



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Mitnutzungspotentiale kommunaler Träger- infrastrukturen für den Ausbau der nächsten Mobilfunkgeneration 5G

Eine Handreichung der AG Digitale Netze des
Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur



Inhaltsverzeichnis

Die wichtigsten Botschaften	2
1. Präambel.....	5
2. Anwendungspotentiale von 5G	7
3. Rahmenbedingungen des 5G-Ausbaus.....	9
3.1 Zeitliche Rahmenbedingungen	9
3.2 Technische Rahmenbedingungen	10
3.3 Frequenztechnische Besonderheiten	10
3.4 Infrastrukturelemente der 5G-Standorttypen.....	11
3.4.1 Makro-Standorte in heutigen Mobilfunknetzen	12
3.4.2 Ausbau bestehender Makro-Standorte.....	13
3.4.3 Errichtung neuer und „neuartiger“ Makro-Standorte	15
3.4.4 Kleinzellen-Standorte	16
3.4.4.1 Funktionale Bestandteile einer Small Cell	17
3.4.4.2 Kommunale Standorttypen und archetypische Bauformen	18
3.4.4.3 Anforderungen an Kleinzellen-Standorte	20
4. Inanspruchnahme kommunaler Trägerinfrastrukturen für den 5G-Ausbau	22
4.1 Eignungsprüfung von Standorten und mitnutzbaren Trägerstrukturen	22
4.2 Genehmigungserfordernisse beim 5G-Netzausbau	23
4.3 TK-Anbindung.....	23
4.3.1 Glasfaser.....	24
4.3.2 Richtfunk.....	24
5. Mitnutzbare Trägerstrukturen.....	25
5.1 Mitnutzung bestehender Antennenmasten	25
5.2 Fahrleitungsmasten	26
5.3 Beleuchtungsmasten („Straßenlaternen“)... ..	27
5.4 Verkehrszeichenträger für Lichtsignalanlagen („Ampelanlagen“)... ..	29
5.5 Verkehrszeichenträger für Verkehrsschilder	29
5.6 Fahrgastinformationstafeln und Hinweisschilder.....	30
5.7 Gebäudedächer und Dachkanten	31
5.8 Gebäudefassade.....	32
5.9 Zusammenfassung der Mitnutzungspotentiale.....	33
Abkürzungsverzeichnis	34
Mitglieder der AG Digitale Netze des BMVI.....	35
Redaktionsteam.....	36

1. Die wichtigsten Botschaften

Ziel der Broschüre ist die Erläuterung der Infrastrukturanforderungen des 5G-Ausbaus und die Identifikation von Mitnutzungspotenzialen kommunaler Trägerinfrastrukturen.

Die nächste Mobilfunkgeneration 5G wird eine neue Dimension der digitalen Wertschöpfung erschließen. Der kommerzielle Start von 5G wird 2019/2020 erwartet.

Erste Ausbauswerpunkte bilden besiedelte Gebiete sowie Gewerbe- und Industriegebiete. Auch an Verkehrswegen wird ein frühzeitiger Ausbau angestrebt. Voraussetzung für den 5G-Ausbau ist u.a. auch der Aufbau neuer 5G-Basisstationen, die mit Glasfaser angebunden sind. Ausbaufördernd wirken sich dabei die möglichst einfache Nutzung vorhandener passiver Trägerinfrastrukturen sowie der Zugriff auf vorhandene gebäudeinterne Infrastrukturen aus. Letzteres wird allerdings in dieser Broschüre nicht näher vertieft.

Die vorliegende Hinweisbroschüre dient der Erläuterung der Infrastrukturanforderungen des 5G-Ausbaus. Hierfür wurden vor allem geeignete Mitnutzungspotentiale kommunaler Trägerinfrastrukturen identifiziert und Anforderungen für ihre Bereitstellung definiert. Die Auswahl der Mitnutzungspotentiale erfolgte dabei vorrangig mit Blick auf den besiedelten Raum.

5G manifestiert sich mit Blick auf die Mobilfunkstandorte auf drei Ebenen: Bestehende Makro-Standorte aufrüsten, neue Makro-Standorte errichten, Kleinzellen errichten.

Mit Blick auf einen erfolgreichen 5G-Ausbau, muss neues Spektrum an existierenden Mobilfunkstandorten in Betrieb genommen werden. Diese sogenannten Makro-Standorte befinden sich heute typischerweise auf Gebäude-dächern oder dedizierten Türmen. Bestehende baurechtliche und zulassungstechnische Rahmenbedingungen sowie ökonomische Randbedingungen begrenzen die Aufrüstung dieser Standorte. Daher wird es dringend notwendig werden, einen angemessenen rechtlichen Rahmen zur effizienten Nutzung der bereits bestehenden Makro-Standorte für 5G zu gestalten.

Gleichzeitig ist die Errichtung zusätzlicher Makro-Standorte nötig. Diese werden zum einen wiederum auf Gebäudedächern/Türmen errichtet werden, zum anderen aber perspektivisch auch an neuen Standorttypen wie z.B. Dachkanten.

Schließlich ist die Zellverdichtung an Standorten mit hoher Endgerätedichte sowie mit Kapazitätsbedarf für kritische Anwendungen, durch den Aufbau von sogenannten Kleinzellen (Small Cells) ein wichtiger Bestandteil für einen erfolgreichen 5G Rollout.

Kommunale Trägerinfrastrukturen spielen besonders für den Aufbau von Kleinzellen eine wichtige Rolle.

Damit insbesondere die beschriebene Zellverdichtung realisiert werden kann, müssen nun auch neue Trägerinfrastrukturen im öffentlichen Raum eingebunden werden. Diese liegen oft in kommunaler Hand, spielten bisher keine Rolle für die Telekommunikationsnetze und müssen zunächst überhaupt identifiziert werden, bevor sie nutzbar gemacht werden können.

Bund, Länder und Kommunen sollten sich daher frühzeitig mit den anstehenden Veränderungen durch den 5G-Ausbau vertraut machen, um eine unterstützende Rolle spielen zu können und damit den effizienten Ausbau zu beschleunigen. Dies betrifft z.B. die Identifikation von potenziellen Trägerinfrastrukturen und die Vereinfachung von Abstimmungs- sowie Genehmigungsprozessen, insbesondere durch Abschluss von Rahmenverträgen mit den Netzbetreibern.

Der 5G-Ausbau erfolgt bedarfsorientiert mit Hilfe aller drei Maßnahmen (bestehende Makro-, neue Makro-, neue Small Cell Standorte). LTE und 5G koexistieren miteinander.

Hinsichtlich der zeitlichen Taktung steht zu Beginn des 5G-Ausbaus die Aufrüstung bestehender Makro-Standorte im Vordergrund. Für die Schließung von Abdeckungslücken, besonders im ländlichen Raum, sind auch neue Makro-Standorte aufzubauen. Zur weiteren Steigerung

der Netzkapazität werden dann bedarfsgerecht zum einen Kleinzellenstandorte an Orten mit besonders hoher Personendichte errichtet, zum anderen können ggf. neuartige Makro-Standorte für zusätzliche Kapazität sorgen. Die optimierte Wahl der geeigneten Maßnahme und ihre zeitliche Taktung erfolgen bedarfsgetrieben und gesamthaft über alle Netzebenen (Aufrüstung bestehende Makros, neue Makros, Kleinzellen), die lokalen Topologien und Kundenbedarfe. LTE-Netze werden noch auf lange Sicht mit 5G-Netzen koexistieren.

Die Aufrüstung bestehender Makro-Standorte ist essentiell für den 5G Ausbau, es gibt aber Hemmnisse.

Neuartige Makro-Standorte bestehen - anders als bisherige Antennenstandorte - gewöhnlich nur aus einem Sektor und stellen daher geringere Anforderungen an die Trägerstruktur. Herkömmliche Standorte für Antennen im städtischen Raum sind, wie bereits oben dargestellt, weitgehend ausgereizt. Daher wird es einerseits dringend notwendig werden, einen angemessenen rechtlichen Rahmen zur effizienten Nutzung der bereits bestehenden Makro-Standorte für 5G zu schaffen. Andererseits müssen neue und ggf. neuartige Makro-Standorte gefunden werden. Beispiele für diese Standorte können sein: Flachdächer, Dachkanten und evtl. tragfähige Beleuchtungsmasten.

Viele der untersuchten kommunalen Trägerinfrastrukturen eignen sich besonders für den Aufbau von Kleinzellen.

Kleinzellen sind in Bezug auf die eingesetzten Antennen im Erscheinungsbild eher mit WLAN-Accesspoints als mit Mobilfunkmasten vergleichbar. Derzeit werden noch zahlreiche Standorttypen für Kleinzellen diskutiert. Die drei wichtigsten Gruppen sind

- Masten (jegliche Form von Masten, wie Laternen, Verkehrsschilder, Ampeln, ...),
- Stadtmöbel (Litfaßsäulen, Werbetafeln, Energieladensäulen,...) und
- Gebäudedächer und -wände (Wandmontage an öffentlichen und privaten Gebäuden).

Für Small Cell-Standorte lassen sich in einer ersten Annäherung Straßenlaternen, kommunale Hinweisschilder, wie z.B. an U-Bahn-Zugängen, und Fahrgastinformationstafeln im öffentlichen Nahverkehr als besonders geeignet identifizieren. Hinzu kommen Befestigungen in geringerer Höhe an Gebäuden aber auch innerhalb von Gebäuden.

Abhängig von der Verortung der Systemtechnik kristallisieren sich die folgenden archetypische Bauformen für Small Cells heraus, die kontextabhängig eingesetzt werden. Diese sind

- Nebensteller,
- Umschluss- oder Seitengehäuse und
- standortintegrierte Systemtechnik.

Um die Eignung der kommunalen Trägerinfrastrukturen für neue Standorte aus netzplanerischer Sicht zu bewerten, sind technische, immissionsschutzrechtliche, baurechtliche, nachfragespezifische und verfahrenserleichternde Anforderungen zu prüfen. Dies berücksichtigend ergeben sich derzeit folgende Mitnutzungspotentiale, die insbesondere für den Small Cell-Ausbau relevant sind:

	Erweiterung von Makro-Standorten	Aufbau neuer Makro-Standorte	Aufbau neuer Small Cell-Standorte
Antennenmasten	Sehr geeignet	Sehr geeignet	Wenig geeignet
Fahrleitungsmasten		Wenig geeignet	Geeignet
Beleuchtungsmasten		Wenig geeignet	Sehr geeignet
Lichtsignalanlagen („Ampelanlagen“)		Wenig geeignet	Wenig geeignet
Verkehrszeichenträger für (große) Verkehrs- und Hinweisschilder		Wenig geeignet	Geeignet
Fahrgastinformationstafeln & Hinweisschilder („U-Bahn“)		Wenig geeignet	Sehr geeignet
Gebäudedächer, Dachkanten	Sehr geeignet	Sehr geeignet	Geeignet
Gebäudefassaden		Geeignet	Sehr geeignet

Tabelle 1: Exemplarische Bewertung der Eignung von kommunalen Trägerinfrastrukturen als 5G-Standorte

Prozessuale Aspekte spielen beim Kleinzellenaufbau eine wichtige Rolle.

Der Aufbau von Kleinzellennetzen bringt aufgrund der perspektivisch großen Zahl der zu errichtenden Mobilfunkstandorte besondere Anforderungen für Standortertüchtigung, Ausbau und den operativen Betrieb mit sich.

Die Anforderungen an Kleinzellen-Standorte im öffentlichen Raum lassen sich grob in technische (z.B. Platzbedarf, Anbindung mit Glasfaser und Strom) sowie prozessuale Anforderungen einteilen. Dabei spielen prozessuale Aspekte eine sehr wichtige Rolle, da ein umfassender Small Cell-Ausbau einfache, möglichst automatisierbare Prozesse bei allen beteiligten Akteuren erfordert. Zu nennen sind beispielsweise

- a. flexible Zugangsregelungen,
- b. gegenseitige zeitnahe Übermittlung relevanter Informationen zu Wartung/Störung sowie
- c. möglichst digitale, automatisierbare Schnittstellen für den Informationsaustausch.

Idealerweise stellen Kommunen Informationen über mitnutzbare Standorte und deren Eigenschaften über digitale Schnittstellen zur Verfügung. Dies könnte im Idealfall – entsprechende Rahmenverträge vorausgesetzt – die Standortidentifikation und -auswahl vereinfachen und den 5G-Ausbau erheblich beschleunigen.

