



CENTRAL OFFICE 2030 – EFFEKTIVE, NACHHALTIGE UND RESILIENTE TELE-KOMMUNIKATIONSNETZE IM ENERGIESYSTEM

# Charakterisierung von Telekom-Standorten

Julian Balkowski  
Severin Beucker

# IMPRESSUM

## KURZTITEL

Charakterisierung von Telekom-Standorten

## AUTOREN

Julian Balkowski (Borderstep Institut)  
Dr. Severin Beucker (Borderstep Institut)

## KONSORTIALFÜHRUNG

Deutsche Telekom AG  
Dr. Andreas Gladisch  
Winterfeldtstr. 21 | 10781 Berlin | [www.telekom.com](http://www.telekom.com)

## PROJEKTPARTNER

Deutsche Telekom AG  
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen  
Technische Universität Darmstadt  
50Hertz Transmission GmbH

## ZITIERVORSCHLAG

Balkowski, J. & Beucker, S. (2024). Charakterisierung von Telekom-Standorten. Berlin: CO 2030 Konsortium.

## FÖRDERMITTELGEBER

Das Projekt CO 2030 wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie seinem Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Charakterisierung und Strukturierung von Standorten .....</b>	<b>3</b>
2.1 Standorte und Betriebsstellen.....	3
2.2 Energieversorgung der Betriebsstellen .....	4
2.3 Wärme- und Kälteversorgung .....	6
2.4 Lastprofil der Standorte.....	6
<b>3 Charakterisierung und Strukturierung des Mobilfunknetzes .....</b>	<b>11</b>
3.1 Aktueller Aufbau des Mobilfunknetzes .....	12
3.2 Funktionsweise Mobilfunkmasten .....	15
<b>4 Gebäudeinfrastruktur.....</b>	<b>17</b>
<b>5 Fazit .....</b>	<b>21</b>
Literaturverzeichnis .....	22

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Typischer Aufbau der elektrischen Energieversorgung einer Betriebsstelle .....	5
Abbildung 2: Lastkurve eines Access-Standortes .....	8
Abbildung 3: Lastkurve eines Aggregations-Standortes .....	8
Abbildung 4: Lastkurve eines Core-Standortes .....	9
Abbildung 5: Mobilfunkstandorte der Telekom in Deutschland .....	12
Abbildung 6: Mobilfunknetz im Überblick .....	13
Abbildung 7: Wabeneinteilung des Mobilfunknetzes .....	14
Abbildung 8: Hinweis zum Energieverbrauch eines Funkmastes .....	16
Abbildung 9: Telekom Standort in Frankfurt am Main .....	17
Abbildung 10: Breitenmessung Telekomstandort Frankfurt .....	18
Abbildung 11: Längenmessung Telekomstandort Frankfurt .....	19

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Disaggregierter Jahresenergieverbrauch verschiedener Betriebsstellentypen .....	7
--	---

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CO	Central Offices
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
FTTH	Fibre to the Home
HVT	Kupferhauptverteiler
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IoT	Internet of things
IP	Internetprotokoll
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LTE	Long Term Evolution
LWL	Lichtwellenleiter
MAR	Mobile Aggregation Router
MIMO	Multiple In Multiple Out
MSAN	Multi Service Access Node
MW	Megawatt
NGMA	Next Generation Mobile Aggregation
PPA	Power Purchase Agreement
PUE	Power Usage Effectiveness
PV	Photovoltaik
RAN	Radio Access Network
RLT	Raumluftechnische Anlage
SDH	Synchrone Digitale Hierarchie
TK	Telekommunikation
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over IP
WDM	Wavelength Division Multiplexing
RAN	Radio Access Network

# 1 Einleitung

Im Forschungsvorhaben CO 2030 wird analysiert, wie in Zukunft ein nachhaltiger und resilienter Betrieb von Telekommunikationsnetzen gewährleistet werden kann. Ziel ist dabei, am Beispiel der TK-Netzinfrastruktur der Deutschen Telekom zu untersuchen, wie das Netz mit einem zukünftigen, auf erneuerbaren Energien beruhenden Versorgungssystem zusammenwirken kann. Dies soll zum einen eine vollständige Versorgung des Telekommunikationsnetzes mit erneuerbaren Energien ermöglichen. Zum anderen soll die mögliche Rolle der Netzinfrastruktur zur Stabilisierung einer stärker fluktuierenden Energieversorgung bewertet werden.

Um die Ziele des Vorhabens CO 2030 zu erreichen, ist es daher zunächst notwendig, die Netzinfrastruktur, seine Topologie sowie seine wichtigsten Eigenschaften und Aufgaben genauer zu verstehen. Hierzu sei angemerkt, dass die eigentliche Telefonie (Voice-over-IP) heute nur einen kleinen Anteil des Datenverkehrs im Telekommunikationsnetz ausmacht, während die Masse des übermittelten Datenvolumens durch Internetservices (Internetnutzung, Streaming, Gaming etc.) verursacht wird. In nahezu allen bekannten Projektionen wird von einem weiter steigenden Datenvolumen im Telekommunikationsnetz in den nächsten Jahren ausgegangen (Cisco, 2021; Reinsel, Gantz, & Rydning, 2017; Ericsson, 2023).

### Das Telekommunikationsnetz besteht aus den folgenden Elementen:

- *Standorte des Kernnetzes* (Core-Standorte) mit ca. 1 MW elektr. Leistung. Aus Effizienzgründen gibt es die Aggregations- und Core-Ebenen, welche den Verkehr verdichten und effizient verschalten. Diese befinden sich historisch gewachsen in den Zentren großer Städte oder Ballungsgebieten. Sie dienen der Telekommunikation-(TK) und/oder Internet-basierten Diensten, dem Routing von IP-Verkehr, der Internetnutzung und der Colocation von Routern und Switches als Übergabe zwischen verschiedenen Internetdomänen für private und gewerbliche Kundinnen und Kunden in Großstädten.
- *Standorte des Aggregationsnetzes* mit einigen zehn bis einigen hundert kW elektr. Leistung. Sie dienen v.a. der Unterstützung der gemeinsamen Nutzung der Access-/Aggregationsinfrastruktur unter den Netzbetreibern sowie dem TK und Datenverkehr privater Kundinnen und Kunden in mittleren Städten. Für die Aufnahme der Kunden und Services sind ausschließlich die Aggregationsstandorte zuständig, welche bei Vorhandensein mit Aggregations- und Core-Standort vereinigt sind.
- *Ortsstationen*, die je nach Anzahl der Anschlüsse sehr heterogen sind und die v.a. in kleinen Städten und ländlichen Gebieten die Verbindung zum Netz sicherstellen.
- *Dem Transportnetz* zwischen diesen Standorten, über das die eigentliche Kommunikation bzw. der Datentransfer erfolgt und das aus einem Glasfasernetz besteht. Kupfer- und drahtgebundene Leitungen kommen nur noch teilweise zwischen den Ortsstationen bzw. den Hausanschlüssen und dem Anschluss in den Haushalten zum Einsatz (Fiber to the Home Council Europe, 2016).
- *Dem Mobilfunknetz*, das ein eigenständiges Zugangsnetz hat. Das Backhauling des Mobilfunknetzes findet aber auf der gemeinsamen Transportnetzinfrastruktur statt, wo die komplette Datenübertragung als parallele Infrastruktur zum Festnetz besteht und über das die gesamte mobile Kommunikation sowie der Datenverkehr abgewickelt wird. Die Einrichtungen (Gebäude/Schalt-schränke etc.) des Mobilfunknetzes sind z.T. auf den gleichen geographischen Standorten des

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Festnetzes (z.B. Aggregationsnetz oder Ortsstationen) aber teilweise auch komplett unabhängig davon angesiedelt.

Der Schwerpunkt der Analysen im Vorhaben CO 2030 liegt auf den Standorten des Kern- und des Aggregationsnetzes sowie dem Mobilfunknetz, da für diese der größte Zuwachs im Energieverbrauch erwartet wird. Die Gründe sind vielfältig und der Zusammenhang zwischen steigendem Datenvolumen und dem Energieverbrauch ist nichtlinear. Durch die Einführung von Fibre to the Home (FTTH) sinkt z.B. der Energieverbrauch trotz steigenden Datenvolumens.

