

TELEKOMMUNIKATION

Messverfahren

Mobilfunk-Monitoring der
Bundesnetzagentur



Bundesnetzagentur

Messverfahren Mobilfunk-Monitoring der Bundesnetzagentur

Stand: Juli 2025

**Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen**

Referate 214, 511, PMD

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

Tel.: +49 228 14-0

Fax: +49 228 14-8872

E-Mail: info@bnetza.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Messverfahren Mobilfunk-Monitoring der Bundesnetzagentur.....	4
1.1 Hintergrund und Adressatenkreis	4
1.2 Allgemeine Informationen.....	5
1.3 Messverfahren.....	6
1.4 Definition von Gebietskategorien und Auswahl von Gebieten.....	7
2 Messsystem.....	8
2.1 Allgemeines	8
2.2 Mobilfunkendgeräte	9
2.3 Anforderungen an die SIM-Karten.....	10
2.4 Einstellungen bei der Konfiguration Endgerät / SIM-Karte.....	10
2.5 Positionierung und Befestigung der Endgeräte.....	10
2.6 Untersuchung des Messaufbaus im EMV Messlabor Kolberg.....	12
3 Messverfahren / Durchführung der Messungen.....	13
3.1 Allgemeines	13
3.2 Messung der Sprachtelefonie	14
3.3 Messung der Datenrate.....	17
4 Ausblick.....	20
5 Voraussetzungen für die Nutzung des Messverfahrens durch Dritte.....	20
6 Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis.....	23
7 Anhang.....	25

1 Messverfahren Mobilfunk-Monitoring der Bundesnetzagentur

1.1 Hintergrund und Adressatenkreis

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat die Bundesnetzagentur beauftragt, die Einzelmaßnahme „Messpaket“ aus der Gigabitstrategie der Bundesregierung 2022 umzusetzen: „Abstimmung eines einheitlichen Messkonzeptes, Durchführung eigener Messungen der Bundesnetzagentur und Analyse der Ergebnisse. Validierung und Abgleich mit Daten aus innovativen Messmethoden, zum Beispiel der Länder und Kommunen.“¹ Hierfür erforderlich ist die Definition eines einheitlichen Konzepts für Messungen aus einer nutzernahen Perspektive. Dazu werden sollen die Einflussfaktoren auf die Messungen, wie Nutzungskontext (vorerst In-Car-Messungen), Auswahl des Endgeräte-Typs oder eine Reduktion potentiell störender Faktoren möglichst vereinheitlicht werden.

Auf Grundlage des einheitlichen Messkonzeptes sollen durch den Prüf- und Messdienst (PMD) der Bundesnetzagentur eigene Messungen durchgeführt und die Ergebnisse analysiert werden. Zudem soll es weiteren Interessenten (z. B. Beauftragte der Bundesländer und Kommunen) ermöglicht werden, Messungen auf Basis dieses Messkonzeptes durchzuführen, um so vergleichbare Messdaten zu erzeugen und austauschen zu können.

Die Messungen werden in Anlehnung an die Sicht der Nutzerinnen und Nutzer von mobilen Telekommunikationsdiensten durchgeführt. Das heißt, dass die Nutzung breitbandiger Dienste durch die Messung der Datenrate sowie der Sprachtelefonie über Mobilfunkendgeräte abgebildet wird. Die Umgebung einer kundennahen Nutzung wird durch die Platzierung der Endgeräte innerhalb des Messfahrzeugs vorgegeben. Sämtliche Messbedingungen werden von der Durchführung des Messverfahrens über die Bedingung der Positionierung des Messequipments bis hin zur Steuerung und zum Monitoring, durch das Messkonzept transparent dokumentiert und vereinheitlicht.

Die Messungen sollen in ausgewählten Referenzgebieten durch Befahrung mit den Messfahrzeugen des PMD (sogenannte Drive-Tests) durchgeführt werden. Da die Messungen durch externe Faktoren, z. B. die Auslastung des Netzes (Nutzung als Shared-Medium) oder die Verfügbarkeit (z. B. durch Wartung der Technik) beeinflusst werden können, sollen Messungen wiederholt in den jeweiligen Referenzgebieten durchgeführt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt soll das Messkonzept für Messungen über Rucksack-Systeme (sogenannte Walk-Tests) weiterentwickelt werden.

Gemäß der Umsetzung des Messpakets werden die auf Grundlage des Messkonzeptes durch den PMD erzeugten Messdaten genutzt, einen Abgleich mit den von den Mobilfunknetzbetreibern übermittelten Informationen der tatsächlichen, standortbezogenen Mobilfunknetzabdeckung sowie der lokalen Schwerpunkte von Verbindungsabbrüchen bei der Sprachtelefonie und der Grad der Versorgung entlang von Verkehrswegen (Mobilfunk-Monitoring gemäß § 103 TKG) vorzunehmen und zudem eine Validierung und den Abgleich von Daten aus innovativen Messmethoden zu ermöglichen. Daten dieser Messmethoden können z. B. Daten auf Basis der Funkloch-App aus den geplanten bundesweiten Messwochen sein.

¹ Gigabitstrategie der Bundesregierung, 13.07.2022

Daten Dritter, z. B. durch behördliche Stelle oder durch sie beauftragte Dienstleister, die entsprechend der Vorgaben des Messkonzepts erzeugt und der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellt werden, können ebenfalls für die zuvor beschriebenen Analysen der Mobilfunkversorgung genutzt werden. Zudem ist die Visualisierung aller geeigneten Daten im Gigabit-Grundbuch geplant. Eine mögliche Darstellung soll vor dem Hintergrund einer nutzerbezogenen/anwendungsbezogenen Einschätzung der Versorgung geschehen und wird dabei keine absoluten Messergebnisse und auch kein Ranking der Versorgung der einzelnen Mobilfunknetzbetreiber abbilden.

Dieses Messkonzept beschreibt in Abgrenzung zu anderen von der Bundesnetzagentur veranlassten oder durchgeführten Messungen (Versorgungsaufgaben und Funkloch-App) ein Messverfahren, welches einerseits unter festgelegten Bedingungen durchgeführt wird und andererseits einer nutzernahen Perspektive folgt. Durch die Funkloch-App, einem Crowdsourcing-basierten Ansatz, erfolgen die Messungen durch eine Vielzahl unterschiedlicher Nutzerinnen und Nutzer mit eigenen Endgeräten, am Ort der Nutzung und durch die große Anzahl von Messungen auch flächenmäßig weit verteilt. Jedoch erfolgen die Messungen nicht unter kontrollierten, vergleichbaren endkundenseitigen Bedingungen. Die Messungen der Versorgungsaufgaben durch den PMD der Bundesnetzagentur werden in festgelegten Referenzgebieten unter definierten Bedingungen durchgeführt, wofür über Scanner die verfügbaren Pegelwerte erfasst und daraus nutzbare Datenraten berechnet werden.

Für die Messungen durch den PMD wurden von den Mobilfunknetzbetreibern handelsübliche SIM-Karten zur Verfügung gestellt. Zu den damit erzeugten Messdaten soll ein Austausch mit den Mobilfunknetzbetreibern stattfinden, um eigene Analysen zu ermöglichen. Zudem können in Abstimmung mit der Bundesnetzagentur ausgewertete Ergebnisdaten für Analysen oder die Darstellung zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Allgemeine Informationen

Datenquellen zur Mobilfunkversorgung und deren Überprüfung

Für das Mobilfunk-Monitoring sind die Mobilfunknetzbetreiber aufgefordert, für jede Gitterzelle (100 x 100 Meter) Pegelangaben für die Empfangsleistung nach Frequenzbereichen je Technologie (2G, 4G und 5G) zu machen. Die Gitterzellen des geografischen Gitters² basieren dabei auf Angaben des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG). Bei den bereitgestellten Daten handelt es sich um berechnete Werte (Prädiktionsdaten). Für die Berechnung durch die Mobilfunknetzbetreiber macht die Bundesnetzagentur Vorgaben, u. a. zu technischen Parametern für die Qualität des Signals oder der Höhe der Antenne. Eine Versorgung auf Basis der berechneten Werte wird bei Erreichen eines vorgegebenen Mindestpegels und einer Mindestdatenrate in den Karten des Mobilfunk-Monitorings³ dargestellt.