Aufgrund der geringeren Sendeleistung und optischen Beeinträchtigung müssen an Kleinzellenstandorte geringere Anforderungen als an bisherige Makro-Standorte gestellt werden. Deshalb ist eine Reduzierung der Verfahrensaufwände durch Standardisierung insbesondere durch den Abschluss von Rahmenverträgen mit allen wesentlichen Regelungen sinnvoll. Da im Regelfall keine baurechtlichen Genehmigungserfordernisse gegeben sein werden, können mit generellen Festlegungen trotz der zu erwartenden hohen Anzahl neuer Standorte große administrative Aufwände bei der Realisierung des einzelnen Standortes vermieden werden.

1. Präambel

Die Mobilfunk-Generation 5G verspricht hochleistungsfähige mobile Internetzugänge, intelligente Gesundheitsdienste, vernetzte Mobilität, und vernetzte Produktionsprozesse. Hierfür soll 5G neue Maßstäbe in Bezug auf Spitzendatenraten, Datenverkehrsdichten, Latenzzeiten und Anzahl unterstützter Endgeräte setzen.¹

Die nächste Mobilfunkgeneration 5G soll eine neue Dimension der digitalen Wertschöpfung erschließen.

Um diese Potentiale zu heben, setzt sich die Bundesregierung dafür ein, Deutschland zum weltweiten Leitmarkt für 5G zu machen. Unmittelbar mit Verabschiedung des 5G-Standards soll daher in Deutschland ab 2019 mit dem 5G-Roll-out begonnen werden.

Der Ausbau von 5G-Netzen wird 2019 beginnen. Erste Ausbauswerpunkte bilden besiedelte Gebiete sowie Gewerbe- und Industriegebiete. Auch an Verkehrswegen wird ein frühzeitiger Ausbau angestrebt.

Doch was heißt das für die betroffenen Kommunen und ihre assoziierten Unternehmen vor Ort? Wie sieht der erforderliche Netzausbau aus, welche technischen Anforderungen hat 5G und wie kann der Netzausbau beschleunigt werden? Auf diese Fragen soll diese Broschüre Antworten geben.

Einleitend ist darauf hinzuweisen:

Voraussetzung für den 5G-Ausbau ist u.a. auch der Aufbau neuer 5G-Basisstationen, die mit Glasfaser angebunden sind. Ausbaufördernd wirken sich da-

1 ITU-R: Theoretische Spitzendatenraten bis zu 20/10 GBit/s (Downstream / Upstream) unter idealen Bedingungen für einen einzelnen Nutzer, 100/50 Mbit/s (Downstream / Upstream) Durchsatzraten für jeden Nutzer zu jeder Zeit in zentralen Stadtlagen, kurze Latenzzeiten von 1 ms für die Dienste mit extremen Verzögerungsanforderungen bzw. 4 ms für den mobilen Breitband-Anwendungsfall, Verkehrsdichten von 10 Mbit/s/m² für Hotspots innerhalb von Gebäuden.

bei die möglichst einfache Nutzung vorhandener passiver Trägerinfrastrukturen sowie der Zugriff auf vorhandene gebäudeinterne Infrastrukturen aus. Letzteres wird allerdings in dieser Broschüre nicht näher vertieft.

Die Bundesregierung hat mit Verabschiedung des DigiNetz-Gesetzes 2016 die rechtlichen Rahmenbedingungen für einen beschleunigten Netzausbau im Fest- und Mobilfunk geschaffen. Mit dem Gesetz wurden die erforderlichen Wegerechte aktualisiert, öffentliche Versorgungsnetzbetreiber dazu verpflichtet, ihre Infrastrukturen für den Glasfaserausbau zur Verfügung zu stellen und öffentlich finanzierte Baumaßnahmen mit dem Breitbandausbau zu koordinieren. Schließlich wurden Ausstattungs- und Zugangspflichten für gebäudeinterne Netzinfrastruktur festgelegt, um einheitliche Standards für die Glasfaserversorgung bis zum Endkunden zu ermöglichen.

Aufgrund der unterschiedlichsten Ausbauszenarien belässt der gesetzliche Rahmen allerdings bewusst weite Spielräume für die Umsetzungspraxis. Auch im Rahmen des Ausbaus von Mobilfunknetzen ergeben sich zahlreiche Mitnutzungsfragen im Hinblick auf bestehende und geplante Antennenstandorte einschließlich der ggf. notwendigen Masten sowie deren erforderliche Anbindungen. Zahlreiche Betroffene aus Bund, Ländern und Gemeinden haben daher bereits frühzeitig um gemeinsame Erarbeitung von konkretisierenden Handlungsempfehlungen und Erläuterungen für ein einheitliches und ausgewogenes Vorgehen gebeten. Das BMVI hat daher zum Erfahrungsaustausch und zur gemeinsamen Lösung von praktischen Umsetzungsfragen die Arbeitsgruppe „Digitale Netze“ eingerichtet.

Die Unterarbeitsgruppe „Mitnutzung für die mobile Gigabitgesellschaft (konvergente Hochgeschwindigkeitsnetze/ 5G)“ hat den Auftrag, die besonderen **Anforderungen des Mobilfunks** herauszuarbeiten und **mit den gesetzlich vorgegebenen Rechten und Pflichten** im Rahmen der bilateralen Verhandlungen und Verwaltungsverfahren **abzugleichen**.

Die vorliegende Hinweisbroschüre dient der Erläuterung der Infrastrukturanforderungen des 5G-Ausbaus. Hierfür wurden vor allem geeignete Mitnutzungspotentiale kommunaler Trägerinfrastrukturen identifiziert und Anforderungen für ihre Bereitstellung definiert.

Unter Einbindung der Hersteller, der Festnetz- und Mobilfunknetzbetreiber sowie der Vertreter aus dem kommunalen Raum beschreibt die vorliegende Broschüre anschaulich die technischen Grundlagen der nächsten Mobilfunkgeneration 5G und soll damit den Entscheidungsträgern in den zuständigen Verwaltungen bei Bund, Ländern und Kommunen den Zugang zum Thema erleichtern.

Die Auswahl der Mitnutzungspotentiale erfolgte dabei vorrangig mit Blick auf den besiedelten Raum.

Der fortschreitende Ausbau von 5G-Netzen kann gegebenenfalls zu einer Neubewertung der beschriebenen Mitnutzungspotentiale führen. Es ist daher beabsichtigt, diese Broschüre fortlaufend auf Anpassungsbedarf zu prüfen und aktuell zu halten.

2. Anwendungspotentiale von 5G

Die Vernetzung von Gesellschaft, Märkten, Branchen und Industrien steht vor einem dynamischen Entwicklungssprung. Leistungsfähige Internetzugänge sind bereits heute zu einem zentralen Standortfaktor geworden. Dabei stand bisher die Erreichung flächendeckender Verfügbarkeit breitbandiger Infrastruktur für die Nutzer im Vordergrund. Zukünftig wird neben dem Glasfaserausbau im Festnetzbereich auch die Mobilfunkversorgung mit dem neuen Netzstandard 5G beim Netzausbau eine verstärkte Rolle spielen.

Die neue Mobilfunkgeneration wird eine wesentliche Grundlage für Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0 und für eine verstärkte Vernetzung in strategisch wichtigen Bereichen wie Mobilität (z.B. automatisiertes Fahren), Logistik, Energie und Medienverbreitung sein. Neben den anspruchsvollen Anforderungen der vielfältigen Anwendungsfelder muss die Entwicklung von 5G weiteren Rahmenbedingungen Rechnung tragen: Einerseits nimmt die Anzahl vernetzter Geräte massiv zu und andererseits wächst das Datenvolumen, insbesondere der mobilen Anwendungen, rasant. 5G muss nicht nur hoch flexibel und skalierbar sein, sondern muss trotz des hierfür erforderlichen, umfangreichen Netzausbaus bezahlbar bleiben, um rasch und nachhaltig implementiert werden zu können. Dementsprechend sind die Mitnutzungskonditionen kommunaler Trägerinfrastrukturen ein wichtiger Faktor für die Gesamtkosten und Geschwindigkeit des 5G-Ausbaus.

Auch wenn der Aufbau und Betrieb der 5G-Netze Aufgabe der Mobilfunknetzbetreiber ist, gehen die Herausforderungen des Aufbaus weit über diesen Kreis hinaus. Einerseits setzt 5G eine möglichst weitflächige Verfügbarkeit von Glasfasernetzen voraus und andererseits erreicht die Netzverdichtung bei 5G ein Ausmaß, das eine **intensive Zusammenarbeit mit Städten, Landkreisen und Gemeinden erforderlich** machen wird.

Bund, Länder und Kommunen sollten sich daher frühzeitig mit den anstehenden Veränderungen durch den 5G-Ausbau vertraut machen, um eine unterstützende Rolle spielen zu können und damit den effizienten Ausbau zu beschleunigen. Dies betrifft z.B. die Identifikation von potenziellen Trägerinfrastrukturen und die Vereinfachung von

Abstimmungs- sowie Genehmigungsprozessen, insbesondere durch Abschluss von Rahmenverträgen mit den Netzbetreibern.

Für große Teile der Bevölkerung ist ein schneller Internetzugang bereits heute zu einer zentralen Anforderung an ihre Wohnortwahl geworden. Auch für Unternehmen ist ein leistungsfähiger Internetzugang einer der wichtigsten Standortvoraussetzungen. Kommunen stehen damit nicht nur vor der Herausforderung, diesen Ansprüchen gerecht zu werden, sondern auch im Wettbewerb mit anderen Kommunen. Neben dem Internetzugang über Festnetz wird die Verfügbarkeit von 5G-Netzen mit neuen Möglichkeiten im Mobilfunk zahlreiche neue Anwendungen ermöglichen und damit zum Treiber des Bedarfs werden:

Im **Verkehrssektor** bieten Vernetzung und intermodale Ansätze sowohl im Individual- als auch im Logistikverkehr enorme Potentiale, um Verkehrsprobleme zu lösen: Eine Digitalisierung des Verkehrssektors verspricht einen deutlich besseren Verkehrsfluss. Zum Beispiel können Verkehrsleitzentralen mit automatisierter Erfassung der Fahrzeugbewegungen Verkehrsflüsse so steuern, dass Staus gar nicht erst entstehen oder sich zumindest erheblich schneller auflösen. Das spart nicht nur Zeit und Ärger bei den Verkehrsteilnehmern, sondern verringert auch den Verbrauch von Energieträgern, was zu einer geringeren Umweltbelastung führt. Auch die Verkehrssicherheit kann merklich profitieren. Voraussetzung hierfür ist die Vernetzung der Fahrzeuge, damit diese untereinander und mit der Infrastruktur kommunizieren können. Auch die Parkplatzsuche kann durch Smart Parking-Anwendungen, bei denen Sensoren freie Parkplätze melden, stark vereinfacht werden.

Im **Stadtmarketing und Tourismus** entstehen durch Vernetzung und 5G-Mobilfunk neue Möglichkeiten der Attraktivitätssteigerung für den Einkauf in der Innenstadt und den Tourismus. In den Blick rückt damit nicht nur ein leistungsstarker mobiler Internetzugang, um die Aufenthaltsqualität in der Innenstadt zu steigern, sondern möglich werden auch Anwendungen, wie beispielsweise Augmented Reality-Stadtrundgänge, bei denen Besucher „live“ in die Stadthistorie eintauchen können und damit beispielsweise Stadtgeschichte ganz neu erleben können. Auch Ausstellungsstücke müssen nicht mehr ortsfest in einem

Museum gezeigt werden, sondern können in einem digitalen Museum in den Blick der Besucherinnen und Besucher gerückt werden. Voraussetzung ist, dass die entsprechenden Endgeräte mit den hohen Bandbreiten mobil erreicht werden und Interaktionen mit geringeren Reaktionszeiten möglich sind, um eine reale Interaktion zu ermöglichen.

Energieversorgung und Abfallbeseitigung gehören von jeher zu den Aufgaben kommunaler Daseinsvorsorge. In Energienetzen werden in Zukunft dezentrale Systeme auf lokaler Ebene mit einem hohen Vernetzungsgrad die Netzarchitektur bestimmen. Ziel ist es, lokale und regionale Energieverteilnetze durch die dynamische Steuerung von Erzeugern, Lasten und Speichern so zu optimieren, dass diese Erzeuger auch netzdienliche Aufgaben übernehmen, die aktiv zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen können. Dazu sind Kommunikationsbeziehungen in lokalen und regionalen Strukturen mit sehr kleiner Latenz notwendig, um der zunehmenden Verbreitung von lokalen Erzeugern wie Solaranlagen und Windkraftanlagen und den konventionellen Kraftwerken auf der einen Seite, aber auch durch die Erkennung von Laständerungen, wie zum Beispiel durch die Verbrauchsprofile neuer Verbraucher wie Elektroautos, auf der anderen Seite Rechnung zu tragen.

