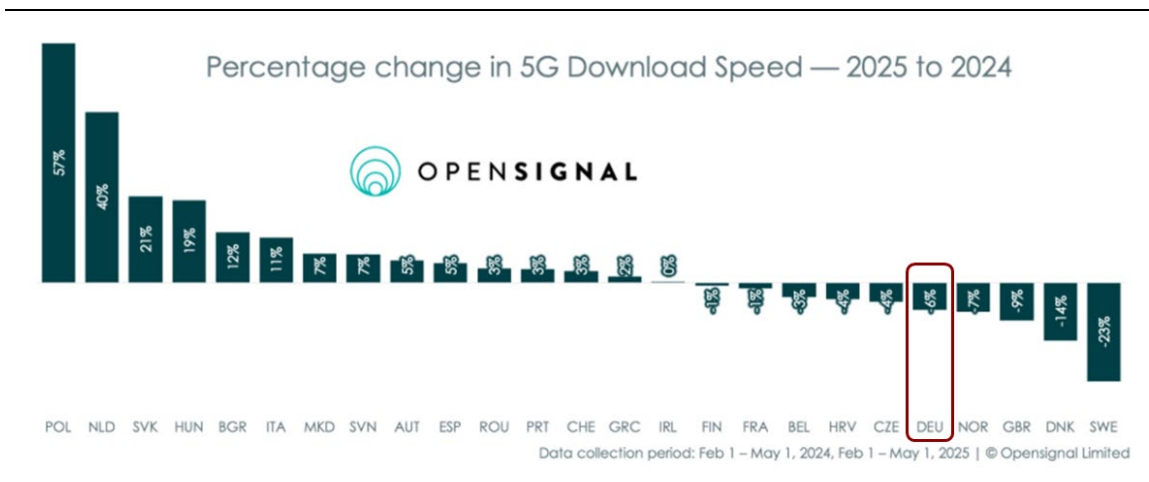
Abbildung 2-10: Downloadgeschwindigkeit in den Mobilfunknetzen in Deutschland



Quelle: Opensignal (2025b).

Die Rückgänge der durchschnittlichen 5G-Downloadgeschwindigkeit in den Mobilfunknetzen von Vodafone und Telefónica wirken sich auch negativ auf die durchschnittliche Entwicklung der 5G-Downloadgeschwindigkeit in Deutschland aus. Insgesamt hat sich im Jahresvergleich zu 2024 die 5G-Downloadgeschwindigkeit um 6 % verschlechtert. Damit hat sich die Downloadgeschwindigkeit in Deutschland im europäischen Vergleich negativ entwickelt.³⁸

Abbildung 2-11: Entwicklung der 5G-Downloadgeschwindigkeit im europäischen Vergleich



Quelle: Opensignal (2025c).

Die Betrachtung der Parameter zur Abdeckung sowie zur Downloadgeschwindigkeit zeigen auf, dass die etablierten MNO in den letzten Jahren regulatorische und marktliche Anreize hatten, ihre Netzinfrastrukturen auszubauen. Mit den Flächenversorgungsaufgaben müssen die etablierten MNO neben Investitionen in den Kapazitätsausbau auch Investitionen in die Gebiete lenken, in denen die Flächenversorgung noch unzureichend

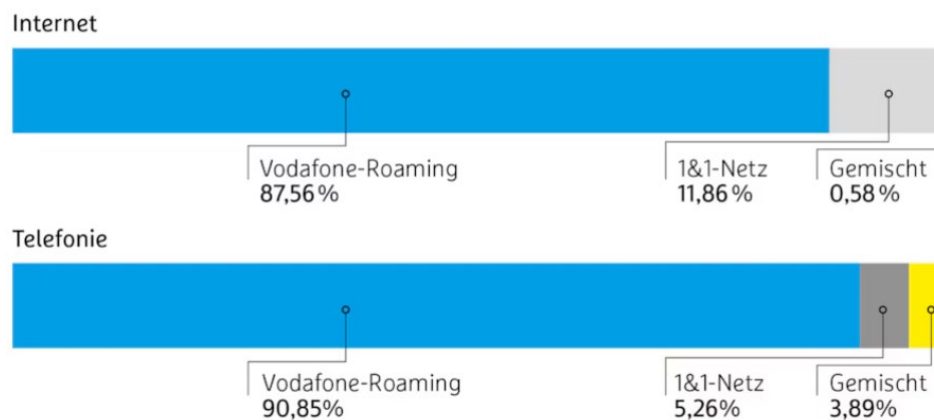
³⁸ Opensignal (2025c).

ist. Diese Investitionen haben ihre Ursache im Wesentlichen in den Flächenversorgungsauflagen.

Aufgrund des bislang noch begrenzten Standortausbaus³⁹ wird 1&1 in die Analyse des Infrastrukturwettbewerbs und der Netzqualität nicht einbezogen. Das Netz erreicht derzeit nur einen kleinen Teil der Bevölkerung bzw. Fläche. Daher sind Nutzende vielfach auf National Roaming über Vodafone bzw. ehemals Telefónica angewiesen. Dies zeigt bspw. der Netztest von Chip.⁴⁰

Abbildung 2-12: Vodafone-Roaming bei 1&1, 2025

Vodafone-Roaming ist bei 1&1 der Normalfall



Quelle: Mandau (2025).

Demnach läuft rund 88 Prozent des Internetverkehrs von 1&1-Kunden über das Vodafone-Netz und selbst Telefonie wird in vielen Fällen nicht über die eigene Infrastruktur abgewickelt.⁴¹

Auch in der Fläche zeigt ein Netztest von connect durch Messungen von umlaut, dass sich die Basisstationen von 1&1 vornehmlich in Ballungsgebieten befinden. In ländlichen Regionen wird auf das National-Roaming-Netz zurückgegriffen.⁴²