Die Angaben der Mobilfunknetzbetreiber werden derzeit von der Bundesnetzagentur mithilfe der Daten der Funkloch-App plausibilisiert.

² Geografisches Gitter für Deutschland (GeoGitter national), Quelle: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/geographische-gitter-fur-deutschland-in-utm-projektion-geogitter-national.html>

³ Gigabit-Grundbuch: <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/start.html>

Über die Funkloch-App werden Daten von privaten Nutzerinnen und Nutzern mit eigenen Endgeräten erzeugt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die so erzeugten Daten nicht unter einheitlichen Messbedingungen gewonnen werden und auch nicht flächendeckend oder in den für eine Nachprüfung relevanten Gebieten vorliegen können. Die Daten geben jedoch Indizien für den Grad der Versorgung in bestimmten Gebieten. Bedeutsam ist jedoch, dass entsprechende Daten in ausreichender Menge und Aktualität in den relevanten Gebieten vorliegen.

Um die Datenbasis von Breitbandmessung / Funkloch-App zu verbreitern und zu vertiefen wurde im Mai dieses Jahres erstmals eine bundesweite Mobilfunk-Messwoche als Initiative von Bund, Ländern und Kommunen durchgeführt. Über eine Kommunikationskampagne wurden Bürgerinnen und Bürger dazu aufgefordert, im Aktionszeitraum mit Hilfe der Funkloch-App möglichst viele Messungen vorzunehmen.

Messungen durch den Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur

Für die Validierung der von den Mobilfunknetzbetreibern bereitgestellten Daten sollen durch den Prüf- und Messdienst über ein festgelegtes Messverfahren nach einheitlichen Vorgaben Messungen der Datenrate und der Sprachtelefonie durchgeführt werden.

Entsprechend unterschiedlicher Gebietskategorien, die unter geografischen Aspekten und der Betrachtung der Besiedlungsdichte ausgewählt werden, sollen deutschlandweit verschiedene Referenzgebiete bestimmt werden. Um die Messungen deutschlandweit in ausgewählten Gebieten zu realisieren, wurden 19 regionale Messstellen des PMD mit entsprechender Technik zur Durchführung der Messungen ausgestattet. Für die Überprüfung der Datenrate werden als Referenzgebiete unterschiedliche Gebietskategorien definiert, anhand derer sich die Daten der Mobilfunknetzbetreiber validieren lassen. So können ggf. Anpassungen an der Parametrisierung der Planungstools der Netzbetreiber vorgenommen werden, um die Datenqualität zu optimieren.

Ein festgelegtes Messverfahren nach einheitlichen Vorgaben bietet dabei den Vorteil, Messungen in denselben Messgebieten zu unterschiedlichen Zeiten (z. B. andere Zellauslastung) zumindest unter den Aspekten einer einheitlichen Messdurchführung und unter Nutzung entsprechenden Mess-Equipments zu wiederholen. Auch bietet dieses Verfahren die Möglichkeit durch die Beteiligung und Unterstützung Dritter, Daten in vergleichbarer Qualität austauschen zu können.

1.3 Messverfahren

Messung der Datenrate

- Durch die Messungen soll eine durch das Endgerät nutzbare Datenrate aufgezeichnet werden
- Hierzu werden in definierten Gebieten öffentlich befahrbare Verkehrswege abgefahren, um die Messungen durchzuführen
- Die Koordinaten der befahrenen Strecken werden aufgezeichnet, um bei einer wiederholten Messung die gleiche Strecke zu befahren
- Die Messfahrten sollen nach Möglichkeit zu verschiedenen Zeiten wiederholt werden, um unterschiedliche Auslastungen des Netzes ermitteln zu können

Messung der Sprachtelefonie

- Die Messungen zur Sprachtelefonie erfolgen entlang der Verkehrswege, parallel zu den Messungen der Datenrate
- Es sollen beide Verkehrsrichtungen der ausgewählten Strecken befahren werden
- Streckenabschnitte, auf denen dabei Verbindungsabbrüche registriert werden, sollen wiederholt befahren werden

1.4 Definition von Gebietskategorien und Auswahl von Gebieten

Alle Messungen werden in zuvor festgelegten Referenzgebieten durchgeführt. Dafür wird eine Route bestimmt, auf der das Messfahrzeug die Strecke möglichst wiederholgenau befahren kann.

Die auszuwählenden Referenzgebiete müssen bestimmten Anforderungen genügen:

- Berücksichtigung verschiedener Gebietskategorien hinsichtlich topografischer Gegebenheiten, durch die eine Ausbreitung von Signalen unterschiedlich beeinflusst wird (z. B. durch Berücksichtigung von flachen oder bergigen Gebieten)
- Berücksichtigung der Besiedlungsdichte (z. B. gering besiedelt, mittlere Besiedlungsdichte, dicht besiedelt)
- Räumliche Ausdehnung des zu befahrenden Referenzgebietes, so dass das Mess-Team des PMD dieses innerhalb eines Tages durchfahren kann. Ausprägung z. B. 10 x 10 Kilometern, Gesamtstreckenlänge zwischen 100 und 150 Kilometern
- Auswahl der Strecken nach den Gesichtspunkten der Befahrbarkeit mit dem Messfahrzeug, z. B. über befestigte Wege, Möglichkeit des Fahrens von Schleifen / Wendemöglichkeit

Die Referenzgebiete werden so bestimmt, dass jeder Messstelle des PMD nach Möglichkeit eine Auswahl unterschiedlicher Gebietskategorien zur Verfügung gestellt wird.

Die verschiedenen Referenzgebiete werden in einem ersten Schritt über die Software ArcGIS modelliert und dem PMD dann als Shape-Datei zur Verfügung gestellt. Aus diesen Daten generiert der PMD die durch das jeweilige Mess-Team zu befahrende Strecke.