Im Bereich der **Abfallbeseitigung** können bereits heute Sensoren Füllstände erkennen und Bedienstete und Fahrzeuge so einsetzen, dass Routen optimal und effizient abgefahren werden.

Auch im Bereich anderer kommunaler **Aufgaben** ergeben sich Möglichkeiten, Ressourcen effizienter einzusetzen.

Hierzu zählen etwa die bedarfsgerechte Beheizung und ein effizientes Energiemanagement kommunaler Einrichtungen wie Schulen und Theater oder auch Predictive Maintenance-Anwendungen im Einsatz kommunaler Verkehrsflotten, um Störungen bereits zu erkennen, bevor diese zum Ausfall des Fahrzeugs führen.

Voraussetzung all dieser Anwendungen sind Mobilfunkverbindungen, da die Großzahl dieser Sensoren nicht per Kabel sinnvoll angebunden werden kann. Insbesondere mit Blick auf die Energieversorgung sind zudem kurze Latenzzeiten notwendig, um die Versorgungssicherheit der Netze zu gewährleisten. Andere Nutzungsszenarien wie Smart Waste erfordern hingegen insbesondere lange Batterielaufzeiten des Sensors. Besonders hohe Anforderungen entstehen, wenn zeitkritische Steuerungssignale und hochauflösende Bewegtbilder übertragen werden sollen, beispielsweise bei der Steuerung einer Drohne. Der Einsatz solcher 5G-Drohnen im kommunalen Umfeld kommt beispielsweise für die Überprüfung der Einhaltung baurechtlicher Vorgaben in Betracht oder aber für Notsituationen, um bereits in der Leitzentrale einen Überblick über die Vor-Ort-Situation zu erhalten.

Zusammenfassend ergeben sich neben der allgemeinen Standortverbesserung durch 5G-Netze zahlreiche Möglichkeiten zum Einsatz im kommunalen Umfeld.

Die für den Rollout und den Aufbau solcher Netze erforderlichen Standort-Bedingungen wollen wir im Folgenden beschreiben.

3. Rahmenbedingungen des 5G-Ausbaus

Grundlage für die Entwicklung von 5G-Produkten ist der globale 5G-Standard.

3.1 Zeitliche Rahmenbedingungen

Standardisierung und Netzausbau sind zweistufig angelegt. Während die erste Stufe der Standardisierung bereits im Dezember 2017 abgeschlossen wurde, wird die neue Mobilfunkgeneration voraussichtlich Ende 2019 abschließend standardisiert sein.² Die parallele Einführung von 5G entspricht der Einführung von LTE, das bis heute parallel mit GSM und UMTS in den Netzen betrieben wird. Perspektivisch kann man davon ausgehen, dass die bereits im Betrieb befindlichen Mobilfunkfrequenzen zunehmend auf 5G umgestellt werden, ähnlich wie LTE zunehmend GSM und UMTS ersetzt.

LTE-Netze werden noch auf lange Sicht mit 5G-Netzen koexistieren.

Der Ausbau von 5G wird voraussichtlich im Jahr 2019 beginnen. Ab 2019/2020 wird der kommerzielle Start von 5G erwartet.³

Mit Blick auf einen erfolgreichen 5G-Ausbau, muss neues Spektrum an existierenden Mobilfunkstandorten in Betrieb genommen werden. Diese sogenannten Makro-Standorte befinden sich heute typischerweise auf Gebäudedächern oder dedizierten Türmen. Bestehende baurechtliche, zulassungstechnische Rahmenbedingungen, physikalische Eigenschaften (wie z.B. Platz, Statik) sowie ökonomische Randbedingungen begrenzen die Aufrüstung dieser Standorte. Daher wird es dringend notwendig werden, einen angemessenen rechtlichen Rahmen zur effizienten Nutzung der bereits bestehenden Makro-Standorte für 5G zu gestalten.

Gleichzeitig ist die Errichtung zusätzlicher Makro-Standorte nötig. Diese werden zum einen wiederum auf Gebäudedächern/Türmen errichtet werden, zum anderen aber perspektivisch auch an neuen Standorttypen wie z.B. Dachkanten.

Schließlich ist die Zellverdichtung an Standorten mit hoher Endgerätedichte sowie mit Kapazitätsbedarf für kritische Anwendungen durch den Aufbau von sogenannten Kleinzellen (Small Cells) ein wichtiger Bestandteil für einen erfolgreichen 5G-Rollout.

Hinsichtlich der zeitlichen Taktung steht zu Beginn des 5G-Ausbaus die Aufrüstung bestehender Makro-Standorte im Vordergrund. Die Schließung von Abdeckungslücken, besonders im ländlichen Raum, erfordert zudem den Aufbau neuer Makro-Standorte. Zur weiteren Steigerung der Netzkapazität werden dann bedarfsgerecht zum einen Kleinzellenstandorte an Orten mit besonders hoher Personendichte errichtet, zum anderen sorgen ggf. auch neuartige Makro-Standorte für zusätzliche Kapazität.

Zwar liegt der Schwerpunkt besonders zu Beginn des 5G-Ausbaus auf der Erüchtigung der bestehenden Makro-Standorte, jedoch bleiben alle Maßnahmen auch langfristig relevant. Die Wahl der geeigneten Maßnahme und ihre zeitliche Taktung erfolgt unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte, der lokalen Topologie (z.B. Aufrüstbarkeit der bestehenden Makrostationen der Kosten evtl. Umbaumaßnahmen) und lokaler Kundenbedarfe. So kann in einem Stadtteil ggf. schon über Makrozellen auch mittelfristig genug Kapazität bereitgestellt werden, sodass nur vereinzelt Small Cells benötigt werden. In einem anderen Stadtteil hingegen werden aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen auf der Makroebene schon zu einem früheren Zeitpunkt viele Small Cells benötigt. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Frequenzausstattung, der Technologiewahl sowie der strategischen Ausrichtung für jeden Mobilfunkbetreiber unterschiedlich. Zusammenfassend ist der 5G-Ausbau gekennzeichnet durch:

- **Aufrüstung bestehender Makro-Standorte und Einsatz von neuem Frequenzspektrum,**
- **Errichtung neuer Makro-Standorte,**
- **Netzverdichtung durch die Errichtung von Kleinzellen-Sendestandorten und**
- **Einsatz von fortgeschrittenen Antennensystemen.**

2 <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>.

3 5G-Strategie für Deutschland

3.2 Technische Rahmenbedingungen

Grundsätzlich gelten auch für 5G-Netze weiterhin viele grundlegende Zusammenhänge, wie sie für Mobilfunktechnologien seit ihrer Einführung bekannt sind⁴:

- Mobilfunknetze sind aus **Zellen** aufgebaut, die sich für einen unterbrechungsfreien Empfang beim Zellwechsel überlappen.
- Die für den einzelnen Nutzer erreichbare **Datenrate in einer Zelle** hängt von der verwendeten Frequenzbandbreite, dem Abstand zur Sendeantenne und der Zahl der aktiven Nutzer in der jeweiligen Mobilfunkzelle ab.
- Die **Größe der Zellen** wird von der **Sendeleistung** der Basisstation und den **Ausbreitungsbedingungen der genutzten Funkfrequenzen** beeinflusst.
 - **Niedrige Frequenzen** verfügen dabei über bessere Ausbreitungseigenschaften und bilden deshalb die Grundlage für die **Mobilfunkabdeckung in der Fläche**.
 - Höhere Frequenzen erfahren eine stärkere Ausbreitungsdämpfung, die Zellgröße verringert sich. Sehr **hohe Frequenzen größer 20 GHz** erfordern darüber hinaus in der Regel eine **direkte Sichtverbindung**.

Die Anforderungen von 5G-Netzen an die Sendestandorte unterscheiden sich angesichts der verwendeten Frequenzen von denen herkömmlicher Sendestandorte. 5G-Netze benötigen neben großflächig verteilten herkömmlichen Makro-Sendestandorten auch eine Vielzahl verteilter Kleinzellen-Sendeanlagen, die eher WLAN-Access-points ähneln.

3.3 Frequenztechnische Besonderheiten

Die für Funkanwendungen erforderlichen Frequenzen stehen physikalisch nur in einem begrenzten Umfang zur Verfügung. Bisherige Funkanwendungen konzentrieren sich insbesondere auf niedrige Frequenzbänder $\leq 3,8$ GHz für

die weiträumige Flächenabdeckung, da sich die Ausbreitungsbedingungen von Funkfrequenzen mit zunehmender Frequenzhöhe stark verschlechtern. Die Frequenzen unterhalb von 1 GHz werden aufgrund der geringeren Verfügbarkeit niedriger Frequenzbänder auch weiterhin bevorzugt zur Mobilfunk-Flächenversorgung mit herkömmlichen Sprach- und Datendiensten eingesetzt werden. Aufgrund ihrer guten Eigenschaften zur Flächendeckung werden sie zukünftig auch vermehrt für **Anwendungsfälle des Internets der Dinge (IoT) mit lediglich moderatem zusätzlichen Datenverkehrsaufkommen eingesetzt**⁵.

Die Frequenzbänder zwischen 1 und 6 GHz verfügen über ungefähr die doppelten Frequenzressourcen im Vergleich zu den Bändern unterhalb von 1 GHz. Als erstes neues Frequenzband der 5. Mobilfunkgeneration gilt das sogenannte C-Band (5G Pionierband), die Frequenzen von 3,4 GHz – 3,7/3,8 GHz. Ergänzend kommen für 5G die hohen Frequenzbänder oberhalb von 24 GHz (der sogenannte Millimeterwellenbereich) in Frage. Bislang werden hohe Frequenzbänder u.a. für die **Richtfunk-Anbindung genutzt. Teile dieser Richtfunk-Nutzung werden perspektivisch durch Glasfaser ersetzt**. In städtischen Gebieten könnten diese Frequenzen dann grundsätzlich (unter Wahrung der regulatorischen Prozesse) für die Anbindung der Mobilfunkendgeräte mit 5G genutzt werden.

Einer der Gründe für die Besonderheiten des 5G-Netzausbaus ist die mögliche zusätzliche Nutzung der Millimeterwellentechnologie >24 GHz. Frequenzen >24 GHz ermöglichen Datenraten von bis zu 20 Gbit/s. Diese Frequenzen kommen bei gleicher Sendeleistung allerdings nur für vergleichbar **kleine Funkzellen** in Frage. Einsatzfälle sind sowohl der stationäre Breitbandzugang als auch Mobilfunk-Versorgungsgebiete mit höchstem Datenverkehrsaufkommen.

⁴ Siehe auch: Technologien für die Gigabitgesellschaft (Nationaler IT Gipfel 2016).

⁵ Ein 5G-Anwendungsfall des Internets der Dinge ist u.a. im Bereich des automatisierten Fahrens zu finden (z.B. hochdynamische Kartenupdates für die situationsbedingte Navigation bzw. Funktionalitäten für die Erhöhung der Verkehrssicherheit).

Frequenzen	Reichweite	Nutzung	Einsatz/ Standorttyp
900 MHz 800 MHz 700 MHz	~ 4-5 km	GSM LTE DVB-T/5G	Generelle Flächenabdeckung Stadt, Stadtrandlagen, ländlicher Raum/ Makro-Standorte
1800 MHz 2100 MHz 2600 MHz 3500 MHz	~< 1,5 km ~< 600 m	GSM/LTE UMTS LTE 5G	Stadt, Stadtrandlagen, Verkehrswege HotSpot /existierende und neue Makro- Standorte, teilw. Kleinzellen
24,5-27,5 GHz	~< 100-200 m	5G	HotSpots

Tabelle 2: Übersicht Frequenzen

Frequenznutzungen oberhalb von 1 GHz erfordern wesentlich mehr Antennenstandorte, da aufgrund von physikalischen Bedingungen die Funkzellen bei gleicher Strahlungsleistung wesentlich kleiner sind. Sie unterliegen daher anderen technischen Anforderungen als bisherige Standorte.

Die Abschattungseffekte von Gebäuden und anderen Hindernissen sind bei höheren Frequenzen spürbarer, die **Anwendung liegt vorzugsweise im direkten Sichtfeld zwischen Basisstation und Endgerät**. Im Bereich der Frequenzen um 3,5 GHz kompensieren **neue Multi-Antennentechnologien** mit dynamischer 3D-Strahlbündelung und -führung sowie die Koordination von Sendemasten teilweise die frequenzbedingte geringere Reichweite.