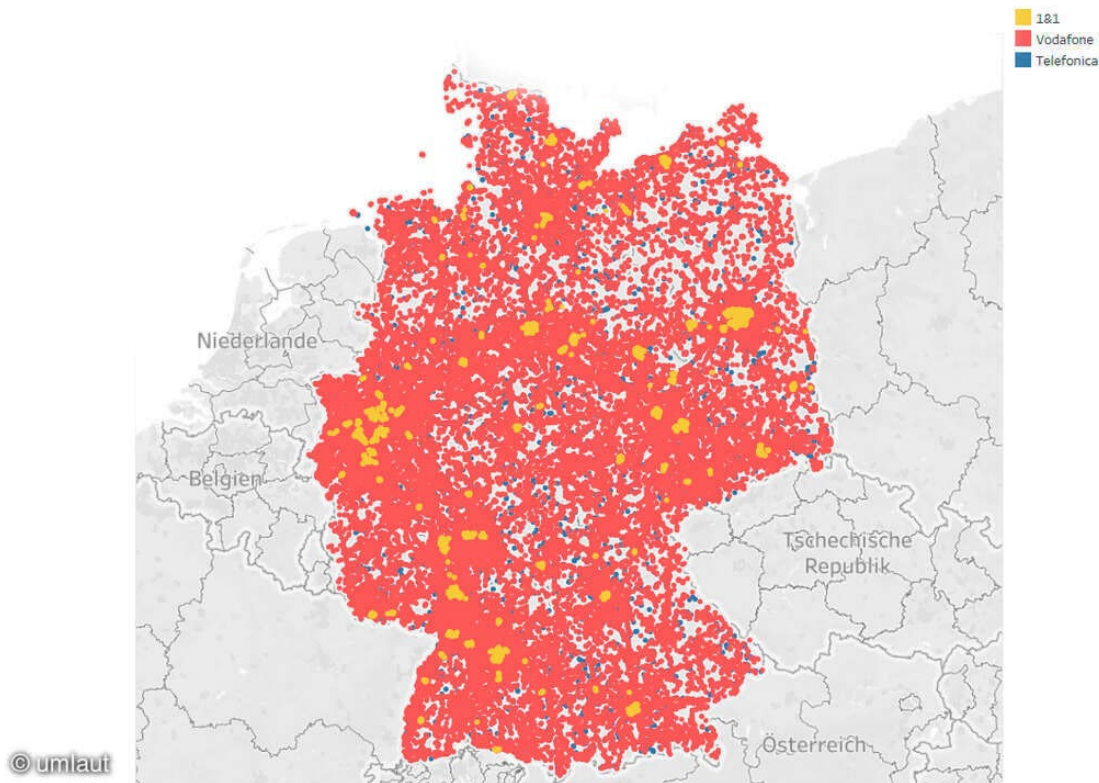
³⁹ Analysen der EMF-Datenbank der BNetzA (Stand 09.05.2025) zeigen, dass das Mobilfunknetz der 1&1 insgesamt 2.402 Standorte umfasst.

⁴⁰ Mandau (2025).

⁴¹ Mandau (2025).

⁴² connect (2025).

Abbildung 2-13: Abdeckungskarte des 1&1-Mobilfunknetzes inkl. NationalRoaming



Quelle: connect (2025).

Solange die Netzabdeckung von 1&1 noch sehr begrenzt ist und Roaming dominiert, lässt sich die Qualität des tatsächlichen 1&1-Netzes nicht verlässlich bewerten. Die Auswirkungen auf den Infrastrukturwettbewerb sind demnach aktuell begrenzt.

2.7 Zwischenfazit

Neben den Wettbewerbsstrategien der MNO beeinflussen Versorgungsauflagen das Verhalten der MNO. So zeigen Studien über die Auswirkungen von Versorgungsauflagen, die im Zusammenhang mit der Vergabe von Frequenznutzungsrechten auferlegt wurden, dass Versorgungsauflagen positiv signifikante Effekte auf Mobilfunkabdeckung⁴³ und -qualität⁴⁴ haben.

Insbesondere seit der Vergabe von Frequenznutzungsrechten im Jahr 2019 und den damit einhergehenden Versorgungsauflagen haben die drei etablierten MNO ihre Mobilfunknetze so ausgebaut, dass verschiedene Messungen aktuell zu dem gemeinsamen Ergebnis kommen, dass sich die Mobilfunkversorgung in Deutschland verbessert hat.

⁴³ Sörries et al. (2020).

⁴⁴ Baischew et al. (2025).

Insbesondere hat die Telefónica durch ihren Netzausbau den Infrastrukturwettbewerb verschärft. Damit vergrößern sich gerade aus Sicht von Kunden, die in ländlichen Regionen leben, die Auswahlmöglichkeiten. Das wird den Wettbewerb unter den drei etablierten MNO voraussichtlich weiter beleben. Des Weiteren zeigen die Daten, dass obwohl sich die Qualität der Versorgung in den drei Netzen annähert, sich die MNO beispielsweise über Datenübertragungsraten bei 5G weiter differenzieren können. Die regulatorischen Rahmenbedingungen und die Marktentwicklungen deuten an, dass derzeit Investitions- und Innovationsanreize bestehen, die den Wettbewerb fördern.⁴⁵ Das von den Versorgungsaufgaben vorgegebene Mindestniveau schränkt somit den Qualitätswettbewerb nicht ein. Es lässt für die MNO Spielräume nach oben, d.h. für eine höhere Netzqualität zu.

Auch Opensignal beurteilt die Wettbewerbsverhältnisse im deutschen Mobilfunkmarkt als kompetitiv. Vor allem zwei strukturelle Faktoren beeinflussen demnach den Wettbewerb:⁴⁶

- Erstens finden bei allen MNOs laufende und zukünftige Modernisierungen in den Mobilfunknetzen statt. So wird die schrittweise Abschaltung der 2G-Netze Frequenzen für breitbandige Anwendungen freimachen.⁴⁷ Ebenso werden die 5G-Netze weiter ausgebaut. Parallel baut 1&1 derzeit sein cloudbasiertes Open RAN-Netz auf.⁴⁸
- Zweitens spielt laut Opensignal (2025a) die Flächenversorgungsaufgabe der Verlängerung der Frequenznutzungsrechte aus dem Jahr 2025 eine bedeutende Rolle für den Wettbewerb, da die Versorgungsaufgaben Einfluss auf die Investmentstrategien der Mobilfunknetzbetreiber nehmen. Laut der Analyse von Opensignal (2025a) haben die Versorgungsaufgaben bereits zu einer verbesserten Konnektivität geführt. Besonders deutlich wird dieser Effekt entlang von Verkehrswegen.⁴⁹

Insgesamt ist damit festzustellen, dass die symmetrischen Versorgungsaufgaben bisher nicht den Infrastrukturwettbewerb eingeschränkt haben.

⁴⁵ Vgl. dazu auch Coppik, Haucap & Heimeshoff (2024).

⁴⁶ Opensignal (2025b).

⁴⁷ Die Telekom beabsichtigt, ihr 2G-Netz im Juni 2028 abzuschalten, um das freiwerdende Spektrum effizienter für 4G und 5G einsetzen zu können. Siehe dazu auch WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 520.

⁴⁸ Opensignal (2025b).

⁴⁹ Opensignal (2025b).

3 Mobilfunk und Mindestversorgung

Im Weiteren werden die folgenden Leitfragen aus der Einleitung aufgegriffen:

- Legen die Versorgungsaufgaben die Grundlage für eine Mindestversorgung, die gemäß der TKMV Versorgungslücken füllen kann?
- Welche Parameter sind für die Erhebung TKMV-konformer Versorgungsinformationen für den Mobilfunk mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit notwendig?

Ziel ist es zu eruieren, welche Parameter und Erhebungen geeignet sind, die Transparenz über die Qualität in den öffentlichen Mobilfunknetzen zu verbessern.