Treiber des Energieverbrauchs ist neben der Hardware (Server, Router, Mobilfunkantennen, etc.) vor allem der Kühlbedarf an den Standorten des Kern- und des Aggregationsnetzes. Wie sich dieser in den nächsten Jahren entwickeln wird, hängt von zahlreichen technischen Parametern (z.B. Leistungsanforderung/Effizienzsteigerung von Hardware der Informations- und Telekommunikationstechnologie) sowie Nutzungsmustern (z.B. Nutzung von Internetdiensten) ab. Der Kühlbedarf der Standorte ist für die kommunale Wärmeplanung von Interesse, da die entstehende Abwärme, abhängig von ihrer Temperatur und Menge und der Wirtschaftlichkeit, in Wärmenetzen genutzt werden könnte.

Eine besondere energietechnische Eigenschaft des Telekommunikationsnetzes liegt zudem darin, dass die gewählten Technologien für die Stromversorgung einen unterbrechungsfreien Betrieb für eine definierte Zeitdauer gewähren müssen und auf die Gesamtleistung des Standorts abgestimmt sind. Als Aggregate für die unterbrechungsfreie Stromversorgung werden sowohl Generatoren, Batterien, als auch in einigen wenigen experimentellen Fällen Brennstoffzellen genutzt. Die Größe und Leistung der unterbrechungsfreien Stromversorgung ist für die Entwicklung des Stromnetzes von Bedeutung, da die eingesetzten Aggregate rein technisch in Zukunft auch als Flexibilität für ein Engpassmanagement bzw. den Redispatch im Stromnetz genutzt werden könnten. Dieser Einsatz muss jedoch im Vorfeld strategisch vorbereitet und geplant sein, da die primäre Aufgabe dieser Anlagen auch weiterhin die Versorgungssicherheit der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bleibt und im Falle eines Einsatzes der Aggregate für netz- oder systemdienliche Maßnahmen dies weiterhin gewährleisten müssen.

Schließlich ist bei der Analyse der Standorte die Gebäudestruktur (Fläche, Volumen, etc.) von Interesse, da sie Aufschluss über die zukünftige Nutzbarkeit und Erweiterbarkeit von Flexibilitätsoptionen gibt, mit denen Wärme- und Stromnetze stabilisiert werden können. Eine absehbare Herausforderung hierbei ist die Tatsache, dass die Gebäudestruktur aus einer Zeit stammt, in der Telefonie und ihre Anforderungen strukturgebend waren.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Infrastruktur des Telekommunikationsnetzes anhand typischer Standorte der Deutschen Telekom charakterisiert. Darauf aufbauend soll in den nachfolgenden Schritten in CO 2030 die Entwicklung des Energiebedarfs des Telekommunikationsnetzes, die Versorgung mit erneuerbaren Energien sowie der mögliche Beitrag zur Stabilisierung von Wärme- und Stromnetzen abgeschätzt werden.

## 2 Charakterisierung und Strukturierung von Standorten

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, besteht das Telekommunikationsnetz in Deutschland aus unterschiedlichen Ebenen und Komponenten, die die Verbindung zwischen den Teilnehmenden des Netzes aufbauen, bundesweit die Nutzung von Daten-, Telefonie- und Internetdiensten ermöglichen sowie über die Verknüpfung mit anderen Netzen und Betreibern die Einbindung in das öffentliche Internet gewährleisten (Jodl, 2016). Dabei spielen Betriebsstellen eine zentrale Rolle. Über diese Knotenpunkte des Telekommunikationsnetzes werden Telefonate und Internetdaten geleitet. Entsprechend sind diese als Central Offices (CO) bezeichneten Knotenpunkte für ein energieeffizientes und klimaresilientes Telekommunikationsnetz der Dreh- und Angelpunkt. In den CO manifestiert sich der steigende Energieverbrauch, der durch die Modernisierung der IKT und Netztechnik sowie eine Zunahme des Datenverkehrs ausgelöst wird.

### 2.1 Standorte und Betriebsstellen

Im Groben kann die Struktur des Telekommunikationsnetzwerks, wie auch bereits bei der Aufzählung der Netzkomponenten, wie folgt aufgegliedert werden:

- Die zentralen Komponenten mit der entsprechend größten messbaren Last werden als Core-Betriebsstellen bezeichnet. Im Core-Netz werden hochaggregierte Datenströme geschaltet.
- Der Schnittpunkt zum Kunden wiederum wird von den Access-Betriebsstellen gebildet. Diese verbinden die Endkundschaft mit dem IP-Netz und bauen die jeweiligen Sprach- und Datenverbindungen auf.
- Um die Anzahl an Leitungen zwischen Access- und Core zu reduzieren, wurden sogenannte Aggregationsstellen zwischengeschaltet, um den Datenverkehr in mehreren Access-Betriebsstellen zu bündeln und an die entsprechende Core-Betriebsstelle weiterzuführen. Diese Topologie ist historisch gewachsen und wird regelmäßig den aktuellen Granularitäten entsprechend verändert. Die Leitungen des Core- und Aggregationsnetzes werden gegen Ausfälle geschützt.

Entsprechend betreibt die Telekom bundesweit ca. 6.000 Access-, 900 Aggregations- und 20 Core-Betriebsstellen. Ableitend von der Anzahl unterscheiden sich die Central Offices hinsichtlich der installierten Technik und der Gebäudeinfrastruktur in Ihrer Größe.

Im Folgenden ein Exkurs, wie die technische Infrastruktur innerhalb eines Office typischerweise aufgebaut ist:

Im Keller der Offices befindet sich ein Kabelaufteilungsraum. Hier kommen die aus den Außenbereichen bspw. von Multifunktionsgehäusen zugeführten Kabel an. Diese dicken Kabel enthalten jeweils Hunderte dünne, verdrehte Telefonkabelpaare aus Kupfer oder dicke Bündel von Lichtwellenleitern (LWL). Über Führungen laufen die LWL und Kupferkabel weiter ins Erdgeschoss. Hier steht der raumfüllende Kupferhauptverteiler, kurz HVT. Auf der einen Seite des Verteilers werden die bis zu 2.000 Kupferdoppeladern pro Kabel auf Terminals geklemmt. Diese Multiverteiler sind bereits für die Datenflut gewappnet: Pro Kabel können nun vier Dienste anstatt wie bisher ein Dienst übertragen werden. In Summe können somit Technikschränke mit bis zu 3.000 Diensten bestückt werden – was zu einer größeren Übertragungskapazität pro gleicher Fläche führt.



## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Auf der anderen Seite des HVT sind die Ports der Voice over IP (VoIP) für den Telefonverkehr und der DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) und MSAN (Multi Service Access Node) für die Internetverbindungen angeschlossen. Hinter dem Anschlussterminal der DSLAM sitzt ein Splitter. Dieser Hoch- und Tiefpassfilter trennt wie bei einer bestimmten Frequenz die Telefonie- von den Daten-signalen und führt sie zwei separaten Ausgängen auf der Rückseite zu.

Unter 120 kHz liegen die Telefonie und VoIP-Signale, Frequenzen oberhalb von 138 kHz stehen für die Digital Subscriber Line (DSL) zur Verfügung. So können Impedanzen und Überlagerungen reduziert werden. Über den DSLAM fließen die einzelnen Datenpakete zusammen und er terminiert die Kupferleitungen und setzt die Daten auf eine Glasfaserleitung um.

Historisch bedingt kommen hier unterschiedliche Übertragungstechniken zum Einsatz wie das heute allgegenwärtige Internetprotokoll (IP) und der Asynchronous Transfer Mode (ATM). Eine Switching-Technik für Weitverkehrsnetze, die allerdings zunehmend von IP ersetzt wird. Auch unterschiedliche DSL-Techniken wie Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), ADSL+/++ und das moderne Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL) mit Bandbreiten von 6 bis 100 MBit/s kommen neben moderneren FTTH-Verbindungen zum Einsatz.