Hierfür folgt die Ausrichtung der Abstrahlung im gewissen Umfang dynamisch den Endgeräten. Zukünftig sollen für eine bessere Koordinierung der Sendeanlagen zudem Störungen in den Zellüberlappungsbereichen deutlich reduziert werden.⁶

⁶ Dabei spielt das sog. Beamforming eine zunehmend wichtige Rolle, da auf diese Weise auf derselben Frequenz mehrere Geräte mit Daten gleichzeitig versorgt werden können. Zukünftig wird bei 5G ein Endgerät mit mehr als einer Basisstation verbunden sein, so dass die maximale Datenrate sich aus der Summierung der einzelnen Basisstationen ergibt, mit der das Endgerät verbunden ist.

3.4 Infrastrukturelemente der 5G-Standorttypen

Herkömmliche und zukünftige Mobilfunknetze unterscheiden sich im Hinblick auf Zellgröße und Sendeleistung. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen **Makrozellen** und **Kleinzellen**:

- **Makro-Standorte** werden daher zumeist auf Dächern bzw. Türmen bereitgestellt und stellen die **gegenwärtig dominierende Mobilfunknetz-Standortform** dar. Mit Sendeleistungen im Bereich >100W pro Sektor/Zelle dienen sie der **Flächenversorgung**.
- **Kleinzellen-Basisstationen** mit Sendeleistungen unterhalb von 10W pro Sektor/Zelle findet man **bislang nur vereinzelt**. Sie dienen bislang vor allem der Entlastung bzw. Ergänzung der Makrozellen an Standorten mit lokal besonders hohem Verkehrsaufkommen. Perspektivisch werden sie ein wichtiger Bestandteil des 5G-Netzes.

Wie ausgeführt wird sich 5G sowohl auf bereits existierende Antennenstandorte auswirken als auch neue Standorte benötigen. Im Folgenden werden erst die Auswirkungen auf bestehende und neue Makro-Standorte mit hoher Sendeleistung genauer beschrieben. Die Beschreibung der Kleinzellen-Standorte erfolgt dann im letzten Abschnitt. In Kapitel 4 und 5 folgt auf dieser Grundlage eine Eignungsprüfung passiver Trägerinfrastrukturen in kommunaler Hand für diese 5G-Standorttypen.

3.4.1 Makro-Standorte in heutigen Mobilfunknetzen

Die Mobilfunkversorgung erfolgt heute in der Regel durch ‚größere‘ Installationen mit Mobilfunksendeanlagen an klassischen Makro-Standorten. Oft teilen sich mehrere Betreiber gemeinsam einen Standort. Aus Gründen der Rundumabdeckung bilden in vielen Fällen drei Sende- und Empfangssektoren zusammen jeweils einen Standort pro Mobilfunkbetreiber.

Die Maststandorte sind außer mit Antennen und Radiomodulen regelmäßig mit weiterer **Systemtechnik und Infrastruktur für die Anbindung des Standortes** an das Zugangsnetz ausgestattet. Oft sind der Systemtechnikschrank und die dazugehörigen Komponenten in einem separaten Betriebsraum/-gebäude untergebracht. Es wird erwartet, dass zukünftig die Anbindungsinfrastrukturen sukzessive durch Glasfaser ersetzt werden, insbesondere für die städtischen Standorte, mit fortschreitendem Ausbau

flächendeckender Glasfaserinfrastrukturen aber auch im ländlichen Raum.

Eine Makro-Installation besteht regelmäßig aus **Kombination(en)** von:

Antennen, Systemtechnik, Schrank und Antennenverkabelung zwischen Antennen und Systemtechnik-Schrank (am Fußpunkt des Mastes, im Systemtechnik-Raum)

und/oder

Antennen, separatem Funkmodul (nah der Antenne), Systemtechnik-Schrank in Fußpunkt-/Bodennähe mit (kombinierter) Glasfaser-/Stromversorgungsverkabelung zwischen Systemtechnikschrank und Funkmodul(en) sowie zentralisiertem Stromwandler pro Standort, oft mit Pufferbatterie.

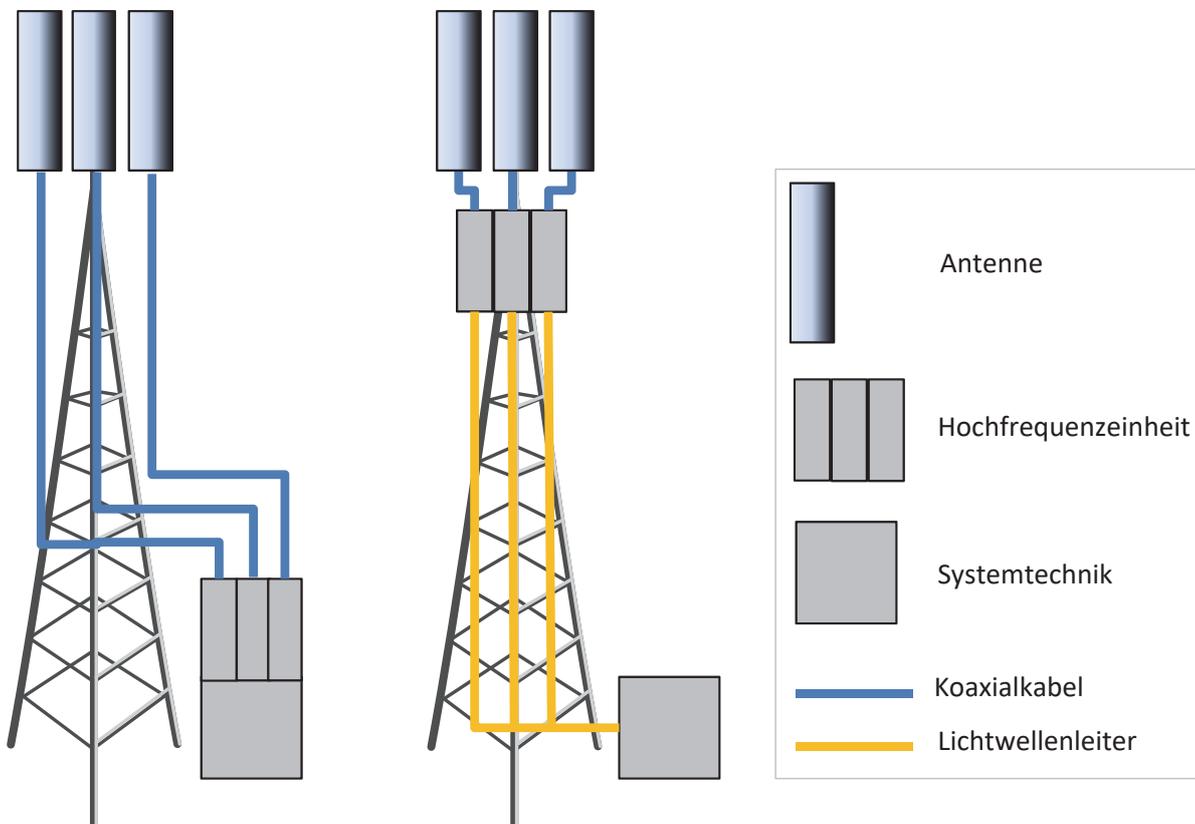


Abbildung 1: Schematische Darstellung Turminstallation (Makro-Typ)
Quelle: BMVI

Die existierenden Standort-Bauformen findet man im Wesentlichen auf

- Türmen (insbesondere im ländlichen Raum und entlang der Verkehrswege),
- turmhohen Gebäuden (z.B. Kirchtürme),
- Dächern (an zentralen Masten oder auch über Dach verteilt, z.B. an Gebäude-Ecken) und
- Masten.

Aus technischer Sicht unterscheidet man Anwendungsbereiche für die heutige Mobilfunkversorgung in städtische Ballungsräume, Stadtrandlagen und den ländlichen Raum mit Siedlungs- und Gewerbegebieten, die jeweils durch Verkehrswege der unterschiedlichsten Art durchzogen bzw. miteinander verbunden sind.

• heutige Funkzellen < 3 GHz
(existierende Standorte 4G)



Abbildung 2: Mobilfunk-Anwendungsbereiche, hervorgehoben: heutige (Makro-)Standorte
Quelle: BMVI

Um die durch die zukünftige Entwicklung des Mobilfunks zu 5G entstehenden Änderungen zu verstehen, erläutert der folgende Abschnitt den schrittweisen Ausbau existierender und anschließend den Aufbau neuer Mobilfunkstandorte.

3.4.2 Ausbau bestehender Makro-Standorte

Wie zuvor bereits dargelegt werden im ersten Schritt des 5G-Ausbaus die existierenden Makro-Standorte auferüstet und neue Frequenzen für 5G aktiviert. Es zeichnet sich ab, dass bedarfsgetrieben zunächst eine neue Antennen-Technologie bei 3,5 GHz im städtischen Raum aufgebaut wird, komplementiert durch punktuelle Aufbauten im ländli-

chen Raum. Für die generelle ländliche Abdeckung steht seit Freiräumung des Frequenzbandes im Jahr 2018 insbesondere das 700 MHz-Band zur Verfügung.

Eine Reihe von Faktoren begrenzen die Aufrüstbarkeit der bestehenden Makro-Standorte. Diese sind baurechtliche und zulassungstechnische Rahmenbedingungen (vor allem Immissionsschutz), physikalische Gründe (wie z.B. Platz, Statik) sowie ökonomische Randbedingungen. Wie bereits oben schon erwähnt, wird es daher dringend notwendig werden, einen angemessenen rechtlichen Rahmen zur effizienten Nutzung der bereits bestehenden Makro-Standorte für 5G zu schaffen.

• heutige Funkzellen < 3 GHz
(existierende Standorte 4G)

• neue 5G Zellen bei 700 MHz
• neue Antennentechnologie bei
3,5 GHz (existierende Standorte)



Abbildung 3: Schematische Darstellung einer ersten 5G Ausbaustufe auf existierenden Standorten
Quelle: BMVI

Für die Inbetriebnahme des 700 MHz-Spektrums werden Funkmodule pro Sektor ergänzt und eventuell Antennen ausgetauscht.

Für die Inbetriebnahme des 3,5 GHz-Spektrums werden u.a. aktive (integrierte) Multi-Aktive-Antennen-Einheiten (sogenannte Active Antenna Units - AAUs) verbaut.

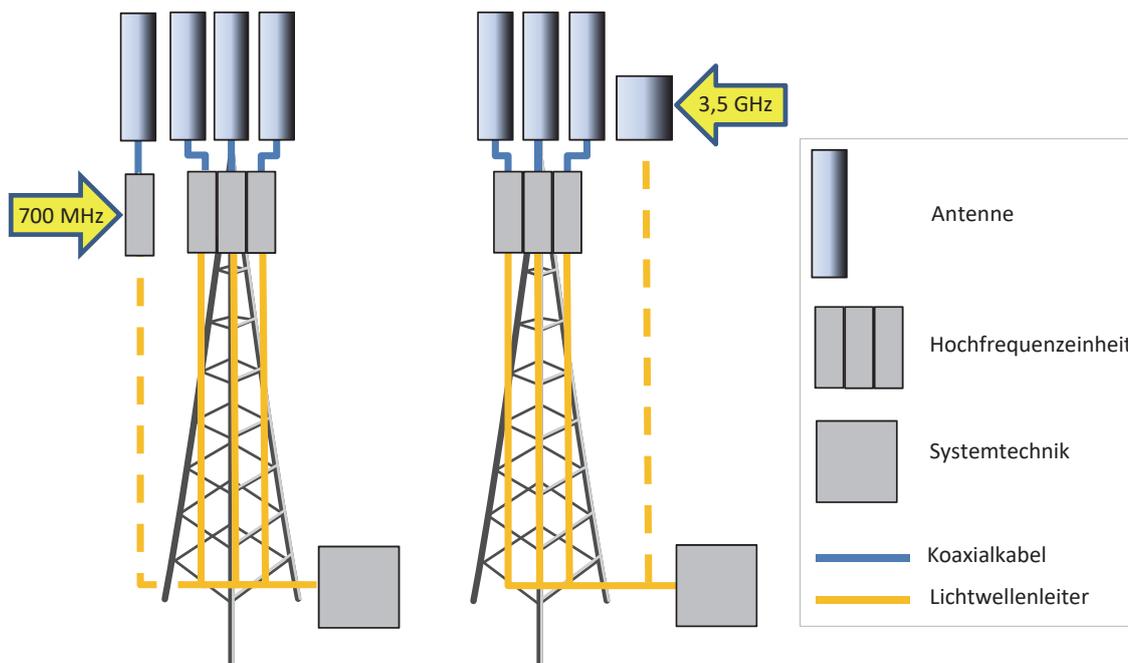


Abbildung 4: Schematische 5G Erweiterungen (Makro-Typ)
Quelle: BMVI

3.4.3 Errichtung neuer und „neuartiger“ Makro-Standorte

Neben der Aufrüstung bestehender Makro-Standorte müssen auch neue Makro-Standorte errichtet werden. Um den Ausbau gerade im ländlichen Raum voranzutreiben, könnten vorkonfektionierte Lösungen unter Umständen den Errichtungsaufwand reduzieren.