3.1 Recht auf Versorgung mit einem angemessenen Breitband-Internetzugangsdienst⁵⁰

Das Telekommunikationsgesetz (TKG) garantiert einen Anspruch auf eine Grundversorgung mit Telekommunikationsdiensten an einem festen Standort. Dieser Rechtsanspruch umfasst den Zugang bzw. die Verfügbarkeit von Sprachkommunikationsdiensten und Internetzugangsdiensten zur Sicherung der sozialen und wirtschaftlichen Teilhabe.⁵¹ Der Internetzugangsdienst soll dabei insbesondere die Nutzung grundlegender Online-Dienste und -Anwendungen⁵² sowie Telearbeit einschließlich Verschlüsselungsverfahren im üblichen Umfang und Online-Inhalte-Dienste (z. B. Videostreaming) im marktüblichen Umfang ermöglichen. Die gesetzlichen Regelungen zum Versorgungsanspruch sind in den §§ 156 bis 163 TKG verankert.⁵³

Ein Kernelement des Universaldienstregimes ist die Festsetzung technischer Mindestanforderungen, die einen angemessenen Breitband-Internetzugangsdienst definieren, der überall verfügbar sein muss. Diese Mindestanforderungen sind technologie-neutral festzulegen und beinhalten neben Vorgaben für die Download- und Upload-Raten potenziell weitere Qualitätsparameter (d. h. Latenz, Jitter). Wie bereits erwähnt, sind die Mindestanforderungen so festzulegen, dass die bereitgestellte Bandbreite zumindest die in

⁵⁰ Detaillierter Ausführungen zum Universaldienstregime in Deutschland finden sich in G. Kulenkampff, et al (2023) Nettokosten der Grundversorgung – Methodik und Technologievergleich, WIK-Diskussionsbeitrag 516, verfügbar unter <https://www.wik.org/veroeffentlichungen/veroeffentlichung/nettokosten-der-grundversorgung-methodik-und-technologievergleich-nr-516>, Aufruf 27.11.2025, Nett, L., Sörries, B., Zoz, K. (2022), Eine anreizökonomische Analyse des neuen Universaldienstregimes zur Versorgung mit schnellem Internet in Deutschland, N&R 1/2022 sowie Neumann, A. (2025): Von der Reserveregulierung zur Sicherstellung einer flächendeckenden Breitbandinfrastruktur?, N&R 2/25.

⁵¹ Siehe bspw. [Bundesnetzagentur, Grundversorgung \(auch: Universaldienst\)](#), zuletzt abgerufen am: 02.10.2025.

⁵² Die Mindestanforderungen ermöglichen insbesondere die in Anhang V des Kommunikationskodex gelisteten Dienste (siehe hierzu [Richtlinie \(EU\) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation \(Neufassung\)Text von Bedeutung für den EWR. \(europa.eu\)](#), zuletzt aufgerufen am 27.11.2025.

⁵³ Diese setzen die europarechtlichen Vorgaben in nationales Recht um, die insoweit im Kommunikationskodex (Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018) Artikel 84 bis 92 sowie dessen Anhängen V, VI, VII und X niedergelegt sind.

Anhang V des EEKK genannten Dienste⁵⁴ unterstützt. Bei der Festlegung weiterer Qualitätsanforderungen ist darauf zu achten, dass die Parameter, Definitionen und Messverfahren für die Dienstqualität gemäß Anhang X des Kommunikationskodex⁵⁵ verwendet werden. Dabei soll die minimale Bandbreite, die von der Mehrheit der Nutzenden im jeweiligen Mitgliedstaat genutzt wird, berücksichtigt werden. Zudem soll die Anreizwirkung für den privatwirtschaftlichen Breitbandausbau sowie für Breitbandfördermaßnahmen einbezogen werden.

Die gegenwärtig geltenden Mindestanforderungen an einen angemessenen Breitbandinternetzugangsdienst sind:⁵⁶

- Erzielbare Bandbreite im Download: mindestens 15 Megabit pro Sekunde.
- Erzielbare Bandbreite im Upload: mindestens 5 Megabit pro Sekunde.
- Eine Latenz von maximal 150 Millisekunden.

Vor dem 30. Dezember 2024 galten als Mindestwerte 10 Megabit pro Sekunde im Download und 1,7 Megabit pro Sekunde im Upload.

Das derzeitige Universaldienstregime zielt darauf ab, allen Bürgerinnen und Bürgern Deutschlands einen angemessenen Breitbandzugang mit diesen technischen Mindestanforderungen zur sozialen Teilhabe landesweit zur Verfügung zu stellen. Die Vorgaben sind technologieneutral, sodass ein Breitbandinternetzugangsdienst leitungsgebunden (beispielsweise VDSL, Koaxial oder Glasfaser), über Mobilfunk (4G, 5G) oder Satellit bereitgestellt werden kann.⁵⁷

⁵⁴ Anhang-V-Dienste umfassen: E-Mail, Suchmaschinen, grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung, Online-Zeitungen bzw. Online-Nachrichten, Online-Bestellungen, Online-Arbeitssuche, Online-Banking, Online-Behörrendienste, soziale Medien und Sofortnachrichtendienste, Online-Anrufe und Videoanrufe, Online-Inhalte-Dienste (Streaming), Home-Office inklusive üblicher Verschlüsselungsverfahren und Online-Angebote zur beruflichen Vernetzung.

⁵⁵ Siehe [Richtlinie \(EU\) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation \(Neufassung\)Text von Bedeutung für den EWR. \(europa.eu\)](#), zuletzt aufgerufen am 27.11.2025.

⁵⁶ Siehe hierzu <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Grundversorgung/start.html>, Aufruf 10.10.2025. Zu den Festlegungen der Mindestanforderungen siehe WIK-Consult & zafaco (2024): Mehrpersonenhaushalte, technische Mindestanforderungen Internetzugang, Bad Honnef, 31. Januar 2024, verfügbar unter: https://www.wik.org/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Veroeffentlichungen/Studien/2024/WIK-C_Gutachten_Technische-Mindestanforderungen-Internetzugang.pdf, Aufruf: 27.11.2025.

⁵⁷ Vgl. Nett, Sörries & Zoz (2022).

3.2 Tools und Parameter für die Mobilfunkmessung

Um einschätzen zu können, ob an einer gegebenen Adresse der öffentliche Mobilfunk die Anforderungen der TKMV erfüllt, sind eine Reihe von technischen Parametern zu betrachten. Bisher standen in der öffentlichen Diskussion technische Parameter im Fokus, die Aussagen über Erfüllung von Versorgungsaufgaben zulassen.⁵⁸ Hierbei wurde, wie in der Einleitung erwähnt, kritisiert, dass diese technischen Parameter nicht immer mit den Nutzererfahrungen vereinbar seien. Im Rahmen der Konsultation zur Verlängerung von Mobilfunkfrequenzen im Jahr 2024⁵⁹ wurde deshalb diskutiert, hier Änderungen vorzunehmen. Während die Mobilfunknetzbetreiber einer Überarbeitung der Parameter kritisch gegenüberstanden und insoweit für die Beibehaltung aktueller Parameter eintraten,⁶⁰ traten Vertreter von Gebietskörperschaften dafür ein, Änderungen vorzunehmen. Die angestrebte Downloadgeschwindigkeit von 50 Mbit/s im Zellsektor wecke bei den Nutzenden eine hohe Erwartung an die Versorgungsqualität, die aber nicht eintreten würde. Die Bundesnetzagentur möge deshalb nutzungsorientierte Parameter oder eine Versorgung, die Nutzende realistisch erwarten könnten, vorgeben.