Bei Endkunden, die bereits einen reinen IP-Anschluss nutzen, werden Signale im Hauptverteiler direkt zu einem MSAN (Multi Service Access Node) durchgereicht. Diese terminieren den Kupferanschluss, stellen neben den Datendiensten analoge Telefonleitungen und ISDN-Leitungen bereit und übernehmen die Umsetzung der Sprachdaten auf IP-Dienste wie Voice over IP (VoIP), wodurch der Einsatz eines Splitters entfällt. Zudem findet hier auch der Wechsel auf Glasfaser als Übertragungsmedium statt. Ein heute bis zu 10 GBit/s-Uplink führt die Signale schließlich zum Broadband Network Gateway (BNG) – dem Herzstück und der höchsten Aggregationsstufe. Hier laufen alle Signale zusammen und werden über Glasfaserleitungen hoher Kapazität an die externen Internetknoten wie dem DE-CIX in Frankfurt am Main geleitet.

Lichtwellenleiter wiederum, laufen über dicke schwarze Erdkabel oder durch besondere Leerrohre, die Speedpipes, in den Keller der Betriebsstelle und werden dann über Innenkabel ins Erdgeschoss geführt und enden im Glasfaser-Hauptverteiler. Eine Glasfaserleitung kann problemlos bis zu 10 GBit/s übertragen. Um die Kapazität weiter zu erhöhen, können spezielle Techniken eingesetzt werden wie bspw. das Wellenlängenmultiplexen (Wavelength Division Multiplexing, WDM) (Jodl, 2016; von Wagner, 2019).

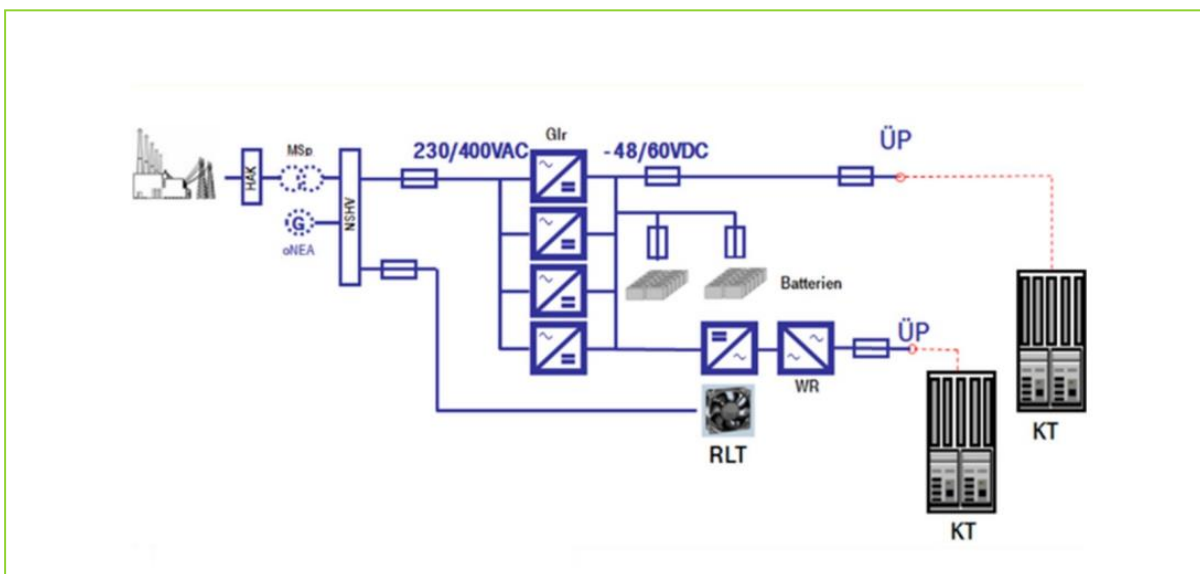
## 2.2 Energieversorgung der Betriebsstellen

Neben der Größe können die verschiedenen Betriebsstellen auch anhand des Energieverbrauchs klassifiziert werden: Ausgehend von den Core-Betriebsstellen, die eine elektrische Leistung in der Megawatt-Klasse aufweisen, werden kleinere Access-Standorte durch ebenfalls kleinere Lasten im Bereich zweistelliger Kilowatt-Werte charakterisiert. Durch eine Disaggregation des Stromverbrauchs der deutschen Telekom, die jährlich einen Bedarf von 2,3 TWh aufweist (Ahrens, 2023), kann aufgezeigt werden, dass der Großteil des Verbrauchs durch die Access (41 %) bzw. Aggregationsstandorte (40 %) verursacht wird. Core-Betriebsstellen tragen mit 19 % einen geringeren Anteil, weisen jedoch individuell betrachtet den größten Einzelverbrauch unter den Betriebsstellen auf (Filipczak, 2023, S. 26).

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Wie in Kap. 1 beschrieben, muss der Betrieb jedes dieser einzelnen Standorte gewährleistet sein, damit das Informations- und Telekommunikationsnetz und entsprechende Dienste fortlaufend angeboten werden können. Diese Anforderung an die Betriebsstellen führte zudem Ergebnis, dass die Betriebsstellen neben dem Anschluss an das allgemeine Stromnetz bezogen auf die Core- und Access-Standorte auch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) vorweisen müssen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Betriebsstellen auch bei Systembeeinträchtigungen aufgrund von Überhitzung der Informations- und Kommunikationstechnik, Schwankungen im Netz oder Extrema wie Ausfälle den Betrieb nicht unterbrechen. Ein typischer Aufbau eines Central Offices in Bezug auf die reguläre und unterbrechungsfreie Stromversorgung ist in Abbildung 1 dargestellt. Ein wesentliches Merkmal ist die Nutzung von Gleichspannung mit 48 V in der Betriebsstelle.

Abbildung 1: Typischer Aufbau der elektrischen Energieversorgung einer Betriebsstelle



Quelle: (IONOS, 2022)

Typischerweise sind die Central Offices in Deutschland am Niederspannungsnetz angebunden, damit diese über den Hauptanschlusskasten und entsprechender Niederspannungsverteilung mit Wechselstrom versorgt werden (PASM Power & Condition Solution Management GmbH, 2018). In Fällen, in denen der Strombedarf des Central Offices größer ausfällt (im MW Bereich), ist auch die Anbindung des Hausanschlusskastens an das Mittelspannungsnetz möglich, was den Einsatz einer Mittelspannungsschaltanlage samt einem Trafo nach sich zieht, um die notwendige Niederspannung zu transformieren. Um die Informations- und Kommunikationstechnik, das einzelne Equipment sowie Kühlungs- und raumlufttechnische Anlagen mit Gleichstrom zu versorgen, wird zudem ein Gleichrichter eingesetzt. Ein Praxisbeispiel ist hierbei die Betriebsstelle der Telekom in München. Dort funktioniert die Anlage so zuverlässig, dass die Gleichrichteranlage seit 20 Jahren in keinem einzigen Augenblick vom Netz war und damit für Ausfälle bei den Kundinnen und Kunden gesorgt hätte. Hierzu trägt auch eine Modernisierung der Gleichrichter bei, indem neue energieeffiziente Hardware eingesetzt wird. Ältere Modelle der Gleichrichter waren sehr groß dimensioniert, wodurch diese mit zusätzlichen Ventilatoren gekühlt werden mussten. Neuere Modelle laufen deutlich stromsparender, sodass diese platzsparend als Racks in Server-Regale geschoben werden können (Jodl, 2022).

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Diese obige Ausführung bezieht sich auf die Stromversorgung im Regelbedarf. Im Falle einer Unterbrechung des Regelbetriebs und um die Ausfallsicherheit der Infrastruktur zu gewährleisten, wird eine ortsfeste Netzersatzanlage in Kombination mit einer Speichertechnik (fast ausschließlich Batteriespeichersysteme) eingesetzt. Batteriespeicher werden direkt an die Verbraucherschienen (Gleichspannung) angeschlossen, um Ausfälle im Stromversorgungsnetz abfedern zu können.