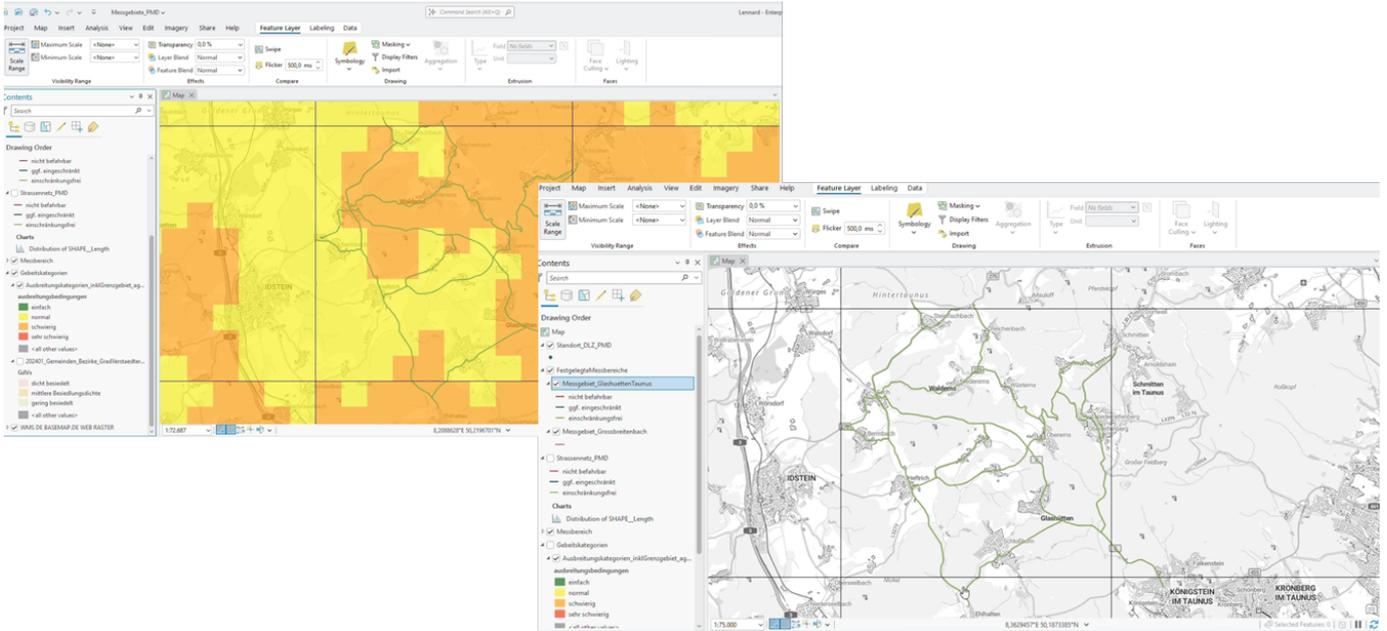


Abbildung 1: Auswahl der Referenzgebiete in ArcGIS

Der PMD zeichnet die tatsächlich gefahrenen Strecken auf, so dass bei möglichen wiederholten Messungen die gleichen Strecken befahren werden können. So können beispielsweise Anpassungen der Strecke aufgrund von Sperrungen auf der ursprünglich geplanten Strecke realisiert werden. Die Streckenlänge wird so bemessen, dass Messfahrten in einem begrenzten Gebiet abschließend an einem Tag durchgeführt werden können.

Die Auswahl von Referenzgebieten für den PMD erfolgt nicht vorrangig zum Feststellen und Messen unterversorgter Gebiete (z. B. weiße oder graue Flecken). Vielmehr sollen die Messungen dazu dienen, die Qualität und Vergleichbarkeit der berechneten Daten der Mobilfunknetzbetreiber zu bewerten.

2 Messsystem

2.1 Allgemeines

Der Prüf- und Messdienst (PMD) der Bundesnetzagentur setzt in seinen 19 regionalen Messstellen identische Messsysteme ein. Das Setup besteht aus einer lokalen Steuereinheit, über welche die jeweils lokal eingesetzten Einheiten gesteuert werden können sowie einer Cloud für das Lizenzmanagement und die zentrale Erfassung und Bereitstellung der Messdaten.

An die lokalen Steuereinheiten, bestehend aus einem Laptop, können über einen USB-Hub die Mobilfunkendgeräte angeschlossen werden. Die lokale Steuerung übernimmt das Monitoring des korrekten Ablaufs der Messungen sowie die Übertragung der Programmdateien in Richtung Endgerät (Skripte für die Messungen werden aus der Cloud bereitgestellt).

Für jedes Messfahrzeug werden 8 Endgeräte (UE) genutzt: Je 4 UE für die Messung der Datenrate sowie je 4 UE für die Messung der Sprachtelefonie. Alle Endgeräte werden auf einer durch den PMD selbst entwickelten und produzierten Halterung befestigt.

Die für die Messungen durch den PMD genutzten SIM-Karten wurden für alle in den 19 Messstellen eingesetzten Endgeräte von den vier Mobilfunknetzbetreibern unterstützend zur Verfügung gestellt.

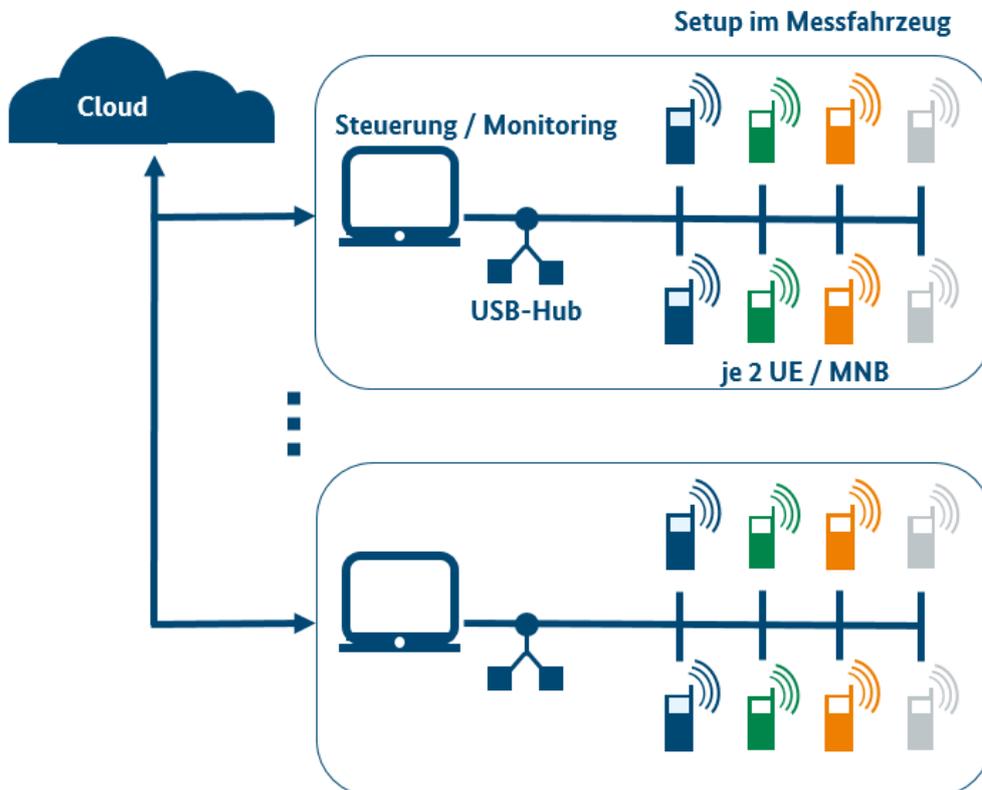


Abbildung 2: Überblick Messaufbau im Fahrzeug

2.2 Mobilfunkendgeräte

Bei den zuvor für das Mess-Setup beschriebenen Mobilfunkendgeräten kommt das Samsung Galaxy S23 zum Einsatz. Das mit Auslieferung zugrundeliegende Android - Betriebssystem wird mit erweiterten Systemrechten betrieben (umgangssprachlich: „gerootet“). Das Endgerät wird von der Messanwendung gesteuert, welche den Messablauf initiiert, kontrolliert und die Daten protokolliert.

Das Endgerät wird in keiner Weise in der Wahl der Netzzugangstechnologie beschränkt. So können je nach Entscheidung des zu prüfenden Mobilfunknetzes Verbindungen über GSM und 4G im Sprachbereich sowie zusätzlich 5G im Datenbereich genutzt werden.

Die Telefoniefunktion des Endgeräts wird immer direkt genutzt, d. h. das Messsystem greift direkt auf die Telefoniefunktion des Endgerätes zu.

Die Aktualität der Software auf den Endgeräten orientiert sich immer an den Anforderungen der Messanwendung. Vor dem Einspielen von Aktualisierungen ist eine Funktionsprüfung der gesamten

Arbeitskette durchzuführen. Alle Funktionen eines Endgerätes, die nicht im Zusammenhang mit den durchzuführenden Messungen stehen, sind deaktiviert, so dass keine zusätzlichen Leistungseinbußen zu erwarten sind.

Die Spezifikationen des Endgeräts, insbesondere die nutzbaren Frequenzbereiche und Betriebsarten, sind im Anhang verzeichnet.

Es ist vorgesehen, alle eingesetzten Endgeräte bei Bedarf durch neue, den aktuellen technologischen Anforderungen entsprechenden Modellen zu ersetzen.