In Reaktion auf die unterschiedlichen Positionen wird die Bundesnetzagentur prüfen, wie die Nutzenden-Perspektive bei der Vergabe zukünftiger Frequenznutzungsrechte berücksichtigt werden kann.⁶¹

3.2.1 Mobilfunkmessungen der Bundesnetzagentur

Die Bundesnetzagentur führt verschiedene Überprüfungen und Messungen zur Einschätzung der Mobilfunkversorgungsqualität durch. Erstens überprüft die Bundesnetzagentur die Einhaltung der Versorgungsaufgaben, zweitens gibt es Mobilfunkmessungen durch private Nutzende der Breitbandmessung/Funkloch-App⁶² und drittens gibt es das standardisierte Messverfahren des Mobilfunk-Monitorings, welches aus Perspektive der Nutzenden durch die Bundesnetzagentur bzw. beauftragte Messunternehmen durchgeführt wird.⁶³

Zur Überprüfung der Einhaltung der Versorgungsaufgaben führt der Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur in festgelegten Referenzgebieten Messungen zu standardisierten Bedingungen durch. Mit Scannern werden die Pegelwerte gemessen und daraus

⁵⁸ Beispielsweise der RSRP-Wert zur Messung der geforderten Datenraten im Antennensektor, siehe Tabelle 3-2.

⁵⁹ Die entsprechenden Stellungnahmen sind auf der Website der Bundesnetzagentur verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/x_abgeschlossen/start.html.

⁶⁰ Deutsche Telekom AG & Telekom Deutschland GmbH (2024).

⁶¹ S. <https://www.bundesnetzagentur.de/1053942>, zuletzt abgerufen am: 01.12.2025.

⁶² Zur Vereinfachung im Folgenden: Breitbandmessung-App.

⁶³ Bundesnetzagentur (2025e).

Datenraten berechnet. Durch diese Messdaten werden Analysen der Bundesnetzagentur zur Einhaltung der Versorgungsauflagen ermöglicht.⁶⁴

Mit der Breitbandmessung-App als Crowdsourcing-Methode können Nutzende mit ihren eigenen Endgeräten Mobilfunkmessungen durchführen. So können Messdaten aus realen Nutzungsumgebungen erhoben werden. Aus methodischer Sicht hat diese Erhebung die Schwäche, dass die Daten nicht unter kontrollierten und damit vergleichbaren Bedingungen erhoben werden. Die Bundesnetzagentur ist aber der Auffassung, dass die erhobenen Daten der Breitbandmessung-App ein Indiz für eine regionale Mobilfunkversorgung sein können. Zudem werden durch diese Messungen insgesamt große Datenmengen und kontinuierlich aktuelle Daten über die Mobilfunkqualität generiert.⁶⁵

Das Mobilfunk-Monitoring der Bundesnetzagentur besteht auf der Datenbasis von Mobilfunknetzbetreibern. Diese geben Prädiktionsdaten für geografische Gitterzellen (100x100 m) an. Diese Prädiktionsdaten sind die Empfangsleistungen in Pegelwerten je Mobilfunk-Technologie. Die Prädiktionsdaten werden auf der Basis von vorgegebenen Berechnungen der Bundesnetzagentur durch die Mobilfunknetzbetreiber berechnet. Die Website des Mobilfunk-Monitorings gibt eine geografische Kachel als versorgt an, wenn die prognostizierten Werte sowohl einen Mindestpegel als auch eine Mindestdatenrate erfüllen. Die Prognosen der Mobilfunknetzbetreiber werden bspw. mit den Daten der Breitbandmessung -App abgeglichen.⁶⁶

Die Messungen des Mobilfunk-Monitorings werden aus der Perspektive der Nutzenden in Rahmen von Drive-Tests durchgeführt. Dazu werden Smartphones genutzt, die Breitbanddienste und Telefonie testen. Die Endgeräte werden innerhalb des Fahrzeugs (in-Car)⁶⁷ platziert, um so ein typisches Nutzungsverhalten nachzustellen.⁶⁸

Die Messungen im Rahmen des Mobilfunk-Monitorings steht in Abgrenzung zu den Messungen zur Überprüfung der Versorgungsauflagen oder den Messungen der Breitbandmessung-App. Die Messungen werden zu definierten Bedingungen durchgeführt (im Gegensatz zur Breitbandmessung -App) und spiegeln die Perspektive der Nutzenden wider (im Gegensatz zu den Parametern der Versorgungsauflagen). Dieses standardisierte Messverfahren bietet den Vorteil, Messdaten an dem selben Ort an verschiedenen Zeitpunkten vergleichen zu können. Diese Messungen werden durch den Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur durchgeführt und finden in verschiedenen Gebietskategorien statt. Zudem können Messungen durch Dritte erfolgen, wenn diese das standardisierte Verfahren der Bundesnetzagentur anwenden. Die Tabelle 3-1 zeigt einen Überblick über die erhobenen Messwerte.⁶⁹

⁶⁴ Bundesnetzagentur (2025e).

⁶⁵ Bundesnetzagentur (2025e).

⁶⁶ Bundesnetzagentur (2025e).

⁶⁷ Siehe für eine Analyse zu Nutzungserfahrungen in abgeschlossenen Umgebungen die Studie von Wissner, Niedick & Sörries (2025).

⁶⁸ Bundesnetzagentur (2025e).

⁶⁹ Bundesnetzagentur (2025e).

Tabelle 3-1: Messwerte der Datenraten-Messung durch den Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur

Feldbezeichnung	Beschreibung
Punkt-Messung (Momentan-Werte während einer Messroutine)	
Timestamp	Zeitstempel; Lokale Zeit; Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS.s
EARFCN	Kanalnummer des Downlinks
TEMPERATUR	Gerätetemperatur in Grad Celsius
SINR	Signal-to-Noise Ratio in dB; Angabe in 4G und 5G Netzen verfügbar
RAT	Radio Access Technology; momentaner gültiger Netztyp (GSM/LTE/5G oder None)
DL_Through	downlink_throughput in Megabit/s
MCC	Mobile Country Code; kann NULL-Werte enthalten
MNC	Mobile Network Code; kann NULL-Werte enthalten
Linien-Messung (Download-Messung über Ookla, eine Messroutine)	
start	Zeitstempel zum Start des Speedtests; Lokale Zeit
stopp	Endezeit des Speedtests
DL_MbpsAVG	Ergebnis des Speedtests in Megabit/s (mittlere Download-Rate)
spTestStat	Endzustand des Speedtests

Quelle: Bundesnetzagentur (2025e).