Mit dem Batteriespeichersystem kann die Versorgung ohne Verzögerung gewährleistet werden (das Anlaufen des Dieselgenerators benötigt mindestens einige Sekunden, ggf. Minuten bis die Nennleistung erreicht wird), bei längeren Ausfällen wird zusätzlich die Netzersatzanlage genutzt. Netzersatzanlagen generieren Strom, heute üblicherweise unter Nutzung fossiler Energiequellen wie bspw. Dieselgeneratoren. Es ist wichtig zu erwähnen, dass auch diese Ersatzanlagen nicht dafür ausgelegt sind, alle Verbraucher im Central Office unterbrechungsfrei mit Energie zu versorgen. Zudem sind nicht alle Standorte mit solchen Notfallsystemen ausgestattet. Lediglich größere Standorte besitzen solchen Ausfallsicherheiten.

### 2.3 Wärme- und Kälteversorgung

Betriebsstellen der Telekom besitzen eine Wärme- und Kälteversorgung. Um eventuelle Unterbrechungen aufgrund von Überhitzung der IKT und Netztechnik zu unterbinden, müssen die jeweiligen Räume, in denen die Technik der Betriebsstellen steht, kontinuierlich gekühlt oder bei kalten Wetterlagen, erwärmt werden. Um Schäden durch Kälte oder Feuchte zu unterbinden, wird die Temperatur im Gebäude sowie der Server gemäß dem Klimamodell ETSI-EN 300 019-1-3 reguliert. Das bedeutet, dass die maximale Raumtemperatur im regulären Betrieb nicht über 35 °C betragen und nicht unter 10 °C fallen darf. Der Sollwert im Raum sollte 33 °C und die Temperatur der Zuluft, die die Server kühlt, soll 18 °C betragen.

Für die Kühlung der Serverräume werden Raumluftechnische Anlagen (RLT) genutzt. Hierbei handelt es sich normalerweise um Lüftungsanlagen mit Außenluftanbindung. Solche Anlagen saugen Außenluft an und filtern diese, damit die Luft anschließend gekühlt oder gewärmt, ggf. be- oder entfeuchtet und dann als Zuluft an die Serverräume geleitet wird. Durch dieses Prinzip ist generell auch eine freie Kühlung möglich, die eine mechanische Kühlung der Zuluft in kühleren Monaten des Jahres aussetzt. Bei Betriebsstellen der Telekom wird darauf geachtet, dass die Differenz der Zu- zur Abluft 14 K beträgt.

### 2.4 Lastprofil der Standorte

In der folgenden Tabelle wird der disaggregierte Jahresenergieverbrauch der jeweiligen Betriebsstellentypen anhand drei untersuchter Standorte dargestellt (Filipczak, 2023, S. 23ff). Wie bereits in Kap. 2.2 erwähnt, skaliert der Energieverbrauch mit der Größe und entsprechenden Betriebsstellenart. Auch wenn die Core-Standorte lediglich 19 % des gesamten Stromverbrauchs verursachen, weisen sie den höchsten individuellen Energieverbrauch unter den Betriebsstellenarten auf.

Tabelle 1: Disaggregierter Jahresenergieverbrauch verschiedener Betriebsstellentypen

Verbrauchergruppe	Access- Standort	Aggregations- Standort	Core- Standort
	Jahresenergieverbrauch in kWh		
Informations- und Telekommunikationstechnologie	163.010	493.154	7.851.255
Mechanische Kälteerzeugung	2.613	11.941	196.537
Ventilatoren	13.201	41.601	584.185
Sonstige	1.910	11.941	200.821
Gesamtenergieverbrauch	180.735	558.637	8.832.798
Anteil der RLT-Anlage am Gesamtenergieverbrauch	8,75 %	9,58 %	8,84 %
Anteil der mechanischen Kälteerzeugung an RLT-Anlage	16,52 %	22,30 %	25,17 %
Anteil der Ventilatoren an RLT-Anlage	83,48 %	77,70 %	74,83 %
<b>Berechneter PUE</b>	<b>1,109</b>	<b>1,133</b>	<b>1,125</b>

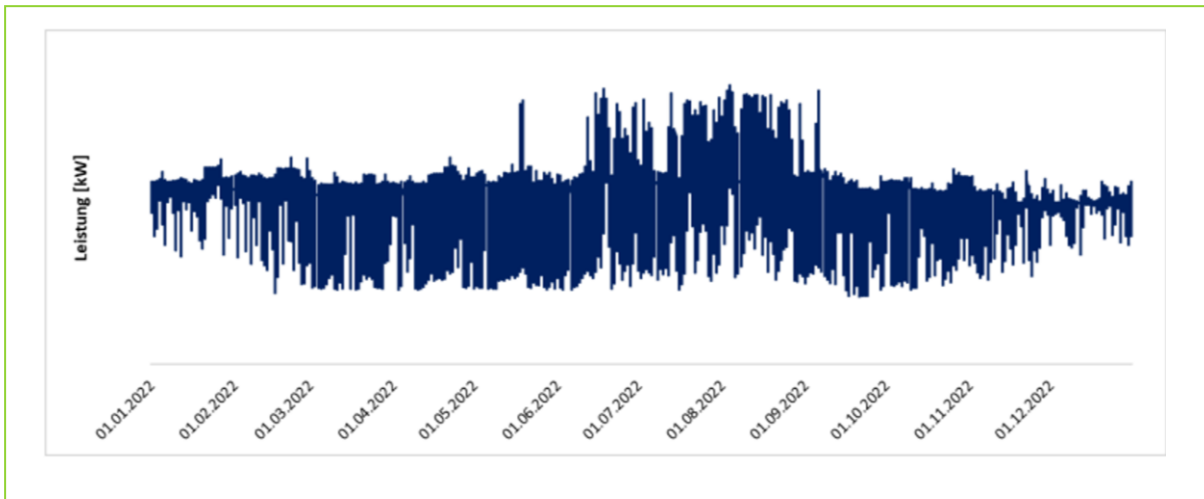
Quelle: (Filipczak, 2023, S. 26)

Tabelle 1 verdeutlicht, dass der Energieverbrauch der IKT- und Netztechnik den größten Anteil des gesamten Verbrauchs ausmacht. RLT-Anlagen verbrauchen innerhalb der Betriebsstellen weniger als 10 % der verfügbaren Gesamtenergie. Hierbei wird der überwiegende Anteil der Energie durch den Ventilator der Anlage verbraucht. Der Gesamtenergieverbrauch aller Betriebsstellen entspricht ungefähr dem Verbrauch von 280.000 Haushalten.

Der Lastgang dieser ausgewählten Betriebsstellen wurde aus Messwerten aus der registrierenden Leistungsmessung (RLM) vorgenommen. Er ist für die verschiedenen Betriebsstellen in den Abbildung 2 - Abbildung 4 dargestellt.