2.3 Anforderungen an die SIM-Karten

Die eingesetzten SIM-Karten für die Messung der Sprachtelefonie haben eine Datenoption zur vollumfänglichen Nutzung der Optionen der Sprachtelefonie (z. B. GSM, VoLTE) sowie zur Übertragung der Protokoll Daten. Insbesondere die SIM-Karten für den Einsatz der Messung der Datenrate haben keine Beschränkung im Datenvolumen, so dass eine ungewollte Beschränkung der Messungen ausgeschlossen ist. Es wurde vereinbart, dass die eingesetzten SIM-Karten keine Priorisierung in den Netzen der jeweiligen Mobilfunknetzbetreiber erfahren. Um ggf. trotzdem eingerichtete Priorisierungen/Manipulationen zu erkennen, werden vereinzelt Überprüfungen der Messungen mit unabhängigen SIM-Karten über den PMD durchgeführt.

2.4 Einstellungen bei der Konfiguration Endgerät / SIM-Karte

An den Endgeräten ist, sofern möglich, auf folgende Rahmenkonfiguration zu achten um die Messungen zu vereinheitlichen und störende Beeinflussungen (z. B. Energieverbrauch, Prozessorlast) zu reduzieren:

- WLAN, Bluetooth, NFC deaktiviert,
- Automatische Android Updates deaktivieren; evtl. automatische Anmeldung an Google-Diensten (Play Store, Youtube, etc.) sind zu unterlassen,
- Sprach- und Daten-Roaming aktiv; Voice over LTE zugelassen; Voice over NR zugelassen; automatische Netzauswahl,
- Kein Datensparen,
- Standortermittlung aktiv, ohne AGPS (Assisted Global Positioning System),
- Energieoptionen bzgl. Akku-Schonung, Adaptiver Akku, Leistungsverbesserung sind zu deaktivieren.

Die oben beschriebenen Maßnahmen dienen im Wesentlichen dazu, eine einheitliche Konfiguration der Geräte herzustellen sowie die Reproduzierbarkeit zu verbessern. Sowohl das ‚rooten‘ der Endgeräte durch die Messapplikation als auch diese Maßnahmen entfernen das Endgerät zwar von der Perspektive der Nutzer, sind im Sinne des einheitlichen Messablaufs aber notwendig.

2.5 Positionierung und Befestigung der Endgeräte

Im Rahmen einer Messfahrt sollen alle Mobilfunknetzbetreiber (MNB's) parallel untersucht werden. Hierzu wird eine entsprechende Anzahl von Endgeräten an einem nahezu metallfreien Gestell auf dem Beifahrersitz des Messfahrzeugs montiert. Das Gestell wird an der Kopfstütze des Sitzes eingehängt, sodass die Geräte ungefähr auf Brust- bzw. Bauchhöhe einer erwachsenen Person positioniert sind. Die Geräte liegen somit

nicht auf dem Sitzboden des Sitzplatzes auf. Die Anordnung der Geräte wird als repräsentative Position eines Endgeräts in Bezug auf die Nutzung durch den Beifahrer angesehen.

Die Geräte sind in Reihen angeordnet und permanent über USB mit einer Spannungsversorgung verbunden. Die Leitungen sind durch geeignete Haltemittel, z. B. Kabelbinder mit Kabelbinderklebplatten abgefangen, um ein Abfallen durch bewegungsbedingte Erschütterungen zu verhindern. Das Gestell wird mittels eines Spanngurtes mit der Rückenpartie des Beifahrersitzes verbunden.

Die über die per USB-Verbindung an den Laptop angeschlossenen Endgeräte können so während der laufenden Messung beobachtet werden, z. B. zur Kontrolle des Messablaufs und der Betriebstemperatur. Das Gestell wird durch integrierte Lüfter ständig mit der Umgebungsluft versorgt. Während der Fahrt bleiben die Fenster geschlossen. Der Beifahrerplatz ist durch die Halterung als komplett belegt anzusehen, d.h. es dürfen im Rahmen dieser Messungen keine Personen oder Gegenstände in diesem Bereich transportiert werden. Die Sicht zur Windschutz- sowie Seitenscheibe ist dabei ebenfalls freizuhalten. Ein Musteraufbau ist in der nachfolgenden Abbildung 3 dargestellt. Dieser Musteraufbau ist dafür ausgelegt, vier Mobilfunknetze jeweils parallel in Bezug auf die Messung von Verbindungsabbrüchen und Datenraten zu untersuchen, wenn er mit acht Endgeräten bestückt ist.

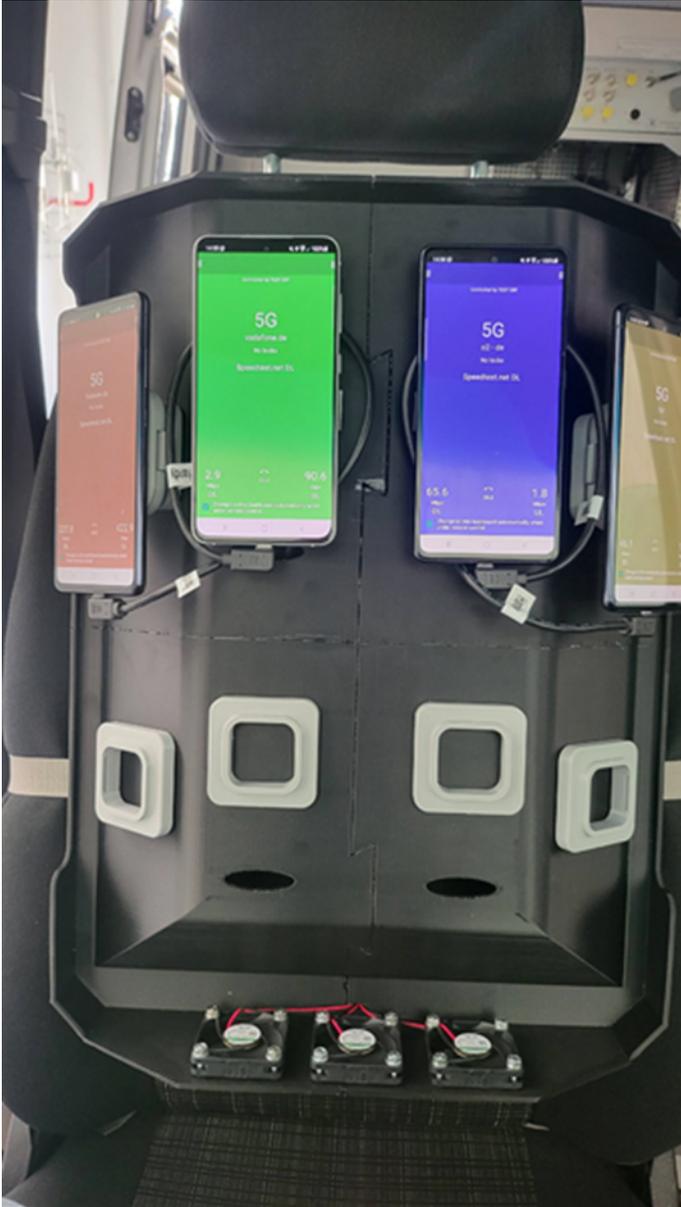


Abbildung 3: Halterung für Endgeräte

2.6 Untersuchung des Messaufbaus im EMV Messlabor Kolberg

Da es sich bei den beschriebenen Messungen um sogenannte „In-Car“-Messungen handelt, bei denen die Endgeräte auf zueinander unterschiedlichen Positionen auf einer Halterung auf dem Beifahrersitz im Messfahrzeug befestigt werden, wurden messtechnische Untersuchungen zum Einfluss der Befestigungsposition (Fair/Unfair) der Endgeräte durchgeführt. Weiterhin wurden Analysen in Bezug auf einen möglichen Einfluss durch die vorhandene Peripherie (Lüfter und Hub des Messsystems sowie der KFZ-Technik) vorgenommen.