Zusammenfassend gibt es bereits heute eine große Vielfalt an Mobilfunkmessungen, die von der Bundesnetzagentur durchgeführt werden. Allerdings sind die erhobenen Daten nicht einheitlich und beziehen verschiedene Perspektiven, wie die Sicht der Mobilfunknetzbetreiber und der Endnutzenden, ein. Somit gibt es keine einheitliche Datengrundlage, die ausführliche statistische Analysen zur Mobilfunkqualität, insbesondere für den Uplink, erlauben würde. In der bisherigen Praxis der Messung der Mobilfunkqualität dominiert die Analyse des Downlinks.

3.2.2 Unterschiede in den Parametern zur Überprüfung des Mobilfunkmonitors und des RaVT

Wie im vorherigen Kapitel analysiert, führt die Bundesnetzagentur verschiedene Messungen zur Bestimmung der Mobilfunkqualität durch. Hier dominiert die Analyse der Übertragungsraten, die für den Downlink zur Verfügung stehen. Vor dem Hintergrund der

Internetnutzung müssen im Zusammenhang mit den RaVT weitere Daten erhoben werden, insbesondere Daten über den Uplink. Die Tabelle 3-2 zeigt die wesentlichen Parameter des Mobilfunk-Monitorings. Daraus geht hervor, dass die Daten keine Aussagen zulassen, ob Nutzende 15 Mbit/s im Downlink und 5 Mbit/s im Uplink zur Verfügung stehen. Somit bedarf es der Erhebung anderer bzw. zusätzlicher Parameter.

Tabelle 3-2: Parametervorgaben des Mobilfunkmonitorings

Technologie	2G	4G	5G	
			< 3 GHz	> 3 GHz
Pegelwert [dBm]	-103	-109	-109	
Wahrscheinlichkeit am Zellrand (Pegelberechnung)	75%	75%	75%	
Antennenhöhe [m]	1,5	1,5	1,5	
Mindestdatenrate (am Zellrand)	Keine Angabe	2 Mbit/s (DL) 512 kbit/s (UL)	2 Mbit/s (DL) 512 kbit/s (UL)	5 Mbit/s (DL) 1 Mbit/s (UL)
Zellrandwahrscheinlichkeit (Datenrate)	Keine Angabe	90%	90%	
Zellauslastung	Keine Angabe	50%	50%	
Pegelwert für das LTE-Ankerband [dBm]			-120	nicht zutreffend

Quelle: Mobilfunkmonitoring der Bundesnetzagentur (2021), verfügbar unter: https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Downloads_Suche/archiv/2024/07/Parametervorgabe.pdf.pdf? blob=publicationFile&v=2.

Bei der Erhebung zusätzlicher Parameter ist Folgendes zu beachten:

- Um die Kapazitätsauslastung in den jeweiligen Funkzellen zu berücksichtigen, ist die Wahrscheinlichkeit des Pegels am Zellrand zu erhöhen (z. B. auf 90 %). Die Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von 75 % auf 90 % ist ein strengeres Abdeckungskriterium. Um den geforderten Pegel mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % zu erreichen, wären beispielsweise kleinere Zellradien, etwa durch Netzverdichtung, oder verbesserte Funkbedingungen, z. B. durch eine höhere Sendeleistung, erforderlich.
- Vor dem Hintergrund der Vorgaben zur Verfügbarkeit der TKMV-Dienste ist die Mittlere Verfügbarkeit der Dienste in der Funkzelle abzufragen.
- Die verfügbaren Bandbreiten in den jeweiligen Funkzellen hängen davon ab, ob (1) Dynamic Spectrum Sharing⁷⁰ realisiert ist, (2) wie die Frequenzen am

⁷⁰ Dynamic-Spectrum-Sharing ist eine Antennentechnologie, die eine parallele Nutzung von LTE und 5G im gleichen Frequenzband ermöglicht.

Standort für 4G und 5G aufgeteilt sind und ob und wie Carrier Aggregation (Kombinierung mehrerer Frequenzbänder) implementiert ist. Durch Carrier Aggregation lassen sich die Übertragungskapazitäten beispielsweise erhöhen.

- Des Weiteren ist relevant, ob in den Funkzellen MIMO⁷¹ zum Einsatz kommt. Hierbei ist bedeutsam, welche MIMO-Schemata eingesetzt werden.
- Ebenso ist relevant, welche Vorgaben werden für das Endgerät gemacht werden, dass das Funksignal an der Hauswand für die TKMV-Dienste verarbeitet. Je nach Konfiguration, z. B. Verfügbarkeit von Carrier Aggregation, des Endgeräts variiert die nutzbare Datenrate.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass eine Vielzahl von technischen Parametern (Pegelwert, Zellauslastung etc.) im Funknetz und im Endgerät die nutzbaren Datenraten (insbesondere für den Uplink) beeinflusst. Diese Vielzahl deutet an, dass allein vor Ort Messungen tatsächlich Klarheit über die Mobilfunkqualität geben könnten. Da jedoch eine bundesweite Messung sämtlicher (oder potenzieller) Adressen, für die TKMV-Dienste relevant sein könnten, allein aus Ressourcengründen nicht realistisch ist, stellt sich die Frage nach Alternativen. Eine Alternative können Maschine-Learning-Modelle sein.

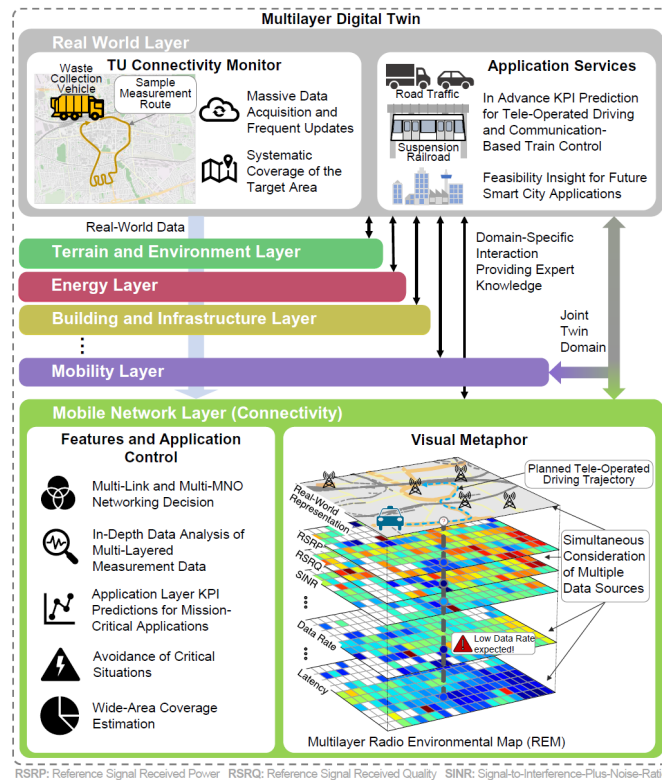
3.2.2.1 Modelle zur Prognose der Mobilfunkqualität