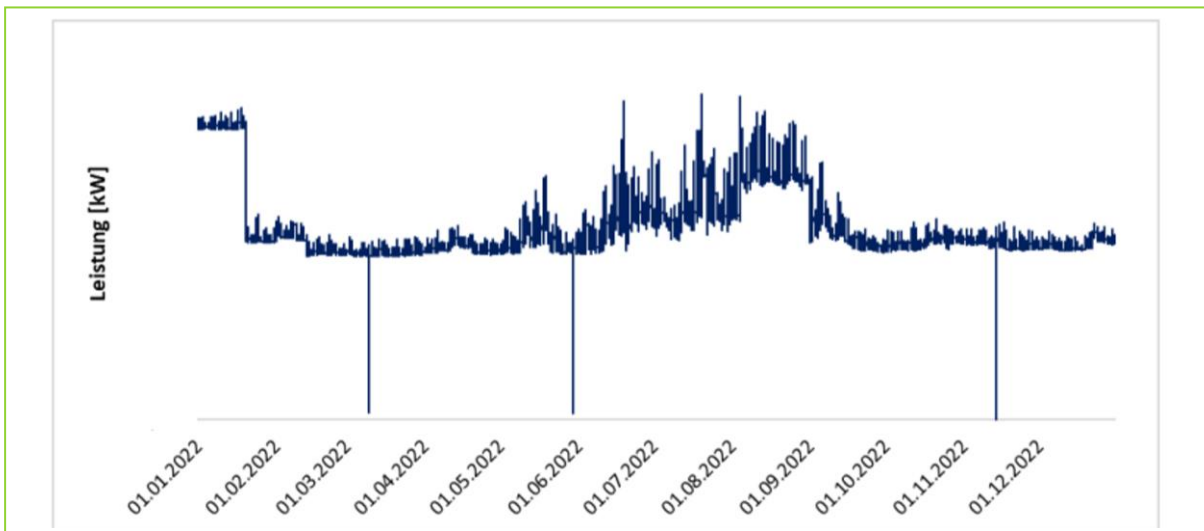
## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Abbildung 2: Lastkurve eines Access-Standortes



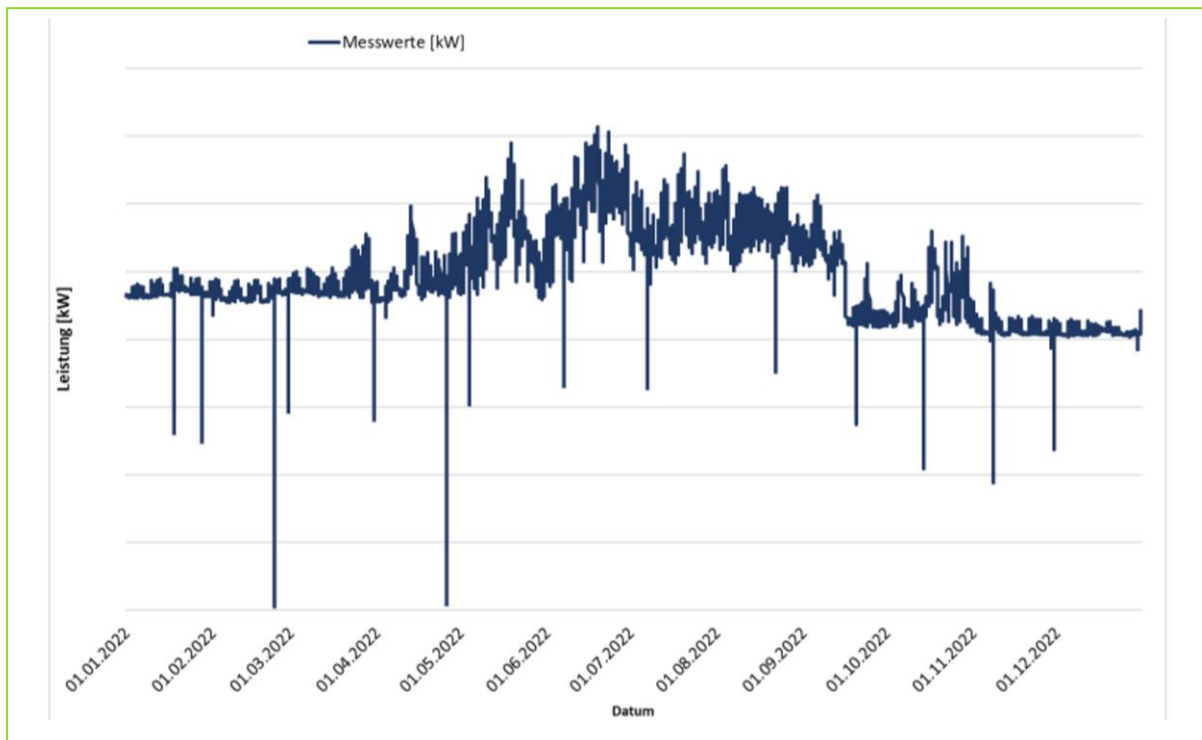
Quelle: (Filipczak, 2023, S. Anhang VI)

Abbildung 3: Lastkurve eines Aggregations-Standortes



Quelle: (Filipczak, 2023, S. Anhang VII)

Abbildung 4: Lastkurve eines Core-Standortes



Quelle: (Filipczak, 2023, S. 24)

Aus Abbildung 3 und Abbildung 4 wird zudem deutlich, dass der Energieverbrauch in den Sommermonaten höher ist als in den kühleren Monaten und die Ausschläge intensiver ausfallen. Durch den verstärkten Einsatz der RLT-Anlagen in den Sommermonaten wird dementsprechend mehr Energie verbraucht. In den Wintermonaten können die Räumlichkeiten und die ITK der Standorte durch Außenluft gekühlt werden, folglich wird weniger bis keine Energie für Ventilation bzw. mechanische Kühlung benötigt.

In den Lastkurven für Aggregations- und Core-Standorte (Abbildung 3 und (Filipczak, 2023, S. Anhang VII)

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Abbildung 4) sieht man zudem, dass es punktuell zu starken Einbrüchen in der Last kommt oder gar keine Energie verbraucht wird. Die Gründe hierfür können unterschiedlich sein. Unter anderem kann ein Notfallbetrieb und damit die Nutzung von Unterbrechungsfreier Stromversorgung und Batterien dazu geführt haben, dass die reguläre Versorgung ausfiel und somit keine Last gemessen wurde. Aufgrund der routinemäßigen Wartung werden die Notfallsysteme regelmäßig eingesetzt, um den fortlaufenden Betrieb zu ermöglichen.

Schließlich fällt auf, dass die Last zwischen den Betriebsstellen stark schwankt. Aus dem Energieverbrauch der Access-Standorte wird deutlich, dass sich die Last sich zwischen 10 und 25 kW bewegt und voraussichtlich auch kein Notfallbetriebssystem genutzt wird. Zudem fällt die Last während des Tages sowie innerhalb der Woche unterschiedlich stark aus (Abbildung 2).

Die Last der Aggregations- sowie Core-Standorte wiederum weist mit 60 - 100 kW und 1.000 - 1.400 kW ein Vielfaches der Access-Last auf. Dies verdeutlicht erneut den in Kapitel 2.1 beschriebenen stufenartigen Aufbau des Telekommunikationsnetzes mit unterschiedlichen Standortgrößen.

Die Telekom hat sich in Anlehnung an das Pariser Abkommen das ambitionierte Klimaschutzziel gesetzt, bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Insbesondere hinsichtlich Scope 2 werden umfangreiche Maßnahmen durchgeführt. Seit 2021 wird weltweit die Eigenstromproduktion der Telekom erhöht bspw. durch die Bereitstellung von Flächen für erneuerbare Energieanlagen. Bis 2030 sollen durch über 2 Mio. Quadratmeter Dach- und weitere Flächen eine Eigenstromproduktionsquote von 10 % erreicht werden. Der Rest soll zunehmend durch Direktabnahmeverträge von Solar- und Windparks gedeckt werden (Power Purchase Agreements PPA) (Ahrens, 2023). Modernisierungsmaßnahmen an den Telekommunikationstechnologien sollen zu erhöhter Energieeffizienz führen.

Am Core- Standort in Frankfurt wurde bspw. eine Umstellung weg von PSTN zu Technologien basierend auf IP vorgenommen. Dabei geht die PASM davon aus, dass der Energieverbrauch trotz des steigenden Datenverkehrsbedarfs im Großen und Ganzen gleichbleiben wird, da es Verschiebepotentiale unter den genutzten Technologien gibt. So würde u.a. Legacy Technik wie Synchroner Digitale Hierarchie (SDH) oder Service & Platform hinsichtlich des Energieverbrauchs rückläufig sein. Schaut man sich dabei Mobilfunktechnologien an, sind bspw. hybride Varianten für Kunden (Network+Home) mit 40W (Kennzahl ist hier Energie pro Haushaltsanschluss) auf dem gleichen Level wie ältere 1.6G Technologien. Die energieeffizienteste Mobilfunktechnologie ist bezogen auf die Reichweite die fünfte Mobilfunkgeneration mit 17W für 5G (noch 22W bei 4G). Insgesamt geht die PASM davon aus, dass sich der Energiebedarf von aktuell 2592 GWh auf 2.220 – 2.186 GWh im Jahr 2027 durch diverse Maßnahmen wie der weitreichenden Umstellung auf 5G und Modernisierungen hinsichtlich energieeffizienzsteigernder Um- und Ausbauten reduzieren wird.