In der Diskussion sind dabei auch neuartige Makro-Standorte, ggf. auch nur mit einer Sektorantenne im C-Band, d.h. um 3,5 GHz, in der Regel als aktive Antenne mit Beamforming. Zudem benötigen neuartige Makro-Standorte evtl. auch nur einen minimierten Systemschrank mit Netzzugangstechnik, Stromversorgung und evtl. Pufferbatterie.

Es gilt auf der einen Seite im städtischen Raum einen möglichst effizienten Rahmen für die Aufrüstung bestehender Antennenstandorte zu schaffen. Auf der anderen Seite gilt es ergänzend alternative Standorte zu finden, die auch neuartige Makrozellen aufnehmen können.

Neuartige Makro-Standorte bestehen - anders als bisherige Antennenstandorte - gewöhnlich nur aus einem Sektor und stellen daher geringere Anforderungen an die Trägerstruktur. Beispiele für diese Standorte können sein: Flachdächer, Dachkanten und tragfähige Laternenpfähle.

Generelle Parameter	Existierende Makro-Standorte (meist 3 Sektoren)		Neuer Makrostandort (1 Sektor)
	Ohne 5G	Mit 5G	Mit 5G
Frequenzbänder	mind. 1 - 4 Bänder pro Standort (< 3,8 GHz)	Zusätzlich 1 - 2 (700 MHz, 3,5 GHz)	2 GHz Bereich (1,8 - 2,6 GHz) (a) 3,5 GHz (b) oder 26 GHz (c)
Höhe	10 m (über Referenz: Boden/Dach) < 25 m		
Totale Sendeleistung/ Sektor	max. ~ 100 - 160 W	max. ~ 100 - 300 W	(a) <~ 100 W (b) <~ 200 W (c) <~ 20 W
Anschlussleistung(en) (Standort):	< ~ 800 - 1200 W	~ 800 - 3,6 kW	(a) max 250 W (b) <~ 700 W (c) <~ 500 W (typ.)
Antennen:	1 - 2 pro Sektor	2 - 3 pro Sektor	AAU-Bauform
Traglast(en)/Stück:	Antennen: ~ 13 - 27 kg Funkmodul: ~ 8 kg	Antennen (passive): ~ 13 - 27 kg Antennen (AAU): 45 kg (kein separates Funkmodul mehr)	(a) < 16 kg (b) < 40 kg (c) < 20 kg
Größe(n)/Stück:	Antennen: 1,4/2 x 0,15 x 0,35 m ³ Funkmodul: 8 - 18 Liter pro Modul Schrank: 0,6 * 0,48 * 0,7 m ³	Antennen: 1,4/2 x 0,15 x 0,35 m ³ Funkmodul: 8 - 18 Liter pro Modul AAU (8T8R): 1,5 x 0,37 x 0,26 m ³ AAU (64T64R): 0,8 x 0,4 x 0,25 m ³	(a) 0,8 x 0,17 x 0,17 m ³ (b) 0,8 x 0,4 x 0,25 m ³ (c) 0,6 x 0,3 x 0,16 m ³

Tabelle 3: Technische Standort-Anforderungen (auszugsweise, Richtwerte, keine Normwerte; Stand März 2019)



Abbildung 5: Schematische Darstellung zusätzlicher Makro-ähnlicher Standorte zur Verdichtung
Quelle: BMVI

Neben unabhängigen Standorten ist technisch denkbar, dass neuartige Makro-Standorte sich als bloße Satellitenstandorte die Systemtechnik/Stromversorgung oder den Netzzugang mit einem existierenden Makro-Standort teilen. Dies wäre besonders dann attraktiv, wenn die immissionsschutzrechtliche Zulassung konkret zwischen einzelnen Antennenstandorten auf einem Dach differenzieren kann und nicht auf die bloße Adresse des Standorts abstellt.

3.4.4 Kleinzellen-Standorte

Neben dem Ausbau bestehender und dem Aufbau neuartiger Makro-Zellen wird 5G auch den Aufbau neuer Kleinzellen erforderlich machen.

Kleinzellen sind in Bezug auf die eingesetzten Antennen eher mit WLAN-Accesspoints als mit Mobilfunkmasten vergleichbar.



Abbildung 6: Vollständige Übersicht an Standort-Typen für die zukünftige 5G Netze
Quelle: BMVI

Der Aufbau von Kleinzellennetzen bringt aufgrund der großen Zahl der zu errichtenden Mobilfunkstandorte besondere Anforderungen für die Standortertüchtigung, den Ausbau und den operativen Betrieb mit sich.

Aus Betreibersicht sind dies vor allem:

- eine möglichst **minimale Aufbaugröße** aller Komponenten, um Kosten zu senken und die Akzeptanz durch die Kommunen zu erhöhen,
- eine möglichst **niedrige Anzahl unterschiedlicher Varianten** von Gehäuse, Antenne etc., um logistische Prozesse zu vereinfachen,
- einen möglichst **flexiblen und unabhängigen Zugang** zum Standort und der Systemtechnik, um betriebliche Belange zu optimieren und
- eine **möglichst einfache Prozesslogik mit der Kommune bzw. dem Standortbetreiber für sämtliche Prozesse von Standortidentifikation, Genehmigungen, über Wartung und Entstörung bis hin zur Abrechnung von Strom.**

3.4.4.1 Funktionale Bestandteile einer Small Cell

Die wesentlichen funktionalen Bestandteile einer Small Cell sind:

- **Die Antenne.** Antennen sind kleine, relativ leichte Komponenten. Mit Blick auf die Einhaltung von Grenzwerten nach Bundesimmissionsschutzgesetz werden sie typischerweise auf über 2,30 m aufgehängt, weil dann keinerlei Zusatzvorkehrungen mehr erforderlich sind.
- **Die Systemtechnik,** welche das Mobilfunksignal erzeugt und über ein Kabel zur Antenne sendet. Der Zugang zur Systemtechnik muss möglichst einfach sein, daher wird sie bevorzugt bodennah installiert. Grundsätzlich können die Antenne und die übrigen Komponenten in einem gemeinsamen Gehäuse integriert werden. Aus den unterschiedlichen Anforderungen an die Installationshöhe ergibt sich aber in vielen Situationen ein Vorteil aus der Trennung von Antenne (möglichst hoch aufgehängt) und übrigen Komponenten (möglichst bodennah für einfache Zugänglichkeit).
- **Die Zu- und Abführung des Mobilfunkdatenverkehrs** vorzugsweise per Glasfaser mit den dafür erforderli-

chen Komponenten/Schnittstellen in möglichst kleinem Formfaktor.

- **Die Stromversorgung.** Anzustreben ist eine Stromversorgung mit 230 V, sodass auf einen Spannungskonverter verzichtet werden kann, um die Baugröße möglichst klein zu halten.
- **Die aktive/passive Belüftung** zur Kühlung der aktiven Systemtechnik.
- **Die Erdung** zur Erfüllung der gängigen Sicherheitsvorschriften.
- Bei offen zugänglichen Standorttypen ein umschließendes **Gehäuse**.

3.4.4.2 Kommunale Standorttypen und archetypische Bauformen

Derzeit werden noch zahlreiche Standorttypen für Kleinzellen diskutiert. Die drei wichtigsten Gruppen sind

1. **„Masten“** (jegliche Form von Masten, wie Laternen, Verkehrsschilder, Ampeln, ...),
2. **„Stadtmöbel“** (Litfaßsäulen, Werbetafeln inkl. Bushaltestellen, Energieladesäulen, ...) und
3. **Gebäudewände und ggf. niedrige -dächer** (Montage an öffentlichen und privaten Gebäuden).

Weitere Standorttypen wie z.B. Gullideckel spielen aus heutiger Sicht noch eine untergeordnete Rolle, da sie aufgrund ihrer bodennahen Position keine ideale Grundlage für die Funksignaleinspeisung bieten.

Abhängig von der Verortung der Systemtechnik kristallisieren sich die folgenden archetypischen Bauformen heraus, die kontextabhängig eingesetzt werden. Diese sind⁷

1. **Nebensteller,**
2. **Umschluss- oder Seitengehäuse und**
3. **standortintegrierte Systemtechnik.**

Nebensteller

Hier wird die Systemtechnik in einem kompakten Gehäuse direkt am Standort oder nahe am Standort auf dem Boden positioniert, während die Antenne selber unmittelbar oben am/im Standort untergebracht ist. Zu den diskutierten Konzepten gehört auch die „**visuelle Anpassung**“ der **Gehäuse** z.B. als Blumenkübel. Diese Bauform ist die flexibelste und bei allen Standorttypen anwendbar.

⁷ Neben diesen wichtigsten archetypischen Bauformen sind situativ gegebenenfalls auch andere denkbar, z.B. die Unterbringung von Systemtechnik in Schächten, wo dies technisch machbar und ökonomisch sinnvoll ist.

Nebensteller für einen existierenden Mast



Abbildung 7: Small Cell-Installation an einem Beleuchtungsmast mit camouliertem Nebensteller
Quelle: Telekom, Raycap

Umschluss- oder Seitengehäuse für „Masten“

Diese Bauform eignet sich für Standorte vom Typ „Mast“, bei denen die Antenne und die Systemtechnik unmittelbar am Mast angebracht werden können. Dabei muss der Korrosionsschutz an den Übergangsstellen zum Mast sichergestellt werden. Die Systemtechnik wird vorzugsweise bodennah aufgehängt, um Zugang für Wartung und Entstörung zu vereinfachen.

Bei Befestigung der Systemtechnik höher am Mast steigt der Aufwand ab einer gewissen Höhe (abgeleitet aus Vorgaben und Informationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung insbesondere über 2,70 m), da aus Grün-

den der Arbeitssicherheit nicht mehr mit einfachen bis zu 1 m hohen „Tritten“, sondern mit Hubwagen gearbeitet werden muss, was zu zusätzlichen Kosten und zeitlichen Nachteilen führt (vorherige Absperrung, Miete, Anfahrt, ...). Andererseits sinkt jedoch die Anfälligkeit gegenüber Vandalismus, je höher das Gehäuse befestigt wird (mindestens 2,50 m Höhe; 3,50 m optimal).

Bei Ersatz des existierenden durch einen neuen Mast können auch unmittelbar Masttypen mit integrierten Lösungen für die Unterbringungen von Antenne oder Systemtechnik zum Einsatz kommen.



Abbildung 8: Small Cell-Installation mit Umschlussgehäuse an einer Laterne
Quelle: Deutsche Telekom



Abbildung 9: Vorkonfektionierter Lichtmast Seitengehäuse für die Aufnahme von Small Cell-Systemtechnik
Quelle: Schröder

Standortintegrierte Systemtechnik

Diese Bauform ist die unauffälligste Variante. Die Systemtechnik wird innerhalb des Standorts untergebracht, z.B. in der Litfaßsäule oder in einem dedizierten Technikraum des öffentlichen Gebäudes, an dessen Wand die Antenne befestigt ist.

3.4.4.3 Anforderungen an Kleinzellen-Standorte

Die Anforderungen an Kleinzellen-Standorte im öffentlichen Raum lassen sich grob in **technische** (z.B. Platzbedarf, Stromanbindung) **sowie prozessuale Anforderungen** (z.B. flexible Zugangsregelungen, möglichst automatisierte Kommunikation zu Störungen und planmäßiger Wartung) einteilen.