Die Untersuchungen fanden im EMV Messlabor Kolberg des Prüf- und Messdienstes statt und erfolgten auf Basis von Pegelmessungen der Referenzsignale von Bändern in den Frequenzbereichen 700 - 3600 MHz.

Für die Analyse möglicher Umgebungs- und Selbstbeeinflussung wurde das Messsystem in einer Absorber-Halle offen und in einem weiteren Schritt im Standardmesswagen (Mercedes Sprinter) der Bundesnetzagentur

untersucht. Dabei wurden mit Hilfe eines Basisstationssimulators Mobilfunkverbindungen zu den für die Messungen verwendeten Smartphones hergestellt und mittels eines Drehtellers verschiedene Einstrahlwinkel auf das Messsystem realisiert.

Mit den Messungen wurden u. a. die mittlere Abweichung verschiedener Smartphones, der Einfluss durch Peripheriegeräte, der Einfluss von Position und Einstrahlrichtung außerhalb und innerhalb des Fahrzeugs untersucht.



Abbildung 4: Untersuchung des Messaufbaus

Die durchgeführten messtechnischen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die Befestigungsposition der Smartphones am Monitoring-System bei zunehmender Annäherung des Messaufbaus an reale Einsatzbedingungen keinen signifikanten Einfluss auf die zu erfassenden Kenngrößen für die untersuchten LTE- und 5G-NR-Bänder hat. Eine störende Beeinflussung durch die Elektronik des Messfahrzeugs sowie durch die Peripherie des Monitoring Systems konnten nicht, bzw. nicht in bedeutendem Maße beobachtet werden.

3 Messverfahren / Durchführung der Messungen

3.1 Allgemeines

Sämtliche Messungen werden mit aktueller technischer Ausstattung als sogenannte Drive-Tests durchgeführt. Die Messtechnik befindet sich dabei innerhalb eines Messfahrzeugs, welches sich auf definierten Strecken mit an der Messumgebung orientierten Geschwindigkeiten bewegt.

In dieser Konstellation sollen als zentrale Leistungskennzahlen (Key Performance Indicator, KPI) der Datendurchsatz (als Download-Datenraten) und mögliche Schwerpunkte von Verbindungsabbrüchen bei der Sprachtelefonie auf den zu befahrenen Strecken bestimmt werden.

Sämtliche Messungen während einer Messfahrt innerhalb eines definierten Messgebietes werden automatisiert durchgeführt. Dazu wird je KPI ein vordefiniertes Skript genutzt, welches entsprechende Testabläufe generiert. Die Verteilung der Testskripte an die Endgeräte erfolgt über die Cloud des Messsystems, um eine homogene Nutzung der Testsequenzen sicherzustellen. Beim Start der Messung wird durch das Skript der Flugzeugmodus aktiviert und nach zehn Sekunden deaktiviert.

Mit dem Start der Messablaufsteuerung beginnt die Messfahrt und das Aufzeichnen der Gerätezustände. Ab diesem Moment sind die Start- und Stoppunkte der jeweiligen Einzelmessungen zeitgesteuert und sollen im Normalbetrieb nicht weiter beeinflusst werden. Während der Fahrt wird überwacht, dass alle Messroutinen korrekt arbeiten, d. h. die Mobilfunkendgeräte sollen sich nicht in einem undefinierten Zustand befinden. Werden Probleme an den Endgeräten aufgezeigt, so ist die Fahrt zu unterbrechen und die korrekte Funktion der Endgeräte wiederherzustellen. Bei allen Unterbrechungen (Messstrecke wird verlassen) oder beim Ende der Messfahrt soll das automatisierte Skript der Messroutine aktiv beendet werden.

Nach Abschluss der Erfassung der zunächst lokal gespeicherten Einzelmessungen werden die Ergebnisse vom Endgerät in die Cloud des Messsystems übertragen. Die Übertragung kann automatisch sofort bei Messende vorgenommen werden oder auch zu einem späteren Zeitpunkt, je nach Netzverfügbarkeit.

In der Regel wird eine Fahrgeschwindigkeit von maximal 120 km/h nicht überschritten. Abhängig von der Dauer der einzelnen Messzyklen der KPI's und den je nach Messgebiet gefahrenen Geschwindigkeiten, können die in nachfolgender Tabelle 1 dargestellten Entfernungen zurückgelegt werden:

Streckenlängen für Messungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Geschwindigkeit	Sprache (240 Sek.)	Datenrate (30 Sek.)
50 km/h	3333 Meter	417 Meter
80 km/h	5333 Meter	667 Meter
100 km/h	6667 Meter	833 Meter
120 km/h	8000 Meter	1000 Meter

Tabelle 1: Streckenlängen

3.2 Messung der Sprachtelefonie

Gegenstand der Messungen zur Bestimmung von Verbindungsabbrüchen bei der Sprachtelefonie ist ein zyklischer Rufaufbau zu einer Rufnummer im deutschen Festnetz und das nachfolgende Halten der Verbindung über einen bestimmten Zeitraum. Der Auf- und Abbau der Verbindungen, Pausen zwischen den Messungen sowie wiederholte Versuche bei Verbindungsabbrüchen werden autonom vom Messsystem gesteuert. Sämtliche dabei generierte Informationen zum Zustand der Verbindung, Zeitstempel und Standortangaben werden vom System aufgezeichnet und stehen für eine spätere Analyse zur Verfügung.

Da mögliche Verbindungsabbrüche verschiedene Ursachen haben können, z. B. fehlgeschlagener Handover zwischen verschiedenen Mobilfunkzellen bei Bewegung des Messfahrzeugs oder eine generelle, nicht ausreichende Versorgung, werden die Fahrten wiederholt und auch in gegensätzlicher Fahrtrichtung geplant.

Ein regulärer Messzyklus sieht wie folgt aus (siehe nachfolgende Abbildung 5): Nach erfolgreichem Rufaufbau wird eine Verbindung über die Dauer von 240 Sekunden gehalten, danach wird das Gespräch abgebaut und es erfolgt eine Pause von 15 Sekunden. Anschließend beginnt ein neuer Zyklus. Kommt ein erfolgreicher Rufaufbau nicht zustande, versucht das System andauernd ein neues Gespräch aufzubauen. Bricht das Gespräch ab, so wird ein erneuter Verbindungsversuch gestartet. Der Status der Sprachverbindung i. V. m. der regulären Anrufdauer gibt somit Auskunft über mögliche Unregelmäßigkeiten.

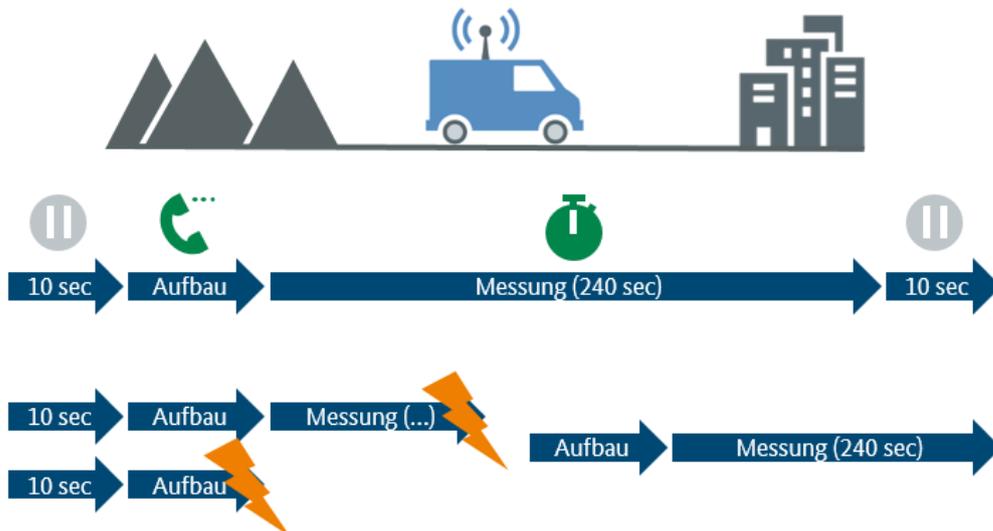


Abbildung 5: Ablauf der Messung Verbindungsabbrüche

Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick der vom Messsystem aufgezeichneten Werte:

Erfasste Messwerte für die Sprachtelefonie-Messung

Feldbezeichnung	Beschreibung	Beispiel	Verpflichtend												
Timestamp	Zeitstempel; Lokale Zeit; Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS.m	2023-01-17 14:26:13.832000	ja												
call_state	Momentaner Zustand des Telefons: (call_idle; call_connecting; call_connected)	call_connected	ja												
level_dBm	Empfängereingangspegel der assoziierten Zelle in dBm; hierbei werden folgende Pegeltypen genutzt: <table border="1" data-bbox="443 734 769 1025"> <thead> <tr> <th>RAT</th> <th>Pegeltyp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2G / GSM</td> <td>RX-Lev</td> </tr> <tr> <td>3G / UMTS[1]</td> <td>RSCP (active-set)</td> </tr> <tr> <td>4G / LTE</td> <td>RSRP</td> </tr> <tr> <td>5G / NR</td> <td>SS-RSRP</td> </tr> <tr> <td>None</td> <td><NULL></td> </tr> </tbody> </table>	RAT	Pegeltyp	2G / GSM	RX-Lev	3G / UMTS[1]	RSCP (active-set)	4G / LTE	RSRP	5G / NR	SS-RSRP	None	<NULL>	-89,35	ja
RAT	Pegeltyp														
2G / GSM	RX-Lev														
3G / UMTS[1]	RSCP (active-set)														
4G / LTE	RSRP														
5G / NR	SS-RSRP														
None	<NULL>														
EARFCN_DL	Kanalnummer des Downlinks	6400	ja												
RAT	Radio Access Technology; momentan gültiger Netztyp (GSM/UMTS/LTE/5G oder None für keine Verbindung)	GSM	ja												
call_cmt	Angabe aus dem System, welche Zusatzinformationen bzgl. des Zustandsübergangs in den Telefonzustand „Idle“ beinhaltet (ansonsten leer bzw. None). Ein leerer Eintrag an dieser Stelle kann aber dennoch mit einem vorzeitigem Gesprächsabbruch verbunden sein; das Ereignis „dropped“ wird teils durch das Netz gesendet was bedingt, dass die Nachricht netzseitig an das Teilnehmerendgerät zugestellt werden kann.	dropped; setup_fail; <NULL>; leerer Eintrag	ja												
MCC	Mobile Country Code; kann NULL-Werte enthalten	3 Ziffern	ja												
MNC	Mobile Network Code; kann Null-Werte enthalten	3 Ziffern	ja												

Tabelle 2: Messwerte Sprachtelefonie-Messung

3.3 Messung der Datenrate

Gegenstand der Messungen ist die Bestimmung des Datendurchsatzes aus der mittleren Nettodatenrate einer zyklischen Messung. Die Messung wird über die Messserver von Ookla durchgeführt und erfolgt als Download über die Applikationsebene (OSI Layer 7) des Mobilfunkendgerätes.

Das Messsystem wählt automatisch ausgehend vom momentanen Standort des Messfahrzeugs / Mobilfunkendgerätes mehrere nahegelegene Gegenstellen (Server) aus und bestimmt die Signallaufzeit zu diesen. Der in Bezug auf die Signallaufzeit nächstgelegene Server wird als Gegenstelle für die eigentliche Messung ausgewählt. Das Endgerät fragt über den Server-Port 8080 mehrere (TCP-)Verbindungen an, um die Verbindung möglichst stark auszulasten, und beginnt Daten zu empfangen. Die Größe der Datenblöcke wird durch das Messsystem dynamisiert.

Während des Startprozesses werden weitere Verbindungen angefragt, um den Übertragungskanal möglichst auszulasten. Im weiteren Verlauf werden solange weitere Datenpakete angenommen, bis die Zeit des Messzyklus abgelaufen ist.

Die mittlere Datenrate wird durch den Client anhand der Verteilung der einzelnen Stichproben wie folgt ermittelt: Die besten beiden Stichproben werden verworfen; die Stichproben im unteren Viertel werden verworfen; die verbleibenden Stichproben werden gemittelt. Auf diese Weise wird die Phase des initialen Hochlaufens (TCP „slow start“, Teil des Congestion Control Mechanisms) kompensiert, welche nicht die volle Kanalkapazität darstellt.

Eine Zusammenfassung aller für den Speedtest relevanten Werte ist in der Tabelle 3 dargestellt:

Eigenschaften des Messsystems (Speedtest)

Merkmal	Eigenschaft des Messsystems
Protokolle	TCP (Transportschicht) / HTTP(s) (Anwendungsschicht); Verwendung von HTTP oder HTTPs ist serverabhängig
Ports	8080
Anzahl Verbindungen	dynamisch - 4 oder mehr HTTP Streams
Congestion Control	Sofern nichts Weiteres angegeben ist, ist von einem TCP inhärenten Congestion Control auszugehen
Messdauer (DL/UL)	Nur Downloadtest: einstellbar im Client, z.B. 30 s gewählt; später ggf. auch Upload
Messparameter	TCP-Nutzdaten über die gesamte Testlaufzeit (siehe Annahme nächste Zeile)
Auswertung der Messdaten (Ausschluss von Messpunkten)	Für DL: die besten beiden Samples werden verworfen; die Samples im unteren Viertel werden verworfen; der Rest wird gemittelt

Tabelle 3: Übersicht des Messsystems Speedtest

Die Dauer eines Messzyklus für den Download-Test wird auf 30 Sekunden festgelegt. Im Anschluss pausiert das System für eine Dauer von 10 Sekunden. Danach beginnt der Zyklus erneut.

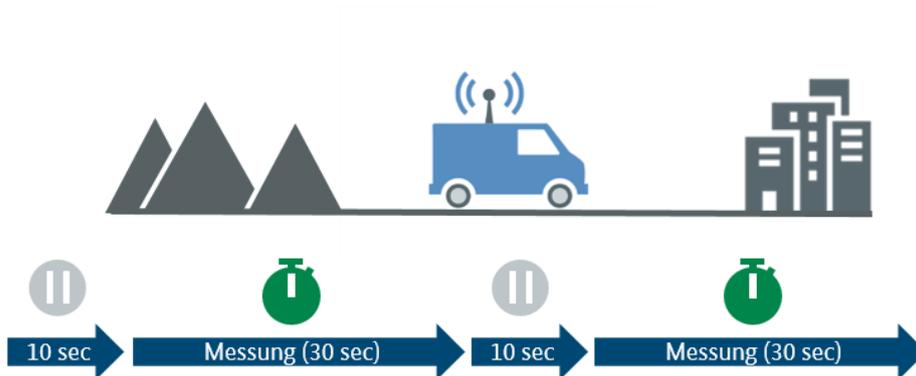


Abbildung 6: Ablauf der Messung Verbindungsabbrüche

Während eines Messzyklus werden über das Endgerät und aus dem Messsystem weitere Parameter erfasst, die in Tabelle 4 zusammengefasst sind. Dabei werden auch Informationen zum Zustand der Verbindung, zum Pegel, einer momentanen Datenrate, zum Zeitstempel und zu Standortangaben in kurzen Zeitabständen (1 Sekunde, 3 Sekunden) erfasst und aufgezeichnet. In einer späteren Analyse kann so die während eines Messzyklus ermittelte Datenrate als Durchschnittswert allen geografischen Gitterzellen (100 x 100 Meter) zugeordnet werden, die innerhalb eines Messzyklus durchfahren wurden. Zudem können Informationen zum gemessenen Pegel und zur momentanen Datenrate individuell den relevanten Gitterzellen zugeordnet werden.