### 3 Charakterisierung und Strukturierung des Mobilfunknetzes

Weltweit sollen bis 2025 laut ersten Prognosen 163 Zettabyte an Daten durch das Internet fließen. Die Einführung von 5G sowie der zunehmenden Nutzung von „Internet der Dinge“-Anwendungen (Internet of Things – IoT) zieht einen jährlichen Datenanstieg von bis zu 30 % nach sich (von Wagner, 2019).

Laut Angaben der Bundesnetzagentur sollen in 2022 6,7 Milliarden Gigabyte über das Mobilfunknetz der Telekom transportiert worden sein (BNetzA, 2023). Im Vergleich zum Vorjahr wurden somit in Summe rund 230 Millionen Gigabyte mehr über das Netz geschickt. Im Allgemeinen solle sich das Datenvolumen im Mobilfunk von 2015 bis 2021 verneunfacht haben und dadurch geht die Telekom davon aus, dass bei gleichbleibenden Anwendungsverhalten der Nutzerinnen und Nutzer eine jährliche Steigerungsrate von 30 – 40 % bis 2030 zu erwarten ist (ebd. 2023).

Für solche Datenmengen ist die Infrastruktur aktuell nicht ausreichend ausgelegt und auch in Deutschland muss das Telekommunikationsnetz weiter modernisiert werden. In Kapitel 2 sind wir auf den allgemeinen Festnetzanschluss eingegangen, der durch die festen Aggregations- und Vermittlungsstellen weniger diffus in der Struktur sowie beim Energieverbrauch im Vergleich zum Mobilfunk aufgestellt ist. Allerdings entwickeln sich gerade in diesem Bereich die genutzten Endgeräte fortlaufend weiter und bedürfen zunehmend schnellere Datenübertragungen, um auch modernere Anwendungen wie Videotelefonie, umfangreichere mobile Games oder Business-Apps auf dem individuellen Handy nutzen zu können.



### 3.1 Aktueller Aufbau des Mobilfunknetzes

Für das weitere Verständnis ist es wichtig, den Aufbau des Mobilfunknetzes der Telekom nachzuvollziehen.

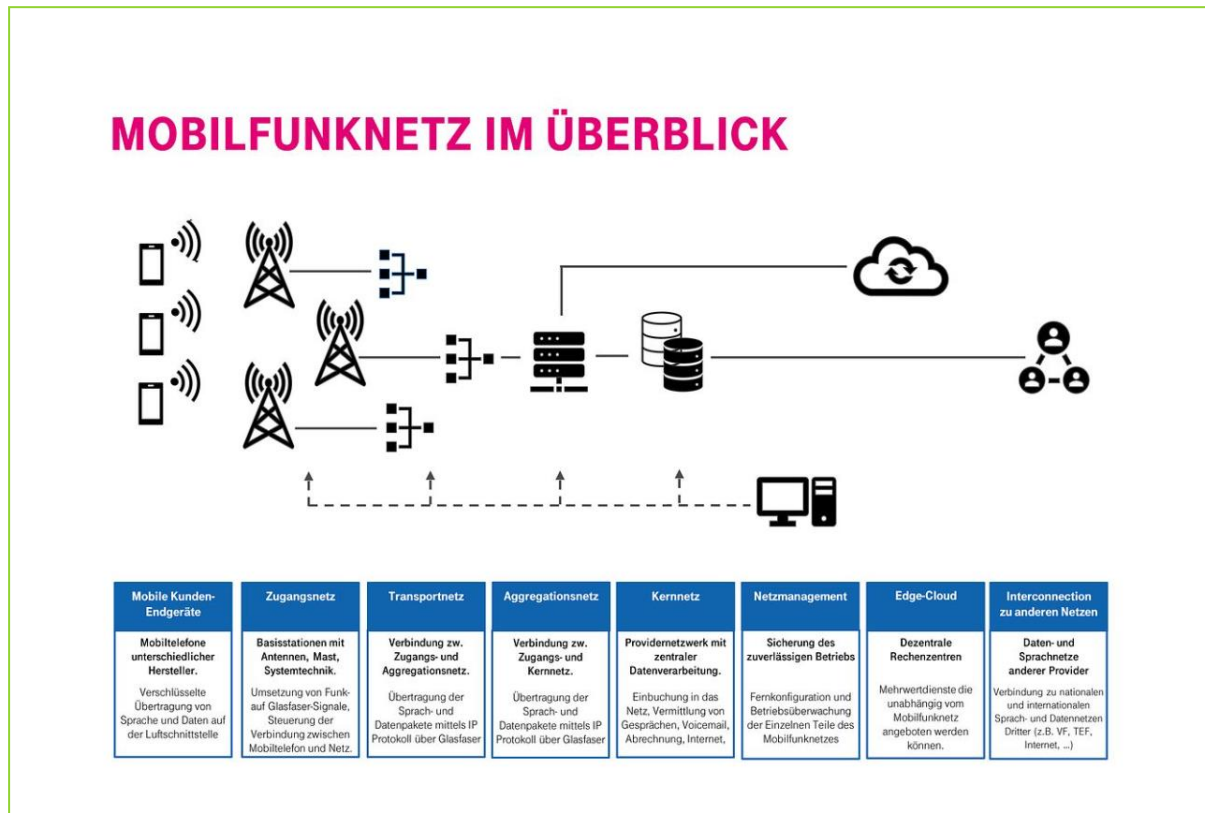
Abbildung 5: Mobilfunkstandorte der Telekom in Deutschland



Quelle: (Rohrbach, 2023)

In der Abbildung 5 wird der Mobilfunkausbau der Telekom dargestellt. Hiervon kann abgeleitet werden, dass in Deutschland das Mobilfunknetz aus ca. 36.000 Standorten besteht. Davon sind 32.584 LTE-Stationen, wovon wiederum 24.396 bereits mit 5G Technologie ausgerüstet sind. 4.855 weitere Masten wurden seit der Frequenzauktion in 2019 dazu gebaut. Die Anzahl der Standorte ergibt sich als Summe aus der Versorgung in der Fläche ("Coverage") und mit ausreichend Kapazität ("Capacity"). Die dazu verwendeten Frequenzen haben physikalisch unterschiedliche Ausbreitungseigenschaften (je höher desto schlechter) (ebd. 2023).