Die technischen Anforderungen sind:

- Rund einen halben Quadratmeter Platz im, an oder in der Nähe des Standorts für die Aufnahme von Systemtechnik und den übrigen Komponenten. Kurz- bis mittelfristig kommen auf minimale Baugröße optimierte passive Antennen zum Einsatz, die kleiner als die derzeitigen Standardantennen von 20x20x7cm sind. Der Einsatz von größeren, aktiven/intelligenten Antennen auf Small Cell-Standorten ist mittelfristig nicht vorgesehen, langfristig aber mit der Inbetriebnahme von Spektrum im Millimeterwellenband nicht auszuschließen.
- Bei Aufhängung am Mast hinreichende Stabilität von Mast und dessen Fundament. Da mit sehr heterogener Statik städtischer Masten zu rechnen ist, sind bodennahe Umschlussgehäuse oder Nebensterle die einfachs-

ten Bauformen, da diese völlig unabhängig von Statik und Windlast sind.

- Stromanschluss mit bis zu 100W/230V.
- Bei Modernisierungsmaßnahmen städtischer Standorte könnten diese technischen Anforderungen Berücksichtigung finden und sich ggf. in vorausschauenden Designs wiederfinden, z.B. von Laternen, Energieladesäulen oder Stadtmöbeln mit hinreichend Platz für Systemtechnik und ggf. der Möglichkeit der Erweiterung um einen Mast für die Antenne der Small Cell.

Die prozessualen Anforderungen sind:

- Angemessene und flexible Zugangsregelungen, die Eigentümer der Trägerinfrastrukturen und Betreiber möglichst individuellen und unabhängigen Zugang zum Standort ermöglichen. Sofern ein betrieblicher Einsatz der Kommune („Weihnachtsdekoration an Laternen befestigen“) oder des Stadtmöbelbetreibers („Wartung der Elektronik“/„Austausch der Plakate“/„Reinigen“) ein Abschalten der Funktechnik bedingt (z.B. aufgrund von arbeitsschutzrechtlichen Vorgaben bei Arbeiten in Antennennähe), sind dafür Prozesse zwischen den Beteiligten zu etablieren.

- Vorabinformation des Mobilfunkbetreibers durch die Kommune bei planmäßigen Wartungsarbeiten (z.B. turnusmäßige Erneuerung des Anstrichs alle fünf Jahre).
- Zeitnahe Information bei Störungen und deren Beseitigung (Unfall an Laterne/Stadtmöbel, Bagger greift in städtische Stromzufuhr, ...).
- Eine einfache, pauschalierte Abrechnung des Stromverbrauchs falls erforderlich.
- Möglichst digitale, automatisierbare Schnittstellen für den Informationsaustausch (anstelle von Telefonat mit nachfolgendem E-Mail-Verkehr).
- Möglichst einfache und digitale Bereitstellung von Informationen über Standorte, Umfeld und Zustand kommunaler Trägerinfrastrukturen, um letztere überhaupt in die Netzplanung einbeziehen zu können (Stichwort: Standortidentifikation).

4. Inanspruchnahme kommunaler Trägerinfrastrukturen für den 5G-Ausbau

Wie bei den eingangs beschriebenen **Einflussfaktoren** auf 5G dargestellt, materialisiert sich 5G an drei verschiedenen Standorttypen, nämlich in Form

1. der Aufrüstung bereits heute bestehender Makro-Standorte (heute auf Gebäudedächern oder dedizierten Antennentürmen und -masten gelegen),
2. der Inbetriebnahme neuer Makro-Standorte und
3. der Errichtung von bisher nicht im Einsatz befindlichen Small Cell-Standorten.

Eine Vorbereitung der zu erwartenden Inanspruchnahme oder aktiven Bereitstellung von Trägerinfrastrukturen sollte sich an den konkreten Anforderungen für 5G-Standorte orientieren. Die nachfolgende Empfehlungsliste umfasst hierfür im Wesentlichen Trägerinfrastrukturen im öffentlichen Raum. Diese Anlagen sind zu einem großen Anteil im Besitz bzw. in der Betriebshoheit öffentlicher Einrichtungen oder Unternehmen, können aber auch privatwirtschaftlich erbaut und/oder bewirtschaftet werden.

4.1 Eignungsprüfung von Standorten und mitnutzbaren Trägerstrukturen

Auch wenn insbesondere Small Cells nur geringe Beeinträchtigungen der Umwelt und der in Anspruch genommenen Trägerinfrastrukturen versprechen, so setzt die Inanspruchnahme kommunaler Trägerinfrastrukturen für einen nachhaltigen und kosteneffizienten Betrieb von Funkanlagen eine Eignungsprüfung der betreffenden Anlagen voraus, die sowohl die grundsätzliche Eignung der Trägerinfrastruktur als auch eine kategorisierte Einzelfallbetrachtung der Situation und Anforderungen vor Ort berücksichtigt.

Geeignet ist eine Trägerinfrastruktur dann, wenn sie den Anforderungen für einen 5G-Netzaufbau entspricht und der primäre Nutzungszweck durch die Mitnutzung für 5G nicht beeinträchtigt wird. Eine Beeinträchtigung kann sich auch aus später erschwerten Betriebs- oder Wartungsbedingungen ergeben. Der primäre Nutzungszweck der Trä-

geranlage darf durch die Mitnutzung durch 5G nicht beeinträchtigt werden.

Um die Eignung kommunaler Trägerinfrastrukturen für neue Standorte aus netzplanerischer Sicht zu bewerten, sind sowohl **technische, immissionschutzrechtliche, baurechtliche, wegerechtliche, nachfragespezifische und verfahrenserleichternde Anforderungen** zu prüfen.

- **Technische** Anforderungen, wie z.B. hinreichende Statik, ausreichend Platz: Ist ein Dach/Mast aus statischer Sicht in der Lage, die Systemtechnik und Antenne einer Makrozelle/Small Cell aufzunehmen? Lässt sich der Blitzschutz (einfach) realisieren?
- **Immissionsrechtliche** Anforderungen insbesondere in Bezug auf die Einhaltung von Grenzwerten: Können die vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten werden? Bei Small Cells lässt sich dies z.B. leicht durch den Aufbau der Antenne oberhalb 2,30 m Höhe erreichen.
- **Baurechtliche** Anforderungen (für Makrostandorte): Ist ein ggf. notwendiger Umbau zur Einhaltung von Sicherheitsabständen, wie z.B. die Erhöhung des Antennenmastes auf dem Gebäudedach, durch das zuständige Bauamt genehmigungsfähig?
- **Nachfragespezifische** Anforderungen: Ist die Trägerinfrastruktur so gelegen, dass sie den konkreten lokalen Bedarf zur Schließung von Kapazitäts- und/oder Abdeckungslücken, z.B. als Small Cell-Standort an Plätzen mit hoher Personendichte, decken kann?
- **Verfahrenserleichternde** Anforderungen hinsichtlich der Einfachheit und des erzielbaren Standardisierungsgrades des Planungs-, Installations- und Betriebsprozess. Muss beispielsweise für Wartungstätigkeiten an der Small Cell ein Verkehrsweg abgesperrt werden?

Grundsätzlich kann zwischen Objekt- und Standortbedingungen unterschieden werden. Die Objektbedingungen betreffen die Trägerkonstruktion selbst und können aus folgenden Gründen variieren und eignungsrelevant sein:

- Materialausführung des Trägers,
- Bauform bzw. -zustand des Trägers,

- vorhandene Nutzungspotenziale und
- Nutzungsperspektive des Trägers.

Die Standortbedingungen betreffen das Umfeld des Trägers bzw. seine Betriebsbedingungen:

- Möglichkeiten der Netzanbindung (elektrisch, optisch sowie ggf. funktechnisch),
- Montage- und Wartungszugang,
- Verkehrseinflüsse (Erfordernisse im Hinblick auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs) und
- technische Sicherheitsvorgaben, geltende Vorschriften.

4.2 Genehmigungserfordernisse beim 5G-Netzausbau

Aufwand entsteht beim Netzausbau nicht nur im Rahmen der Planung, der Standortakquise und des eigentlichen Standortausbaus, sondern auch im Rahmen der Einholung hierfür eventuell erforderlicher Genehmigungen, von der Zustimmung der Wegebausträger nach § 68 TKG über ggf. erforderliche Baugenehmigungen und die Standortbescheinigung der BNetzA nach BEMFV⁸ (jeweils für Makro-Standorte) bis hin zu verkehrsrechtlichen Anordnungen. Mit Blick auf die immissionsrechtliche Zulassung bei der Bundesnetzagentur ist darauf hinzuweisen, dass Kleinzellen definitionsgemäß mit so geringer Sendeleistung arbeiten, dass für sie eine bloße Anzeigepflicht gilt. Umfang und Dauer der Genehmigungsverfahren hängen dabei zwar vom jeweiligen Standort ab. Mit dem Abschluss eines Rahmenvertrages, in dem alle wesentlichen Festlegungen vorab getroffen worden sind, reduzieren sich jedoch die bei einem einzelnen Standort noch zu klärenden Fragen erheblich.

Je höher die **Sendeleistung** am Standort ist, umso größer der nötige **Sicherheitsabstand** zur Antenne und desto aufwändiger das Standortbescheinigungsverfahren bei der Bundesnetzagentur. Die erforderliche Sendeleistung wird ihrerseits von der angestrebten **Zellgröße** und **Datenrate** sowie dem nutzbaren **Frequenzspektrum** bestimmt.

Da aufgrund der geringen baulichen Maße, der geringeren Sendeleistung und optischen Beeinträchtigung an Kleinstandorte geringere Anforderungen gestellt werden müssen als an bisherige Mobilfunkstandorte, ist eine Reduzierung der Verfahrensaufwände durch Standardisierung, insbesondere mit dem Abschluss von Rahmenverträgen, in denen alle wesentlichen Festlegungen vorab getroffen worden sind, sinnvoll. Da im Regelfall keine baurechtlichen Genehmigungserfordernisse gegeben sein werden, können mit generellen Festlegungen trotz der zu erwartenden hohen Anzahl neuer Standorte große administrative Aufwände bei der Realisierung des einzelnen Standortes vermieden werden.

Entsprechend sieht auch der überarbeitete europäische Rechtsrahmen für die elektronische Kommunikation seit Dezember 2018 in Art. 57 **Verfahrenserleichterungen** für Kleinzellen vor, die im Zuge der laufenden Novellierung des Telekommunikationsrechts in nationales Recht zu überführen sind.

4.3 TK-Anbindung

Eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Betrieb von Makro- und SmallCell-Standorten für 5G ist die adäquate Netzanbindung. Die Anbindung bereits bestehender Makrozellen erfolgt bereits heute nur noch vereinzelt per Kupferkabel, im Regelfall besteht eine Richtfunkverbindung oder idealerweise eine Glasfaseranbindung.

Mit Blick auf die langfristigen technischen Anforderungen ist eine Glasfaseranbindung künftig das Mittel der Wahl. Dennoch wird auch in Zukunft eine Anbindung über Richtfunksysteme weiterhin eine Rolle spielen.

⁸ Siehe auch: „Glasfaserausbau und 5G - Zusammenhänge und Synergien“ (Digitalgipfel 2017).

4.3.1 Glasfaser

Mit Blick auf die langfristig erwarteten Anforderungen von 5G hinsichtlich Datenrate, Latenz und Ausfallsicherheit ist die Glasfaser grundsätzlich das zukunftssicherste und skalierbarste Medium. Zudem ist sie langfristig kostengünstig im Betrieb, da es keine aktiven Netzelemente zwischen Zentrale und Mobilfunkstandort mehr gibt. Auch aus Gründen des Netzmanagements ist die Glasfaseranbindung von 5G-Standorten optimal.⁹ Nachteilig ist vor allem der aufwändige Tiefbau, der sowohl mit hohen Kosten, Abstimmungsprozessen und Eingriffen in den öffentlichen Raum einhergeht. Dies führt in der Regel zu vergleichsweise langen Realisierungszeiträumen.

Der als Hausanschluss bezeichnete Endpunkt kann analog auch als Mobilfunkstandort verstanden werden. Die Architektur des Transportnetzwerks wird im Weiteren nicht weiter berücksichtigt.



Abbildung 10: Small Cell Anbindung (schematisch)
Quelle: Deutsche Telekom/Raycap

9 Siehe auch: „Glasfaserausbau und 5G - Zusammenhänge und Synergien“ (Digitalgipfel 2017).

4.3.2 Richtfunk

Um Erdarbeiten zu umgehen und die Realisierung zu beschleunigen, kann man für die TK-Anbindung auf Richtfunk im Bereich über 24 GHz (Millimeterwellen) zurückgreifen. Moderne Richtfunkkomponenten haben auch eine relativ hohe Kapazität und eine relativ geringe Latenz.