Erfasste Messwerte für die Datenrate-Messung (Punkt und Linie/Strecke)

Feldbezeichnung	Beschreibung	Beispiel	Verpflichtend
Punkt-Messung (Momentan-Werte während einer Messroutine)			
Timestamp	Zeitstempel; Lokale Zeit; Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS.m	2023-01-17 14:26:13.832000	ja
EARFCN	Kanalnummer des Downlinks	6400	ja
TEMPERATUR	Gerätetemperatur in Grad Celsius	38	ja
SINR	Signal-in-Noise Ratio, in dB. Die Angabe ist in 4G und 5G Netzen verfügbar	8,35	ja
RAT	Radio Access Technology; momentan gültiger Netztyp (GSM/LTE/5G oder None für keine Verbindung)	GSM	ja
DL_Through	downlink_throughput in Megabit/s; dies ist nicht das Ergebnis von dedizierten Speed-Tests!	122,52	ja
MCC	Mobile Country Code; kann NULL-Werte enthalten	3 Ziffern	ja
MNC	Mobile Network Code; kann Null-Werte enthalten	3 Ziffern	ja
Linien-Messung (Download-Messung über Ookla, eine Messroutine)			
start	Zeitstempel zum Start des Speedtests; Lokale Zeit; Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS.m	2023-01-17 14:26:13.832000	ja
stopp	dto.; Endezeit des Speedtests	2023-01-17 14:26:13.832000	ja
DL_MbpsAVG	Ergebnis des Speedtests (Mittlere Download-Rate) in Megabit/s	122,52	ja
sptestStat	Endzustand des Speedtests	speed_test_complete	ja

Tabelle 4: Messwerte Datenrate-Messung

4 Ausblick

Für einen späteren Zeitpunkt ist geplant, ein Rucksack-System zu entwickeln, um das Mess-Setup auch in Gebieten einzusetzen, die mit den Messfahrzeugen nicht zugänglich sind (sog. „Walk-Tests“), sowie Messungen in Innenräumen durchzuführen. Das Messsystem lässt dabei eine nur für die Messung der Datenrate ausgewählte Konfiguration mit 4 Endgeräten zu.

Es gibt zudem Überlegungen, das Messsystem zu einem späteren Zeitpunkt in einem angepassten Setup für Messungen auf Wasserwegen und entlang von Schienenwegen einzusetzen. Vereinheitlichte Messungen in Zügen sind aufgrund unterschiedlicher Ausgangsbedingungen (z. B. Beschaffenheit der Verkehrsmittel (Dämpfung), Konzentration vieler Personen innerhalb der Züge, störende Beeinflussung von Messungen durch Personen) schwierig durchzuführen. Aus diesem Grund können Referenzmessungen entlang der Schienenwege (z. B. auf Versorgungswegen, auf Bahnhöfen) Gegenstand der Überlegungen sein.

Auch kann zu einem späteren Zeitpunkt die Messung einer Datenrate im Uplink in die Messungen integriert werden.

5 Voraussetzungen für die Nutzung des Messverfahrens durch Dritte

Grundsätzlich soll das hier beschriebene Verfahren auch von Dritten zur Durchführung von Messungen genutzt werden können. Durch die Expertise des Prüf- und Messdienstes bei der Durchführung unterschiedlicher Messverfahren, des Einsatzes umfangreichen technischen Equipments, etablierter Messmethoden und auch hinsichtlich des Einsatzes von Expertinnen und Experten des PMD, die solche Messungen durchführen, bieten sich für den PMD die Möglichkeiten, welche ggf. nicht in gleicher Art und Weise durch Dritte geleistet werden können.

Gleichzeitig ist es jedoch notwendig, bestimmte Mindestanforderungen bei der Durchführung der Messungen zu berücksichtigen. So können die in gleicher Art und Weise wie die durch den PMD gewonnenen Messdaten für die Analyse und eine mögliche Darstellung in Karten des Gigabit-Grundbuches genutzt werden.

Nachfolgend soll hier beschrieben werden, welche grundlegenden Anforderungen zu erfüllen sind:

- **Messverfahren:**

Als wichtigste Kennzahl wird die Messung der Datenrate betrachtet. Mit dieser sollen die Daten des Mobilfunk-Monitorings plausibilisiert werden und es soll eine geeignete Darstellung in Karten ermöglicht werden. Die Messung der Sprachtelefonie und das Feststellen möglicher Verbindungsabbrüche soll als optional betrachtet werden.

- **Messgebiete:**

Die im Konzept beschriebene Methodik der Definition von Referenzgebieten muss durch Dritte nicht umgesetzt werden. Hier besteht Freiheit in der Auswahl, welche Gebiete gemessen werden. Auch das wiederholte Befahren von Messgebieten, z. B. zu unterschiedlichen Belastungszeiten, kann als optional betrachtet werden

- **Messsystem:**

Bei der Auswahl der einzusetzenden Mobilfunkendgeräte ist erforderlich, dass diese leistungsfähig sind und alle aktuellen Funktionalitäten des Mobilfunknetzes unterstützen. Es soll darauf geachtet werden, dass Mobilfunkendgeräte während der Messung hinreichend aufgeladen sind und die Messung nicht durch Überhitzung oder zu hohe Prozessorlast negativ beeinflusst werden (siehe entsprechende Einstellungen).

Es wird als optional betrachtet, ob alle bzw. welche Mobilfunknetze gemessen werden sollen. (Hinweis: Es wird auf den Aspekt von Kooperationen der Netzbetreiber u.a. durch National Roaming hingewiesen) Bei der Beschaffung der SIM-Karten soll darauf geachtet werden, dass diese handelsüblich und unlimitiert sowie für alle zu messenden Technologien freigeschaltet sind.

Es wird ein automatisierter Ablauf der Messungen und das Erfassen der Daten empfohlen, zudem sollte das Monitoring der Betriebszustände der genutzten Mobilfunkendgeräte durchgeführt werden.

Die Positionierung der Mobilfunkendgeräte sollte einer nutzernahen Positionierung entsprechen, z. B. auf dem Beifahrersitz bei InCar-Messungen. Ungünstig wären zusätzliche Dämpfungen der Signalausbreitung, z. B. durch Positionierung im Fußraum oder metallisch abgeschirmten Bereichen im Fahrzeug. Eine wie vom PMD eingesetzte Halterung für den Beifahrersitz kann ggf. durch auf dem Markt verfügbare Modelle oder eigene Entwicklungen ersetzt werden. Der PMD hat die Halterungen aufgrund der hohen Stückzahl selbst gefertigt. Teile der Halterungen werden als 3D-Druck gefertigt und mit weiteren Komponenten zusammengesetzt. Druckdateien (*.stl) sowie eine Konstruktionszeichnung können auf Anfrage bereitgestellt werden.

- **Messungen:**

Die Messung der Datenrate soll idealerweise über eine Auswahl von Messgegenstellen (ggf. auch einer festen Messgegenstelle) mit entsprechendem Datendurchsatz zur fehlerfreien Durchführung der Messung erfolgen. Durch den PMD werden Messungen gegen Ookla-Server durchgeführt. Idealerweise wird für Messungen durch Dritte ebenfalls dieses System genutzt. Sollte dies nicht möglich sein, muss die von Dritten zur Durchführung der Messungen verwendete Server-Infrastruktur den für die einzelnen Ookla-Server definierten technischen Mindestanforderungen (Anhang) erfüllen. Idealerweise werden neben der durchschnittlichen Datenrate (Durchschnitt über die jeweilige Messdauer) auch Momentan-Werte der Datenrate und ggf. eines Referenzsignals erfasst, die über einen Zeitstempel und geografischen Koordinaten zugeordnet werden können. Die Messdauer der Messung der Datenrate (z. B. bis max. 30 Sekunden) soll so erfolgen, dass ein Aufbau der Messung (Auslastung des Anschlusses) und eine nachfolgende Messung erfolgen kann. Dazu soll die hier beschriebene Methodik angewandt werden.