Neben der Überprüfung der Mobilfunkqualität durch Messungen oder Parameterabfragen bei den Mobilfunknetzbetreibern besteht die Möglichkeit, moderne Machine-Learning (ML)-Modelle einzusetzen. So ermöglicht das Modell von Schippers, Böcker und Wietfeld (2023) beispielsweise den Aufbau eines digitalen Zwillings für ein Mobilfunknetz, wie die Autoren anhand einer Fallstudie für die Stadt Dortmund aufzeigen. Zum Aufbau des digitalen Zwillings wurde eine umfangreiche Mobilfunkmesskampagne durchgeführt. Während dieser Messkampagne wurden verschiedene Parameter der Mobilfunkqualität erhoben, beispielsweise RSRP (Reference Signal Received Power) und RSRQ (Radio Signal Received Quality) sowie die Datenrate. Mithilfe eines ML-Verfahrens konnten die Daten ausgewertet und ein digitaler Zwilling des Mobilfunknetzes erstellt werden. Dieser digitale Zwilling kann zur Prognose der Mobilfunkqualität verwendet werden, u. a. zur Prognose der Datenrate, der Latenz und der Abdeckung. Dieser Prozess kann die Netzwerkplanung unterstützen. Abbildung 3-1 zeigt beispielhaft einen digitalen Zwilling eines Mobilfunknetzes.⁷²

⁷¹ MIMO: Multiple Input Multiple Output

⁷² Schippers, Böcker & Wietfeld (2023).

Abbildung 3-1: Schaubild eines digitalen Zwillings für ein Mobilfunknetz



Quelle: Schippers, Böcker & Wietfeld (2023).

Weiterhin analysieren Schippers, Böcker und Wietfeld (2023) die zehn wichtigsten Parameter der Mobilfunkmessungen, um möglichst genaue Prognosen der Datenrate und der Latenz durch das ML-Modell zu erhalten. Abbildung 3-2 zeigt diese zehn Parameter und ihre Aussagekraft zur Prognose. Die Farbe zeigt an, ob das Feature eine hohe oder niedrige Ausprägung hat. Die Dichte sagt aus, wie viele Messpunkte den jeweiligen SHapley Additive exPlanations (SHAP) Wert aufweisen.⁷³ Der SHAP-Framework ermöglicht es, die Bedeutung und den Einfluss von Features auf der Grundlage ihres entsprechenden Werts für die Prädiktion zu bewerten.⁷⁴

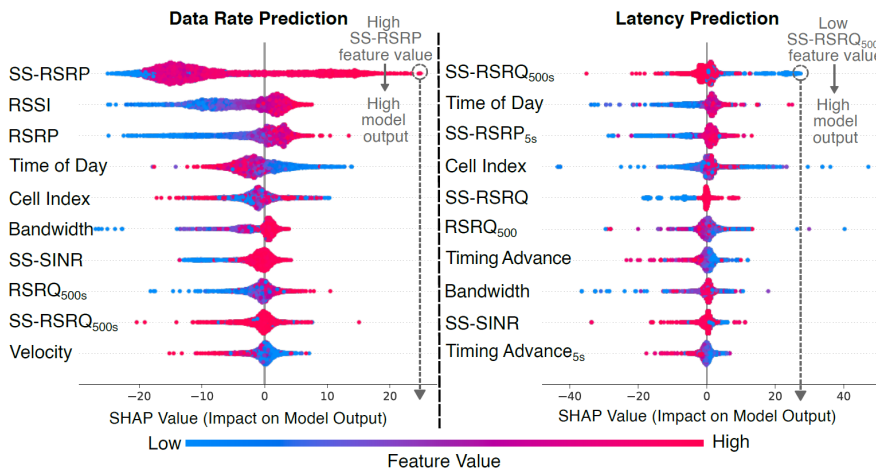
Die Datenratenvorhersage stützt sich maßgeblich auf die Signalstärke, wobei insbesondere RSRP und SS-RSRP eine große Bedeutung haben. Zusätzlich fließen weitere Merkmale wie die Tageszeit, der Zellindex und der zeitlich gemittelte RSRQ ein, die als Indikatoren für die Auslastung des Mobilfunknetzes dienen. Für die Prognose der Latenz sind vor allem Parameter relevant, die die Netzauslastung widerspiegeln. Dabei kommt der Tageszeit, dem Zellindex und insbesondere dem RSRQ eine noch höhere Bedeutung zu.⁷⁵

⁷³ Schippers, Böcker & Wietfeld (2023).

⁷⁴ Schippers, Böcker & Wietfeld (2023); Lundberg & Lee (2017).

⁷⁵ Schippers, Böcker & Wietfeld (2023).

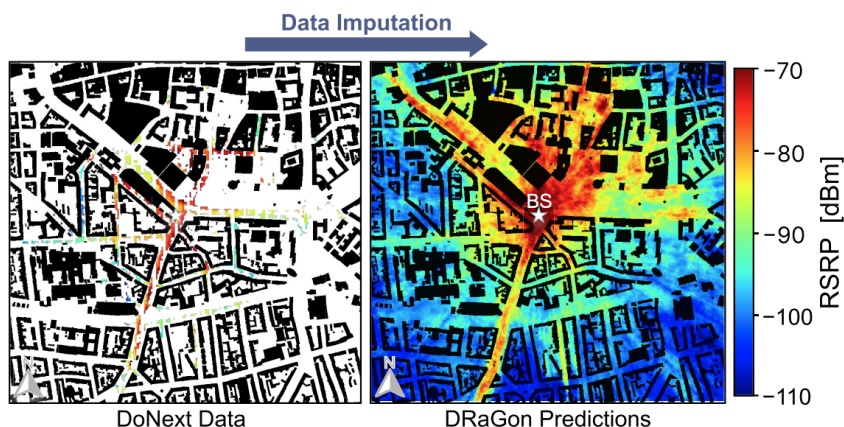
Abbildung 3-2: Die zehn wichtigsten Parameter zur Prognose der Datenrate und Latenz



Quelle: Schippers, Böcker & Wietfeld (2023).

Weiterführend nutzen Schippers et al. (2025) den generierten Datensatz der Mobilfunkmessungen zur Generierung von Konnektivitätskarten. Dafür wird das DRaGon-Modell genutzt, welches Umgebungsdaten inkludiert. Die Abbildung 3-3 zeigt beispielhaft die gesammelten Messdaten und die Prädiktion des Signalpegels (RSRP).⁷⁶ Solche Konnektivitätskarten könnten für die Prognose versorgter Haushalte mit TKMV-konformen Leistungen nützlich sein.

Abbildung 3-3: Konnektivitätskarte durch Prognose des Signalpegels



Quelle: Schippers et al. (2025).

⁷⁶ Schippers et al. (2025).