Nachteilig ist jedoch die notwendige Sichtverbindung zwischen den zu verbindenden Komponenten. Zudem ist - insbesondere bei den sehr hohen Frequenzen im Millimeterwellenbereich - eine Beeinträchtigung durch Umweltbedingungen gegeben, z.B. durch die Unterbrechung der Sichtlinie durch Bäume oder andere, witterungsbedingte Einschränkungen wie z.B. Regen. Weiterhin geht die Sendeleistung der Richtfunkanbindung in das erlaubte Sendeleistungsbudget des Standorts ein. Dies kann gerade bei den Small Cells, die mit sehr limitierter Sendeleistung arbeiten müssen, ein Problem darstellen. Kapazität, die für die direkte Mobilfunkversorgung für den Kunden vorgesehen war, muss nun in Teilen für die Anbindung des Small Cell-Standorts verwendet werden. Dies schränkt die Einsatzmöglichkeiten der Richtfunktechnologie ein.

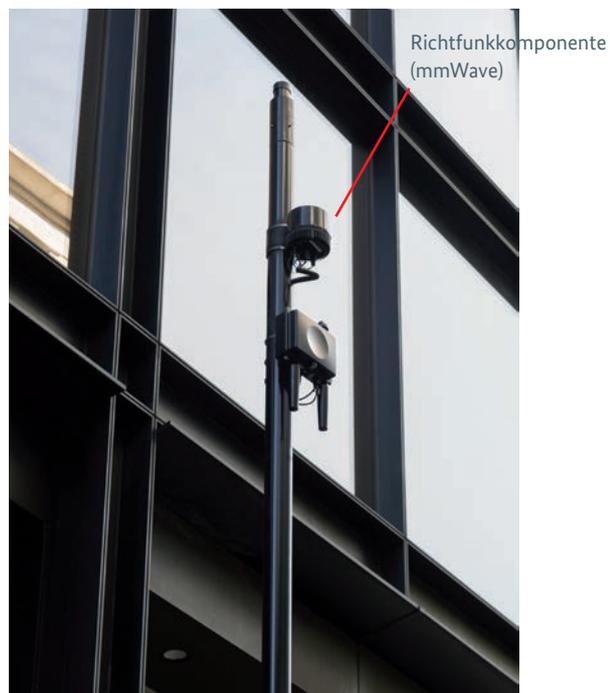


Abbildung 11: Richtfunkkomponenten, Metnet of City of London,
Quelle: Cambridge Communication Systems Ltd

5. Mitnutzbare Trägerstrukturen

Zu den untersuchten Trägerinfrastrukturen zählen Masten für Antennen-, Fahrleitungs-, Beleuchtungs- (Straßenlaternen) und Lichtsignalanlagen (Ampeln), Verkehrsschilder und -leitanlagen, Haltestelleneinrichtungen (Fahrgastinfotafel), Gebäudedächer und -wände und Fahrzeug-Rückhaltesysteme (Leitplanken). Des Weiteren spielen auch die eingangs genannten anderen Stadtmöbel wie Litfaßsäulen, Werbetafeln, Energieladesäulen eine Rolle, werden hier aber nicht weiter untersucht, weil sie nur bedingt in der Hoheit der Kommune sind.

Wie bereits in der Präambel ausgeführt, liegt der Fokus dieser Broschüre auf (kommunalen) Siedlungs- und Gewerbegebieten. In Folge dieses Schwerpunkts werden beispielsweise Brücken und Tunnel als Mitnutzungspotenziale hier nicht untersucht.

Masten für Antennen-, Fahrleitungs-, Beleuchtungs-, Lichtsignalanlagen, Verkehrsschilder und -leitanlagen, Haltestelleneinrichtungen (Fahrgastinfotafel) und Gebäude erscheinen im Hinblick auf Anbringungshöhe und Statik für den 5G-Ausbau bereits grundsätzlich als geeignet.



Abbildung 12: Bestehender Antennenmast als neuer Makrostandort für 5G
Quelle: Dresdner Verkehrsbetriebe AG

5.1 Mitnutzung bestehender Antennenmasten

Für Funkanwendungen ausgelegte Antennenmasten eignen sich aufgrund der typischen Auswahlkriterien vor allem für 5G-Makro-Standorte. Da sie regelmäßig für eine größtmögliche Flächenabdeckung ausgelegt sind und selten im Zentrum lokaler Hotspots errichtet sind, eignen sie sich dagegen selten als Kleinzellenstandort.

Neben bestehenden Mobilfunkstandorten betreiben im kommunalen Raum insbesondere auch Versorgungs- und Verkehrsunternehmen eigene Betriebsfunkanlagen und errichten dafür entsprechende Antennenanlagen auf dafür geeigneten Trägerinfrastrukturen. Diese Antennenanlagen eignen sich grundsätzlich zur Mitnutzung, soweit sie statisch, und immissionschutzrechtlich nicht bereits ausgereizt sind. Im Regelfall wird hier unter Beachtung von



Installationsabständen zu bestehenden Anlagen eine Mitnutzung möglich sein. Dabei kann oftmals auch die bestehende Strom- und Daten-Anbindung **mitgenutzt werden**.

Vorteile: bestehende Medienanbindung kann ggf. mitgenutzt werden
→ **geeignet für Verdichtung von Makrozellen**

Nachteile: nur Einzelbauwerke (keine Mengenskalierung)
Abstimmungserfordernis zu Wechselwirkungen
selten an HotSpots errichtet
-> regelmäßig nicht als Mikro-zellenstandort geeignet

5.2 Fahrleitungsmasten

Fahrleitungsmasten aus Beton oder Stahl an Bahnlinien eignen sich kaum für Makro-Standorte, könnten aber bedingt als Trägerstruktur für Kleinzellen dienen. Nachteilig sind der hohe Aufrüstungs- und Betriebsaufwand aufgrund der bahnbetrieblichen Sicherheitsauflagen.

Im Gegensatz zum Antennenmast weisen Fahrleitungsmasten einen wesentlichen Nachteil auf. Die zur Sicherung der zuglastabhängigen Maststatik erforderlichen Fundamentausführungen sehen regelmäßig **keine nachträglich nutzbaren Kabelführungen** vor. Daher ist die Außenmontage einer zusätzlichen Kabelführung für Daten- und Stromanbindung erforderlich. Der hierfür erforderliche **Aufrüstungsaufwand ist aufgrund der bahnbetrieblichen Sicherheitsauflagen hoch**. So sind z.B. Sicherheitsabstände zur Fahrleitung und Schaltelementen der Bahnstromanlagen einzuhalten und sämtliche Anlagenteile vollisoliert zu montieren, um Potentialverschleppungen zu vermeiden, um auch bei Wartungsarbeiten unter Spannung Überschlagsgefahr für Wartungspersonal auszuschließen. Zudem sind bei Stahlmasten die **regelmäßig zum Korrosionsschutz erforderlichen Strahl- und Anstricharbeiten** zu beachten.



Abbildung 13: Fahrleitungsmast
Quelle: Dresdner Verkehrsbetriebe AG

Bei einer Mitnutzung von Anlagen und Einrichtungen, die der Verkehrsführung dienen, muss die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gewahrt bleiben. Das heißt, dass alle zur Vorbereitung, Errichtung, Unterhaltung und Entstörung von mitnutzenden Anlagen erforderlichen Arbeiten und der Einsatz von Hilfsmitteln, wie z.B. Transportmittel und Hebewerkzeuge, mit dem zuständigen Verkehrsamt abzustimmen und die vereinbarten Zeiten und Abläufe einzuhalten sind.

Vorteile: Verbreitung gleicher Bauformen entlang frequenzierter Trassen
→ **geeignet für Kleinzellen**

Nachteile: fehlende bauliche Voraussetzungen für gesicherte Kabelzuführungen, Auflagen aus -
→ **Bahnbetrieb. Höhe i. d. R. nicht ausreichend für Makro-Standorte**

5.3 Beleuchtungsmasten („Straßenlaternen“)

Für die öffentliche Beleuchtung werden ein- oder mehrfache Auslegermasten, einfache oder in historischer Bauweise ausgeführte Einzelmasten jeweils in Beton- oder Stahlbauweise genutzt. Straßenlaternen für die öffentliche Beleuchtung sind im besiedelten Raum allgegenwärtig und sehr zahlreich vorhanden, somit regelmäßig auch in den für Kleinzellen-Netzen relevanten Bereichen hoher Personendichte.

Beleuchtungsmasten (Straßenlaternen) sind im besiedelten Raum allgegenwärtig. Sie sind regelmäßig auch überall dort anzutreffen, wo alle anderen kommunalen Trägerinfrastrukturen vorkommen, insbesondere auch an Orten mit besonders hoher lokaler Personendichte. Deshalb bieten sie in Bezug auf Prozesse das höchste Standardisierungspotenzial. Sie eignen sich daher insbesondere für Kleinzellen-Sendeanlagen für 5G, könnten aber im Einzelfall auch als Standort neuer Makro-Standorte in Frage kommen.



Abbildung 14: Beleuchtungsmasten
Quelle: Landeshauptstadt Dresden, Straßen- und Tiefbauamt

Nachteilig ist, dass die **zeit- und helligkeitsabhängige Stromversorgung** der Beleuchtungsanlagen oft kein unmittelbares Mitnutzungspotenzial für den Antennenbetrieb bietet. Daher ist in der Regel eine Umrüstung nötig. Eine Kommunikationsanbindung, die in der Konstruktion der Beleuchtungsanlage nicht vorgesehen wurde, ist in der Regel ebenfalls nachzurüsten. Da Straßenlaternen allerdings zumeist dort stehen, wo ohnehin eine hohe Infrastrukturdichte besteht, ist eine Anbindung an das öffentliche Kommunikationsnetz regelmäßig mit geringem Aufwand möglich.

Bei Aufhängung der Systemtechnik am Mast (Umschlussgehäuse) statt Lokation auf dem Boden bestehen Abwägungen zwischen einfacher Zugänglichkeit und Gefahr des Vandalismus. Das schränkt Einsatzszenarien für Umschlussgehäuse ein. Bei Modifikationen an Bestandsmasten

(z.B. Bohrung für Kabelausführung am Laternenkopf) ist ggf. der Masthersteller einzubeziehen. Aufgrund der hohen Anzahl von Straßenlaternen sind wesentliche Architekturkomponenten und Prozessschritte standardisierbar, auch wenn Aussehen der Beleuchtungsmasten sowohl bundesweit als auch lokal sehr heterogen ist.

Bei Integration des Standorts in Smart-City-Gesamtkonzepte, z.B. mit Ladestation für Elektrofahrzeuge, besteht Potenzial für weitergehende Synergieeffekte. In diesem Fall sollte von vornherein der Einsatz von vollintegrierten, spezialisierten neuen Masten mit Platz für Systemtechnik etc. geprüft werden. Durch den Einsatz von Masten mit Rohrzuführung im Fundament und vorbereiteter Bohrung oben am Laternenkopf kann ein späterer Small Cell-Aufbau mit einfachen Mitteln erleichtert werden.



Abbildung 15: Beleuchtungsmast (historisches Erscheinungsbild)
Quelle: Deutsche Telekom

Vorteile: Sehr große Verbreitung gleicher Bauformen entlang frequentierter Trassen. Komparative Vorteile gegenüber anderen Masten, da weniger komplizierte Betriebsumgebung
→ geeignet für Kleinzellen

Nachteile: - Stromversorgung der Laternen oft nicht hinreichend flexibel für Dauerstrombedarf der Small Cells, d.h. vielfach noch Nachrüstung nötig
- Glasfaseranbindung i.d.R. neu zu realisieren
- teilweise ungenügende bauliche Voraussetzungen für gesicherte Kabelzuführungen im Fundament

5.4 Verkehrszeichenträger für Lichtsignalanlagen („Ampelanlagen“)

Ebenso wie Straßenlaternen finden sich Lichtsignalanlagen an Verkehrsknotenpunkten, wenn auch nicht in vergleichbarer Dichte. An diesen Anlagen werden oft bereits Funk-einrichtungen zur Ansteuerung der Signalanlagen durch Fahrzeuge des ÖPNV sowie Videoanlagen zur Verkehrsüberwachung betrieben. Weitere Mitnutzungen müssen zur **Vermeidung von Störstrahlungen** daher entsprechende Abstände zur Bestandsanlage einhalten. Daher sind die wesentlichen Kenndaten der betriebenen Funkanlagen unter den Beteiligten abzustimmen.