- **Abstimmung mit der Bundesnetzagentur:**

Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erzeugen sowie eine funktionale Übergabe und Auswertung der Daten zu ermöglichen, ist eine initiale Dokumentation und Abstimmung weiterer Modalitäten mit der Bundesnetzagentur vor der erstmaligen Durchführung einer Messkampagne erforderlich.

- **Bereitstellung der Daten**

Nach Möglichkeit sollten uns die Messergebnisse in einem geografischen Vektordaten-Format (z. B. als Shape-Datei) bereitgestellt werden, unter Verwendung des Koordinatensystems mit EPSG-Code 25832. Sollte dies nicht möglich sein, muss eine Transformation in das vorgegebene Datenformat möglich sein

(durch Mitteilung des verwendeten Koordinaten-Formats). Eine weitere Möglichkeit bietet die Übermittlung als CSV-Datei. Hierbei ist es erforderlich eine von der Bundesnetzagentur vorgegebene Datenstruktur zu nutzen und das verwendete Koordinatensystem mitzuteilen. Die konkrete Datenstruktur wird im direkten Austausch mitgeteilt, so können ggf. notwendige Anpassungen für Analysen, die von der Bundesnetzagentur durchgeführt werden, schneller vorgenommen werden.

- **Kontaktdaten für eine Abstimmung mit der Bundesnetzagentur:**

Für Abstimmungen zu eigenen Messungen, Rückfragen zum Messkonzept oder der Anforderung weiterer Dokumentationen wenden Sie sich bitte an nachfolgenden Kontakt:

E-Mail: Postfach.214@BNetzA.de

Betreff: Messkonzept

6 Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
4G	Mobilfunkstandard der 4. Generation (LTE)
5G	Mobilfunkstandard der 5. Generation
AGPS	Assisted Global Positioning System
ArcGIS	Software
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Bluetooth	Übertragungsstandard für Daten
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BNetzA	Bundesnetzagentur
Cloud	oder Cloudspeicher, ein virtueller Speicher im Netze / bei einem Dienstleister
Congestion Control	Überlaststeuerung im Netzwerk
DL	Download, Datenübertragungs-Richtung vom Netz zum Endkunden
Drive-Tests	die Messung erfolgt während der Fahrt aus einem Fahrzeug heraus (In-Car)
EARFCN	E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number; Trägernummer im Uplink
Funkloch-App	App der Bundesnetzagentur zur Messung der Mobilfunkversorgung durch Endkunden
Gigabit-Grundbuch	zentrale Zugangsportale für Informationen des Infrastrukturausbaus des BMDV
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications, Mobilfunkdienst hauptsächlich für Sprachtelefonie
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (Übertragungsprotokoll)
In-Car-Messungen	Messungen, in denen sich das Messequipment innerhalb des Fahrzeugs befindet
KPI	Key Performance Indicator, hier: zu bestimmende Messungen/Messwerte
MCC	Mobile Country Code
MNB	Mobilfunknetzbetreiber
MNC	Mobile Network Code
NFC	Near Field Communication, Übertragungsstandard für Daten
Ookla Speedtest	Dienstleister für Performance-Messungen von TK-Diensten (hier Datenrate im Mobilfunk)
PMD	Prüf- und Messdienst der Bundesnetzagentur
RAT	Radio Access Technology
Shape-Datei	Dateiformat (Geoinformationssystem)
Shared-Medium	Übertragungskapazität auf der Funkschnittstelle im Mobilfunk steht allen Nutzern anteilig zur Verfügung
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (in dBm)
TCP	Transmission Control Protocol (Netzwerkprotokoll)
TKG	Telekommunikationsgesetz

UE	User Equipment (hier: Mobilfunkendgerät, Smartphone)
UL	Upload, Datenübertragungs-Richtung vom Endkunden ins Netz
VoLTE	Voice over LTE (Long-Term-Evolution), Sprachtelefonie-Dienst im 4G-Netz
VoNR	Voice over New Radio, Sprachtelefonie-Dienst im 5G-Netz
Walk-Tests	die Messung erfolgt frei beweglich z. B. über ein Rucksacksystem
WLAN	Wireless Local Area Network

7 Anhang

Anforderungen an einen Messserver

Nachfolgend sind, in Anlehnung an die Anforderungen an einen Ookla Speedtest Server⁴, die wesentlichen Anforderungen an einen eigenen Messserver beschrieben. Sollte nicht das Ookla Messsystem genutzt werden, so kann die Performance des eingesetzten Messservers an den nachfolgenden Anforderungen für einen Server im Ookla-Netzwerk abgeleitet werden. Weite Informationen sind auf der Internetseite von Ookla verfügbar:

Anforderungen an einen Messserver

Kenngröße	Beschreibung
Serverhardware	
CPU	<p>IPC ist die wichtigste Kennzahl für die Leistung der Ookla-Server; weniger, aber dafür schnellere Kerne sind besser als mehr, aber dafür langsamere Kerne</p> <p>Sicherstellung, dass NUMA (Non-uniform memory access) ausgeschaltet ist; die Performance eines „single socket board design“ ist besser als ein „multi socket board design“; (Sollte NUMA nicht vermeidbar sein, sollte sichergestellt sein, dass kernel networking threads einem einzigen NUMA-Knoten zugeordnet werden. Auch Interrupts müssen sorgfältig abgestimmt werden)</p> <p>CPU- Instructions: Advanced Encryption Standard New Instructions; AES-NI</p>
Speicheranforderungen (Arbeitsspeicher)	Die Speichergröße hat keinen spürbaren Einfluss auf die Leistung pro Stream. Es korreliert jedoch direkt mit der Menge der Kunden, die es bedienen kann. Mindestens 16 GB wird empfohlen, 32 GB bis 64 GB sind mehr als ausreichend, um eine große Anzahl von Kunden zu bedienen.
Speicheranforderungen (Festplatte):	Generell nicht relevant, mindestens 1 GB Festplatte wird (von Ookla für Updates) empfohlen; mögliche Logs verbrauchen zusätzlichen Platz.

⁴ Quelle: Ookla Speedtest Server (<https://support.ookla.com/hc/en-us/articles/234578628-Speedtest-Server-Requirements#:~:text=16GB%20minimum%20is%20recommended%2C%2032GB,measurable%20impact%20on%20OoklaServer%20performance.>)

Bandbreite	1 GBit/s Bandbreite ist die Mindestanforderung, um Ookla speedtest.net aufgenommen zu werden, diese Anforderungen sollte ein unabhängiger Messserver erfüllen.
Serverkonfiguration	
Betriebssystem	Ubuntu LTS (alle Versionen, die immer noch Hardware- und Wartungsupdates erhalten); RHEL/CentOS 7 oder höher;
Netzwerk	Ein öffentlich auflösbares DNS; ein Eintrag für den Hostnamen und für Länder, in denen die IPv6-Nutzung gleich oder höher als 30% ist, auch ein DNS-AAA-Eintrag.
Konfiguration	Wenn Sie kein Tool wie FD.io nutzen, stellen Sie sicher, dass die Unterbrechungen gleichmäßig über die NUMA-Bunde verteilt sind

Tabelle 5: Anforderungen an einen Messserver



bundesnetzagentur.de

 x.com/BNetzA

 social.bund.de/@bnetza

 youtube.com/BNetzA