3.3 Zwischenfazit

Grundsätzlich ist es möglich, die Mindestanforderungen der TKMV über den öffentlichen Mobilfunk zu realisieren. Die aktuellen Technologien und Funknetze erfüllen grundsätzlich die technischen Anforderungen. Fraglich ist allein, ob anhand einer abstrakten Methode festgestellt werden kann, an welchen Adressen die öffentlichen Mobilfunknetze die Anforderungen erfüllen. Da sich alle Nutzenden innerhalb einer Funkzelle die vorhandene Netzkapazität teilen, schwanken die individuell nutzbaren Übertragungskapazitäten. Um die Grundversorgung zu realisieren, könnten die Dienste in einem Network Slicing bereitgestellt werden, sodass zugesicherte Mindestbandbreiten gewährleistet werden können. Dies ermöglicht eine flexible Ressourcensteuerung innerhalb einer Funkzelle und somit eine bedarfsgerechte Versorgung verschiedener Nutzungsgruppen.⁷⁷

Um beurteilen zu können, ob der Mobilfunk die vorgegebenen Parameter des TKMV tatsächlich erfüllen kann, werden geeignete Daten der Mobilfunkqualität benötigt. Eine Möglichkeit wären Mobilfunkmessungen für jeden einzelnen TKMV-Haushalt, was mit einem hohen Aufwand verbunden wäre. Alternativ könnten die Mobilfunknetzbetreiber Parameter bereitstellen, die anschließend mithilfe innovativer ML-Modelle genutzt werden, um Prognosen zur Mobilfunkqualität zu erstellen. Die erhobenen Messparameter der Bundesnetzagentur (s. Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2) weichen jedoch von denjenigen ab, die beispielsweise von Schippers, Böcker und Wietfeld (2023) als besonders relevant identifiziert wurden, um eine zuverlässige Prognose der Datenrate zu ermöglichen (s. Abbildung 3-2).

Darüber hinaus findet derzeit keine einheitliche Kommunikation seitens der Bundesnetzagentur über die Mobilfunkqualität statt, da eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter und Messmethoden zur Überprüfung der Mobilfunkqualität verwendet werden. Es gäbe die Möglichkeit, ein umfassendes Datenset aufzubauen, das alle Messmethoden berücksichtigt. Durch Codierung der jeweiligen Datenquelle könnten Unterschiede zwischen den Messmethoden und der gemessenen Datenrate besser analysiert werden. Ein großes, zusammengeführtes Datenset könnte darüber hinaus zur Verbesserung von ML-Prognosen beitragen.

⁷⁷ umlaut communications & WIK-Consult (2022).

4 Fazit und Ausblick

Die Analyse zeigt, dass symmetrische Versorgungsaufgaben, wie sie heute ausgestaltet sind, einen Infrastrukturwettbewerb ermöglichen. Über Jahrzehnte gab es eine asymmetrische Frequenzausstattung im Low-Band, die zu unterschiedlichen Netzqualitäten und regionalen Marktanteilen führte. Heute verfügen die Mobilfunknetzbetreiber über weitgehend symmetrische Frequenzportfolios, insbesondere im Low-Band-Spektrum, das für die Flächenversorgung entscheidend ist. Die Angleichung der technischen Ausgangsbedingungen, die insbesondere aus den Investitionen der Telefónica resultieren, schafft vergleichbare Voraussetzungen für den Wettbewerb in der gesamten Fläche Deutschlands. Endkunden haben jetzt noch mehr Auswahl unter vergleichbaren Infrastrukturen. Sofern einzelne MNO weiter über ihre Infrastruktur auf eine Differenzierung am Markt setzen, haben sie Anreize, die Qualität der Versorgung weiter zu steigern. Auch davon profitieren dann die Endkunden.

Im Hinblick auf die TKMV-Dienste zeigt die Analyse, dass Mobilfunk grundsätzlich einen Beitrag zur Grundversorgung leisten kann. Die technische Eignung hängt jedoch wesentlich von den verfügbaren Kapazitäten, der Zahl der Nutzenden innerhalb einer Zelle und potenziellen Priorisierungsmechanismen wie Network Slicing ab. Die heutige Datenlage ist jedoch nicht ausreichend, um die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Mobilfunks an einer Adresse im Vorhinein durch Prognosen beurteilen zu können. Die vorhandenen Messmethoden, Parameterdefinitionen und Datenquellen unterscheiden sich zu stark, sodass eine konsistente Bewertung derzeit erschwert wird. Um mehr Transparenz über die Qualität zu schaffen, was auch wieder wettbewerbsfördernd sein dürfte, sollten von den MNO weitere technische Daten erhoben werden. Diese Daten könnten dann für die Entwicklung von Machine-Learning-Tools zum Einsatz kommen, mit denen dann im besten Fall bundesweite Analysen durchgeführt werden können. Hier könnte die Bundesnetzagentur mit entsprechenden Datenerhebungen Pionierarbeit leisten.

Literaturverzeichnis

- Baischew, D., Niedick, L., Stronzik, M. & Sörries, B. (2025). Die Auswirkungen regulatorischer Rahmenbedingungen (insb. Versorgungsaufgaben) auf die Mobilfunkqualität. Bad Honnef 2025.
- BASECAMP_digital (2024). BASECAMP_Debate: Wettbewerb, Investitionen, Technologien – wie gestalten wir die Mobilfunkzukunft?, URL: https://www.basecamp.digital/basecamp_debate-nachbericht-wettbewerb-investitionen-technologien-wie-gestalten-wir-deutschlands-mobilfunkzukunft/.
- Bundesnetzagentur (2025a). Bundesnetzagentur verlängert Mobilfunkfrequenzen unter Auflagen., URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/20250324_Frequenzen.html, 03.12.2025.
- Bundesnetzagentur (2025b). Jahresbericht Telekommunikation 2024., URL: <https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2024TK1.pdf>, 09.10.2025.
- Bundesnetzagentur (2025c). Mobilfunk-Monitoring - Flächenversorgung nach Mobilfunknetzbetreiber., URL: https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Downloads_Suche/aktuell/Auswertung_Bund_anbieterspezifisch.pdf?__blob=publicationFile&v=6, 03.12.2025.
- Bundesnetzagentur (2025d). Monitoring Mobilfunk - Flächenversorgung nach Bundesland in Prozent., URL: https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Downloads_Suche/aktuell/Auswertung_Bund_Zusammenfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=7, 03.12.2025.
- Bundesnetzagentur (2025e). Messverfahren Mobilfunk-Monitoring der Bundesnetzagentur., URL: https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/Messkonzept/20250702_Messverfahren-Mobilfunk-Monitoring.pdf, 28.11.2025.
- connect (2025). 1&1-Netz: Noch außer Konkurrenz aber mit unserem Benchmark getestet., URL: <https://www.connect.de/vergleich/1-und-1-netz-sonderbetrachtung-netz-qualitaet-connect-benchmark-2026-3211255.html>, 09.12.2025.
- Coppik, J., Haucap, J. & Heimeshoff, U. (2024). Frequenzvergabe 2025: Analyse des Wettbewerbs im Mobilfunk und Handlungsoptionen der BNetzA: ein Gutachten im Auftrag der Vodafone GmbH. Düsseldorf, Deutschland 2024.
- Deutsche Telekom AG & Telekom Deutschland GmbH (2024). Stellungnahme zur Konsultation der Bundesnetzagentur zum „Entwurf einer Entscheidung über die Nichtanordnung eines Vergabeverfahrens und Verlängerung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2.600 MHz sowie einer Entschließung zur späteren Durchführung eines wettbewerblichen Verfahrens“. 2024.
- Heuzeroth, T. (2025). „Connect“-Test zeichnet das beste Mobilfunknetz aus – mit einem überraschenden Ergebnis., URL: <https://www.welt.de/wirtschaft/plus692478a73d4733cb12e6a55a/connect-test-zeichnet-das-beste-mobilfunknetz-aus-mit-einem-ueberraschenden-ergebnis.html>, 09.12.2025.