Abbildung 16: Lichtsignalanlage
Quelle: Landeshauptstadt Dresden, Straßen- und Tiefbauamt

Der Betrieb von Lichtsignalanlagen erfolgt an Normal- bzw. Auslegermasten, die sowohl in Beton- oder Stahlbauweise ausgeführt sind. In beiden Fällen sind **statische Bedingungen sowie die RILSA 2015, BOStrab-SIL3 sowie DIN VDE 0100** bei der Installation von zusätzlichen Anlagen zu beachten.

Verkehrszeichenträger für Lichtsignale (Ampelanlagen) sind aufgrund ihrer verkehrstechnischen Besonderheiten eingeschränkt für Kleinzellen nutzbar und für Makrozellen in der Regel ungeeignet. Dies liegt vor allem an der problematischen Montageumgebung.

Bei einer Mitnutzung von Anlagen und Einrichtungen, die der Verkehrsführung dienen, muss die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gewahrt bleiben. Das heißt, dass alle zur Vorbereitung, Errichtung, Unterhaltung und Ent-störung von mitnutzenden Anlagen erforderlichen Arbeiten und der Einsatz von Hilfsmitteln, z.B. Transportmittel und Hebewerkzeuge, mit dem zuständigen Verkehrsamt abzustimmen und die vereinbarten Zeiten und Abläufe ein-zuhalten sind.

Vorteile: Verbreitung gleicher Bauformen an Verkehrsknoten
→ geeignet für Kleinzellen

Nachteile: Abstimmungserfordernis zu Wechselwirkungen; problematische Montage-/Betriebsumgebung. Höhe und Traglast i.d.R. nicht ausreichend für Makro-Standorte

5.5 Verkehrszeichenträger für Verkehrsschilder



Abbildung 17: Vorwegweiser
Quelle: Landeshauptstadt Dresden, Straßen- und Tiefbauamt

Verkehrsschilder und Verkehrsleitanlagen sind ebenfalls auf Trägerstrukturen in unterschiedlichen Bauweisen und Materialausführungen befestigt. Die zur Verkehrssteuerung in bestimmten Hinweistafeln integrierten beweglichen Anzeigeelemente sind dabei oftmals bereits mit einem elektrischen Anschluss ausgestattet, dessen Mitnutzung für den Antennenbetrieb geeignet sein kann. Auch hier gilt, dass bei einer Mitnutzung von Anlagen und Einrichtungen, die der Verkehrsführung dienen, die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gewahrt bleiben muss.

Die Mitnutzungseigenschaften der Trägerinfrastrukturen für Verkehrsschilder sind weitgehend vergleichbar mit den vorgenannten der Lichtsignalanlagen, allerdings kann die Statik je nach Bauausführung besser oder schlechter zur Mitnutzung geeignet sein als die von Ampelanlagen.

Vorteile: Verbreitung gleicher Bauformen entlang frequentierter Trassen
→ geeignet für Kleinzellen

Nachteile: ungenügende bauliche Voraussetzungen für gesicherte Kabelzuführungen, problematische Montageumgebung; Höhe und Traglast i.d.R. nicht ausreichend für Makro-Standorte

5.6 Fahrgastinformationstafeln und Hinweisschilder

An Haltestellen des ÖPNV werden häufig Stelen errichtet, um elektronische Anzeigetafeln für das dynamische Fahrgastinformationssystem zu betreiben. Haltestellen des ÖPNV sind regelmäßig stark frequentierte öffentliche Lokationen mit besonders hoher Personendichte und eignen sich daher zur Mitnutzung für Kleinzellenstandorte.



Abbildung 18: Fahrgastinformationstafeln
Quelle: BMVI

Fahrgastinformationstafeln und Hinweisschilder stehen regelmäßig an Standorten mit besonders hoher Personendichte und verfügen oft bereits über eine Anbindung mit Strom und Telekommunikationstechnik. Daher sind sie als Kleinzellenstandorte grundsätzlich sehr attraktiv. Aufgrund ihrer geringen Höhe sind sie für Makro-Sendeanlagen regelmäßig ungeeignet.

Diese Anlagen sind in der Regel bereits an das öffentliche Energieversorgungsnetz angeschlossen und häufig mit festnetzgebundenen Kommunikationsanschlüssen versehen. Erforderliche Kapazitätsverstärkungen der Medienzuführung können ggf. unter Nutzung bestehender Schutzrohranbindungen erfolgen. Wesentliche Architekturkomponenten und Prozessschritte sind dabei standardisierbar, da Lokationen bundesweit ähnliche Erscheinungsformen haben.

Vergleichbare Bauformen finden sich an Werbetafeln bzw. -säulen und anderen kommunalen Hinweisschildern, wie den Zugängen zu U-Bahnstationen. Letztere verfügen allerdings seltener über einen Kommunikationsanschluss.



Abbildung 19: Dynamische Fahrgastinformation
Quelle: Dresdner Verkehrsbetriebe AG

Vorteile: Verbreitung gleicher Bauformen an frequentierten Aufenthaltsorten, geeignete Montageumgebung, bauliche Voraussetzungen für Kabelzuführungen
→ geeignet für Kleinzellen

Nachteile: Höhe und Traglast oft nicht hinreichend für Makrozellen

5.7 Gebäudedächer und Dachkanten

Makro-Antenneninstallationen auf Gebäudedächern sind verbreitet im Einsatz.

Gebäudedächer und Dachkanten eignen sich vor allem als Standortverdichtung für Makrozellen zur Kapazitätssteigerung mittels fortschrittlicher Antennenlösungen (auch als abgesetzte Installation von einem existierenden Standort) für die Einführung von 5G. Kleinere Gebäude wie Kioske, Tiefgaragenausgänge oder Aufzüge auf Marktplätzen können aber auch für Kleinzellenstandorte genutzt werden.



Abbildung 20: Dachkonstruktion als Trägerstruktur
Quelle: BMVI

Der an die individuelle Dachkonstruktion anzupassende Aufbau ist kostenintensiv, wenn die Kosten nicht durch vorkonfektionierte Lösungen bzw. Mitnutzung von existierenden Makro-Standorten (TK-/Stromanschluss) verringert werden können. Die Zugänglichkeit und Wartungsfragen sind im Einzelfall zu klären (Beispiel: Eventuelle zusätzliche Aufwände durch Hubwageneinsatz für Dachkanteninstallation).

Vorteile: bekannte Installationsanforderungen
→ geeignet für Makrozellen.
kleinere Gebäude, wie Kioske, Tiefgaragenausgänge oder Aufzüge auf Marktplätzen könnten auch für Kleinzellenstandorte genutzt werden

Nachteile: Zugang nur in Absprache mit Gebäudeeigentümer, ggf. erschwerte Installation/Betrieb an Dachkanten mit Hubwageneinsatz

5.8 Gebäudefassade

Auch Gebäudefassaden eignen sich für Makrosendeanlagen. Sichtbarkeit der Anlagen und geringere Höhen mindern allerdings die Attraktivität dieser Trägerstruktur gegenüber Dächern und Dachkanten.

Besondere Beachtung sollte daher der **Größe, Form und Farbgestaltung der Antenneneinrichtung** bei der Einordnung in die architektonische Fassadengestaltung geschenkt werden. Dem steht die bereits erwähnte Notwendigkeit gegenüber, eine möglichst **niedrige Anzahl unterschiedlicher Varianten** von Gehäuse, Antenne etc. vorzuhalten, um logistische Prozesse zu vereinfachen.

Vorteile: bauliche Voraussetzungen für gesicherte Kabelzuführungen
→ geeignet für Mikro- und ggf. Makrozellen.

Nachteile: Einschränkungen durch Ortsbild und Fassadengestaltung

5.9 Zusammenfassung der Mitnutzungspotentiale

Um die Eignung kommunaler Trägerinfrastrukturen für neue Standorte zu bewerten, sind wie oben dargelegt sowohl technische, immissionsschutzrechtliche, baurechtliche, nachfragespezifische und verfahrenserleichternde Anforderungen zu prüfen. Die gesamthafte Analyse dieser Einflussfaktoren zeigt, dass viele der identifizierten kommunalen Infrastrukturen vor allem eine Rolle beim Aufbau von Small Cells spielen können. Zusammenfassend ergeben sich in der vorgenommenen Analyse folgende Mitnutzungspotentiale:

	Erweiterung von Makro-Standorten	Aufbau neuer Makro-Standorte	Aufbau neuer Small Cell-Standorte
Antennenmasten	Sehr geeignet	Sehr geeignet	Wenig geeignet
Fahrleitungsmasten		Wenig geeignet	Geeignet
Beleuchtungsmasten		Wenig geeignet	Sehr geeignet
Lichtsignalanlagen („Ampelanlagen“)		Wenig geeignet	Wenig geeignet
Verkehrszeichenträger für (große) Verkehrs- und Hinweisschilder		Wenig geeignet	Geeignet
Fahrgastinformationstafeln & Hinweisschilder („U-Bahn“)		Wenig geeignet	Sehr geeignet
Gebäudedächer, Dachkanten	Sehr geeignet	Sehr geeignet	Geeignet
Gebäudefassaden		Geeignet	Sehr geeignet

Tabelle 4: Exemplarische Bewertung der Eignung von kommunalen Trägerinfrastrukturen als 5G-Standorte

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
AAU	Active Antenna Unit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BOStrab-SIL3	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
DIN VDE 0100	Norm zum Errichten von Niederspannungsanlagen
GHz	Gigahertz
IoT	Internet der Dinge
FSO	Free Space Optics
GPON	Gigabit Passive Optical Network
LOS	Line-of-Sight (Sichtachse)
LTE	Long Term Evolution
mmWave	Millimeter Wavelength
PON	Passive Optical Network
RILSA 2015	Richtlinien für Lichtsignalanlagen , Ausgabe 2015
VLC	Visible Light Communication

Mitglieder der AG Digitale Netze des BMVI

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Recht der Digitalen Infrastruktur, Datenrecht	Herr Dr. Mirko Paschke (AG-Leitung)
Anga – Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.	Frau Dr. Andrea Huber
Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.	Herr Nick Kriegeskotte
BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Vergabewesen im Straßenbau, Recht der Nebenbetriebe, Benutzung der Bundesfernstraßen	Herr Ulrich Stahlhut
Breitbandbüro des Bundes	Herr Tim Brauckmüller
Breko – Bundesverband Breitbandkommunikation e.V.	Herr Sven Knapp
Buglas – Bundesverband Glasfaseranschluss e.V.	Herr Stefan Birkenbusch
Deutsche Telekom AG	Frau Martina Westhues
Deutsche Telekom Technik GmbH	Herr Manfred Geis
Deutscher Landkreistag (DLT)	Herr Dr. Klaus Ritgen
Deutscher Städte- und Gemeindebund (DSTGB)	Herr Ralph Sonnenschein
Deutscher Städtetag (DSt)	Frau Dr. Uda Bastians
Hessen Mobil Mitglied der Expertengruppe Versorgungsleitungen der Verkehrsministerkonferenz	Herr Bernd Thalmann
Ministerium für Inneres, Digitalisierung und Migration BW	Frau Henriette Schumm
MW Niedersachsen - Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr Mitglied im Länderarbeitskreis Telekommunikation, Informationswirtschaft, Post der Wirtschaftsministerkonferenz	Herr Michael Helinski
MW Sachsen-Anhalt - Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt Mitglied im Länderarbeitskreis Telekommunikation, Informationswirtschaft, Post der Wirtschaftsministerkonferenz	Herr Theo Struhkamp
MWVATT Schleswig-Holstein - Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein Vorsitzender des Länderarbeitskreises Telekommunikation, Informationswirtschaft, Post der Wirtschaftsministerkonferenz	Herr Rainer Helle
SMWA - Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr Mitglied der Expertengruppe Versorgungsleitungen der Verkehrsministerkonferenz	Herr Heinz-Georg Donner
Straßen NRW Mitglied der Expertengruppe Versorgungsleitungen der Verkehrsministerkonferenz	Herr Joachim Majcherek
Vatm – Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten e. V.	Herr Dr. Frederic Ufer
VKU – Verband Kommunaler Unternehmen e.V.	Frau Ulrike Lepper

Redaktionsteam

Herr Stephan Jay
Herr Dr. Rüdiger Jost
Herr Nick Kriegeskotte
Herr Dr. Michael Lemke
Herr Olaf Pauli
Herr Dr. Frank Schramm
Herr Ingobert Veith

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Internet: www.bmvi.de
E-Mail: poststelle@bmvi.bund.de

Stand

Juli 2019

Gestaltung | Druck

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Z 32, Druckvorstufe | Hausdruckerei

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