Abbildung 6: Mobilfunknetz im Überblick



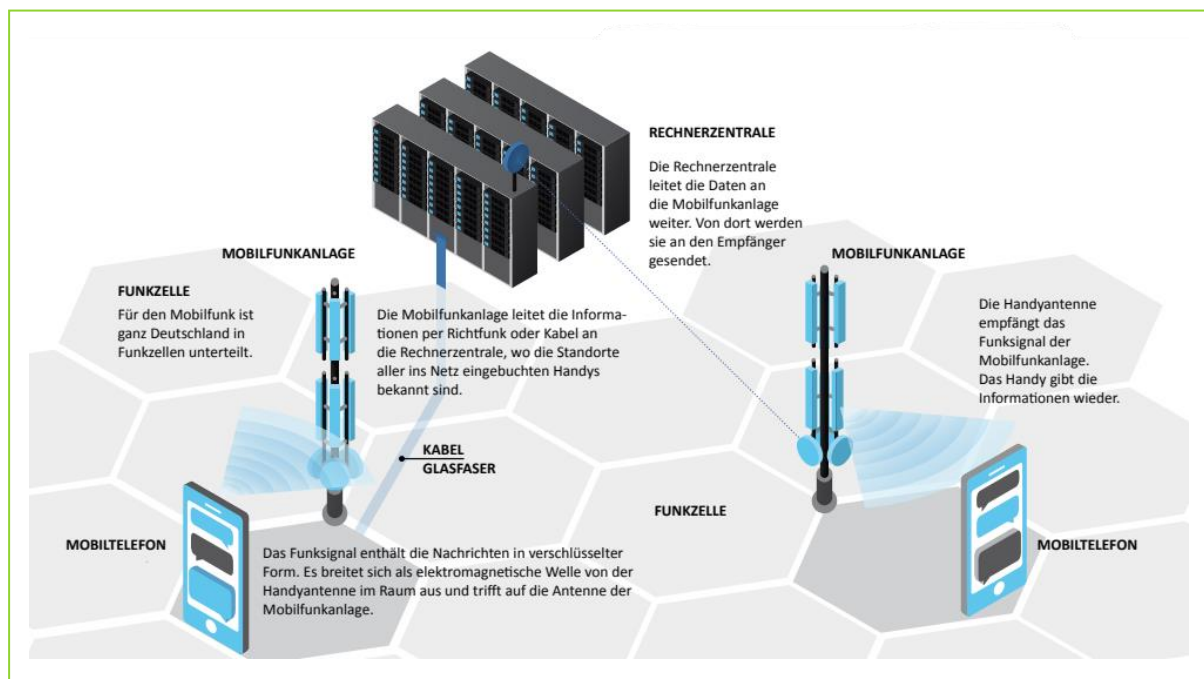
Quelle: (Broszio, 2023)

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Abbildung 6 zeigt den allgemeinen Aufbau des Mobilfunknetzes am Beispiel der Telekom. Ausgehend von der linken Seite der bildlich vereinfachten Darstellung des Netzes, sieht man als Erstes das Radio Access Network (RAN). Dieses stellt die Schnittstelle zwischen den Antennenstandorten, hier dargestellt von Antennenmasten, mit den jeweiligen Endgeräten der Endkundinnen und -kunden her. Die Antennen befinden sich auf sogenannten Basisstationen, die jeweils einen Sende- und Empfangsteil besitzen, um nicht nur Informationen über die Funkwellen aufzunehmen, sondern diese auch aussenden zu können. Beim Telefonieren nimmt das Endgerät per Funk Verbindung mit der nächstgelegenen Station auf. Je nach Standort werden unterschiedliche Frequenzen bedient: Für die Abdeckung von großen Flächen mit 5G wird das Netz zunehmend auf einer Frequenz von 700 MHz versorgt, was eine geringere Kapazität zur Folge hat. LTE (Long Term Evolution, Mobilfunktechnik) mit einem Breitband von 800 MHz bis 2.6 GHz wird unter anderem für Industriegebiete bereitgestellt und erzielt mit diesen hohen Kapazitäten somit weitaus geringere Reichweiten. Bei 3600 MHz wird nur 5G eingesetzt mit einer sehr hohen Kapazität und entsprechend geringer Reichweite.

Modernere Technik bei den Mobilfunkmasten muss hierbei zunehmend mehrere Sende- und Empfangsantennen (bei moderneren Anlagen werden Hexaband-Antennen verwendet) innerhalb eines einzigen Gehäuses vorhalten. Hierbei spricht man von „Multiple Input Multiple Output“ (MIMO) und hat unter anderem den Vorteil, dass Belegungsflächen eingespart werden, Windlasten reduziert werden und bis zu 60 % mehr Mobilfunk-Tempo erreicht werden kann (Rohrbach, 2022). Eine Basisstation kann nur eine begrenzte Anzahl an Informationen gleichzeitig abwickeln und übertragen, wodurch ein eng begrenztes Gebiet abgedeckt wird. Diese meist als Waben angeordneten Gebiete werden als Funkzelle bezeichnet und können je nach Anzahl der Nutzenden und eingesetzter Frequenzen unterschiedlich groß ausfallen – innerhalb von Ortschaften fallen diese beispielsweise deutlich kleiner aus (Deutsche Telekom AG, 2023). In Abbildung 7 wird die wabenförmige Unterteilung durch die Abdeckung der Basisstationen abgebildet.

Abbildung 7: Wabeneinteilung des Mobilfunknetzes



Quelle: (Bartholomäus, 2021, S. 2)

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Die Datenübertragung zwischen den Mobiltelefonen und den erreichbaren Basisstationen wird verschlüsselt. Diese Funksignale werden an den Antennen in Glasfasersignale umgewandelt oder auch über Richtfunk an die nächste Vermittlungsstelle geleitet. Die Stationen beinhalten Steuerungslogiken, um die verfügbaren Übertragungskapazitäten auf die Mobilfunkteilnehmer aufzuteilen sowie entsprechende Qualitätsparameter zu erfüllen, wie bspw. Ausrichtung der Antennen oder die Regelung von Sendeleistungen. In den Vermittlungsstellen werden Gespräche auf das Festnetz umgestellt und zum entsprechenden Anschluss vermittelt.

Im Fall, dass der Empfänger ebenfalls ein mobiles Endgerät benutzt, wird der Anruf vom Festnetz wieder über eine Funkvermittlungsstelle zur nächstgelegenen Basisstation und anschließend zum Zielgerät überführt. Über die Umwandlung und Übertragung der Daten hinaus, werden keine weiteren Veränderungen vorgenommen oder Dienste kreiert. Vom RAN werden die Sprach- und Datenpakete mittels IP-Protocol über das Transportnetz vom Zugangs- ins Aggregationsnetz weitergetragen. Im Aggregationsnetz wiederum werden die einzelnen Datenströme aus den Basisstationen zusammengeführt und in das Kernnetz (Core Network) weitergeleitet. Im Kernnetz befinden sich Steuerungselemente des Mobilfunknetzes sowie die Schnittstellen zu Daten- und Sprachnetzen anderer Provider auf nationaler und internationaler Ebene (Broszio, 2023; Deutsche Telekom AG, 2023).

Um den wachsenden Datenverkehr und schnellerem Tempo neuer Kommunikationstechnologien standzuhalten, wurde seitens der Telekom mittlerweile eine neue Version der Aggregationsebene für das Mobilfunknetz eingeführt: Next Generation Mobile Aggregation (NGMA). Hierbei handelt es sich um eine Routertechnik, die höhere Bitraten und folglich schnelleren und effizienteren Datenverkehr ermöglicht. Auch Latenzen sollen hierdurch weiter reduziert werden, was insbesondere durch den Echtzeit-Datenverkehr, der vor allem bei 5G-Anwendungen typisch ist, vonnöten ist. Die hierfür benutzten Router, die pro Einheit einen zehnmal höheren Datendurchsatz ermöglichen, werden als Mobile Aggregation Router (MAR) bezeichnet. Auf dieser Ebene werden die 33.000 Telekom-Mobilfunkstandorte auf 24 übergeordnete Knotenpunkte aggregiert.

Aus einer sicherheitstechnischen Perspektive werden das RAN sowie die Transport- und Aggregationsnetze als weniger kritisch und nachrangig eingestuft, da die Leistungsmerkmale in diesen Netzen klar begrenzt und geografisch diffus verteilt sind. Neben der erhöhten Effizienz und Schnelligkeit soll mit NGMA auch die Ausfallsicherheit weiter verbessert werden. Die 24 Kernstandorte sind auf 12 Städte mit jeweils 2 Standorten verteilt, die untereinander mit der gleichen Technik ausgestattet sind, damit im Fall einer Störung oder eines Ausfalls auf einen „Zwilling“ umgeschaltet werden kann – dies passiert laut eigenen Aussagen in weniger als 50 Millisekunden.

Aufgrund sicherheitskritischer Komponenten und der gesteuerten Dienste und Netzfunktionen wie der Datenverarbeitung der zusammengeführten Mobilfunkdaten, kommt dem Core Network eine sicherheitskritische Rolle zu, da dieses Netz auch eine exponierte, zentrale Anordnung aufweist (Broszio, 2023). Auch im Kontext der ökologischen Nachhaltigkeit generiert diese übergeordnete Aggregationsebene einen Mehrwert: Mit NGMA verringert sich der Stromverbrauch pro Datenvolumen um 20 % (Kischkewitz, 2022).