- Länderarbeitskreis TIP (2024). Stellungnahme des Länderarbeitskreises Telekommunikation, Informationswirtschaft, Post (LAK TIP) zur Konsultation der Bundesnetzagentur vom 13.05.2024 zum „Entwurf einer Entscheidung über die Nichtanordnung eines Vergabeverfahrens und Verlängerung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2.600 MHz sowie einer Entschließung zur späteren Durchführung eines wettbewerblichen Verfahrens“. 2024.
- Lundberg, S. & Lee, S.-I. (2017). A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. 2017, URL: <https://arxiv.org/abs/1705.07874>, 09.12.2025.
- Mandau, M. (2025). 1&1-Handynetz unter der Lupe: Darauf müssen Kunden achten., URL: https://www.chip.de/artikel/So-gut-ist-das-neue-Mobilfunknetz-von-1und1_186349594.html, 09.12.2025.
- Monopolkommission (2015). Telekommunikation 2015: Märkte im Wandel., URL: https://monopolkommission.de/images/PDF/SG/s73_volltext.pdf, 09.12.2025.
- Monopolkommission (2024). Stellungnahme der Monopolkommission im Rahmen der Konsultation zu dem Entwurf einer Entscheidung über die Nichtanordnung eines Vergabeverfahrens und Verlängerung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2.600 MHz sowie einer Entschließung zur späteren Durchführung eines wettbewerblichen Verfahrens. 2024.
- NERA (2024). Analyse der Nutzung von Mobilfunkfrequenzen in Deutschland. 2024.
- Nett, L., Sörries, B. & Zoz, K. (2022). Eine anreizökonomische Analyse des neuen Universaldienstregimes zur Versorgung mit schnellem Internet in Deutschland, *Netzwirtschaften & Recht* (1) 2022, 19-28.
- Opensignal (2024). Erlebnis mit Mobilfunknetzen: Deutschland, November 2024 Report., URL: <https://www.opensignal.com/de/reports/2024/11/germany/mobile-network-experience>, 29.10.2025.
- Opensignal (2025a). The German mobile experience on motorways and railways: more bars on the Autobahn., URL: <https://insights.opensignal.com/2025/04/02/the-german-mobile-experience-on-motorways-and-railways-more-bars-on-the-autobahn/dt>, 09.12.2025.
- Opensignal (2025b). Germany Mobile Network Experience Report November 2025., URL: <https://www.opensignal.com/reports/2025/11/germany/mobile-network-experience>, 26.11.2025.
- Opensignal (2025c). More frequencies, higher impact: How spectrum band usage for 5G is expanding across Europe., URL: <https://www.opensignal.com/2025/07/02/more-frequencies-higher-impact-how-spectrum-band-usage-for-5g-is-expanding-across-europe/dt>, 03.12.2025.
- Rügheimer, H. (2025). Wer hat das beste Handy-Netz in Deutschland?, URL: <https://www.connect.de/vergleich/mobilfunknetztest-2026-bestes-handy-netz-deutschland-3211181.html>, 09.12.2025.
- Scheuer, S. (2020). So steht es um das deutsche 5G-Netz. *Handelsblatt Nr. 111*, S. 6–7.

- Schippers, H., Böcker, S. & Wietfeld, C. (2023). Data-Driven Digital Mobile Network Twin Enabling Mission-Critical Vehicular Applications. in: 2023 IEEE 97th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Spring), Florence, Italy 2023, S. 1–7, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10200830/>, 28.11.2025.
- Schippers, H., Geis, M., Böcker, S. & Wietfeld, C. (2025). DoNext: An Open-Access Measurement Dataset for Machine Learning-Driven 5G Mobile Network Analysis. IEEE Transactions on Machine Learning in Communications and Networking (3), S. 585–604.
- Sörries, B., Baischew, D., Nett, L. & Stronzik, M. (2023). Nachhaltigkeit als Parameter einer ganzheitlichen und vorausschauenden Frequenzregulierung. Bad Honnef 2023, URL: https://www.wik.org/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Veroeffentlichungen/Diskus/2023/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_508.pdf.
- Sörries, B., Franken, M., Baischew, D. & Lucidi, S. (2020). Einfluss von Versorgungsaufgaben auf die Mobilfunkabdeckung in der EU. Bad Honnef 2020, URL: https://www.wik.org/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Veroeffentlichungen/Diskus/2022/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_470.pdf.
- Sörries, B. & Nett, L. (2020). Vorüberlegungen zu zukünftigen Frequenzvergaben. 2020.
- Stumpf, U., Kiesewetter, W. & Nett, L. (2005). Der Einfluss der Frequenzausstattung auf die Wettbewerbsbedingungen im deutschen Mobilfunkmarkt. Bad Honnef 2005.
- Telefónica (2024). Stellungnahme der Telefónica Germany GmbH & Co. OHG zum Entwurf einer Entscheidung über die Nichtanordnung eines Vergabeverfahrens und Verlängerung von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1.800 MHz und 2.600 MHz sowie einer Entschließung zur späteren Durchführung eines wettbewerblichen Verfahrens der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur. 2024.
- umlaut communications & WIK-Consult (2022). Realisierungsoptionen einer angemessenen Versorgung über Mobilfunk im Kontext des novellierten Universaldienstes. 2022, URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Grundversorgung/Gutachten_umlaut_WIK_Mobilfunk.pdf?__blob=publicationFile&v=1, 06.10.2025.
- VATM (2025). 26. TK-Marktanalyse Deutschland 2025. Köln 2025, URL: <https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2025/05/VATM-Marktstudie-2025.pdf>.
- WIK-Consult & EY (2023). Wettbewerbsverhältnisse im Mobilfunkmarkt., URL: https://www.wik.org/fileadmin/user_upload/Unternehmen/Veroeffentlichungen/Studien/2024/WIK-C_Gutachten_Wettbewerbsverhaeltnisse.pdf, 17.10.2025.
- Wissner, M., Niedick, L. & Sörries, B. (2025). Nutzererfahrungen zu Mobilfunk in abgeschlossenen Umgebungen – Analyse der Indoor- bzw. InCar-/InTrain-Versorgungsaufgaben. Bad Honnef 2025.

ISSN 1865-8997