### 3.2 Funktionsweise Mobilfunkmasten

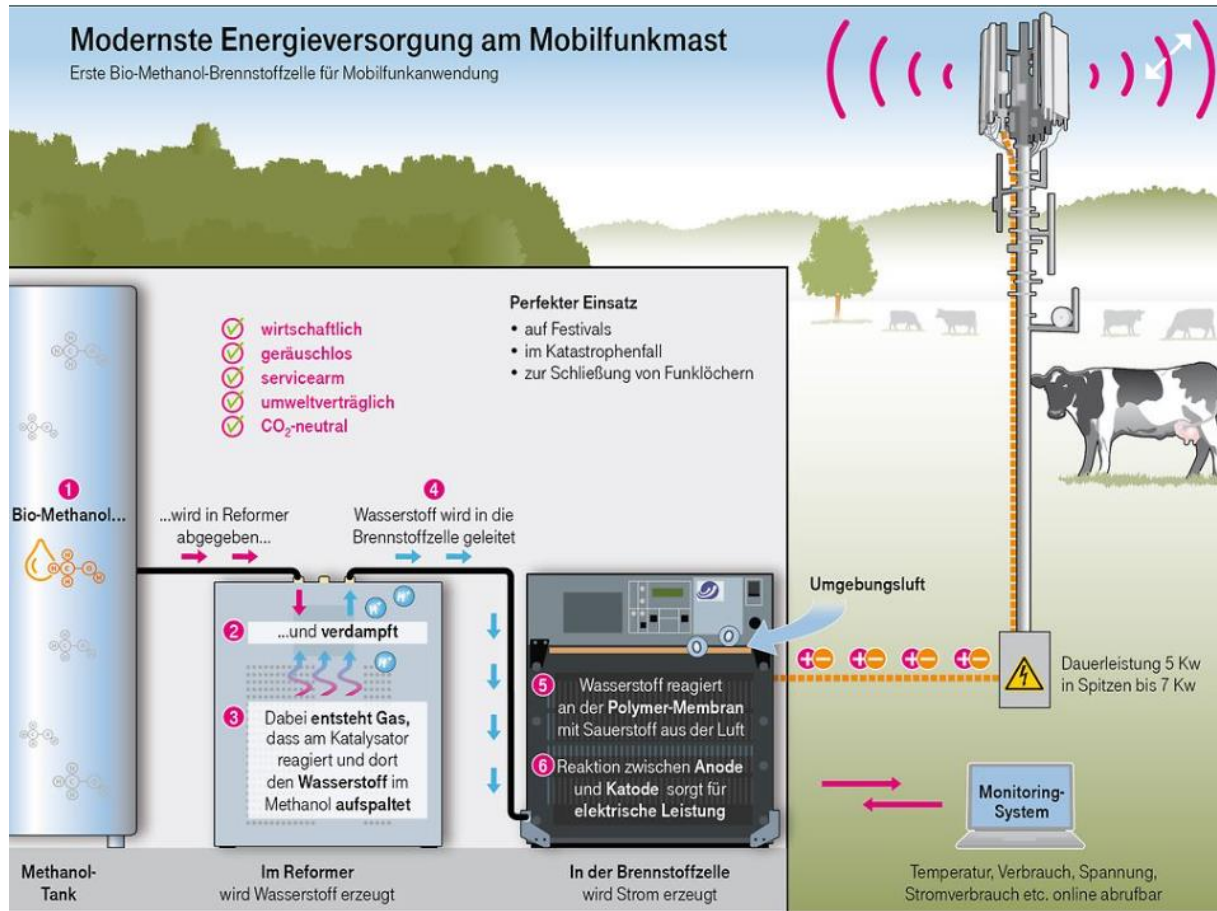
Die Funkwellen einer Sendeantenne verbreiten sich kreisförmig um die Antenne herum. Üblicherweise in drei Sektoren um 120 Grad, um eine Abdeckung von 360 Grad zu erreichen. Um ein möglichst ungestörtes Funksignal auszubreiten, sollte die Distanz zwischen Sendemast und Endgerät möglichst gering ausfallen und auch keine Abschattungen aufweisen bspw. durch Häuser, Bäume oder Hügel (Deutsche Telekom AG, 2023). Wie in Kapitel 3.1. angedeutet, werden an Orten mit einer größeren Anzahl von Nutzenden kleinere und damit mehreren Funkzellen wie Small Cells (Kiel, 2022) eingesetzt, um eine schnelle Datenübertragung zu gewährleisten. Höhere Masten werden eher am Ortrand aufgestellt, was je nach Distanz eine Auswirkung auf die notwendige Höhe des Mastes haben kann und durch die 360 Grad Ausbreitung auch dazu führen kann, dass ein Teil der Wellen ins „Leere“ gestrahlt wird (Jodl, 2019c; Kischkewitz, 2021).

Aufgrund der eingesetzten Technik auf den Sende- und Empfangsmasten, werden auch diese mit einer entsprechenden Stromversorgung ausgestattet. In der Regel werden die Mobilfunkstandorte an das regionale Stromnetz angeschlossen. Je nach Standort und Auslastung, kann der Strombedarf einer Basisstation zwischen einem und sieben Kilowatt liegen (Kischkewitz, 2020; Schröder, 2022). Ausgehend von der Anzahl an Basisstationen wie in Kapitel 3.1. beschrieben, kann die Spannbreite des Strombedarfs der Mobilfunkmasten von 33 MW im Grundbetrieb bis 231 MW im Spitzenbetrieb approximiert werden.

Neben dem Regelbetrieb, setzt die Telekom auch Notstromaggregate ein, meistens mobile Diesellgeneratoren (Wirtschaftswoche, 2022). Um dem selbstgesteckten Ziel bis 2040 ein klimaneutrales Unternehmen zu sein (Kubin-Hardewig, 2022) näher zu kommen, werden zunehmend alternative Versorgungskonzepte ausgearbeitet, um die Mobilfunkmasten energieeffizienter, -autarker und nachhaltiger zu machen. So wurden unter anderem bereits Photovoltaikanlagen (von Wagner, 2022) oder eine Bio-Methanol-Brennstoffzelle genutzt, um die Funkmasten mit ausreichend Strom zu versorgen. Abbildung 8 zeigt die Funktionsweise der Energieversorgung einer Basisstation mittels Brennstoffzelle.

**Abbildung 8: Hinweis zum Energieverbrauch eines Funkmastes**





Quelle: (Jodl, 2019d)

## 4 Gebäudeinfrastruktur

Wie im einleitenden Kapitel 1 beschrieben, ist es für die Standortbeschreibung auch von Interesse, wie die Gebäude- und Geländeinfrastruktur aufgebaut ist, um eine entsprechende Nutzbar- und Erweiterbarkeit abschätzen zu können sowie mögliche Flexibilisierungsoptionen für die Wärme- und Stromversorgung zu evaluieren.

Informationen zu den Standorten der Central Offices hinsichtlich ihrer Infrastruktur sind nur mangelhaft über öffentlich verfügbare Quellen vorhanden. Entsprechend orientiert sich die folgende Darstellung an einem veröffentlichten Blogeintrag über den Rechenzentrumsstandort in Biere bzw. Magdeburg, um anhand der Gebäudeinfrastruktur Rückschlüsse auf größere Core-Standorte der Telekom ziehen zu können. Im sachsen-anhaltinischen Biere betreibt die Telekom Tochter T-Systems das unternehmenseigene Rechenzentrum. Laut eigener Darstellung beherbergt das Zentrum hunderttausend Server auf einer Fläche von 12.000 m<sup>2</sup> (Lamgkamp, 2022). Eine ähnliche Größe kann für den Core-Standort in Frankfurt am Main angenommen werden, welcher in Abbildung 9 zu sehen ist.

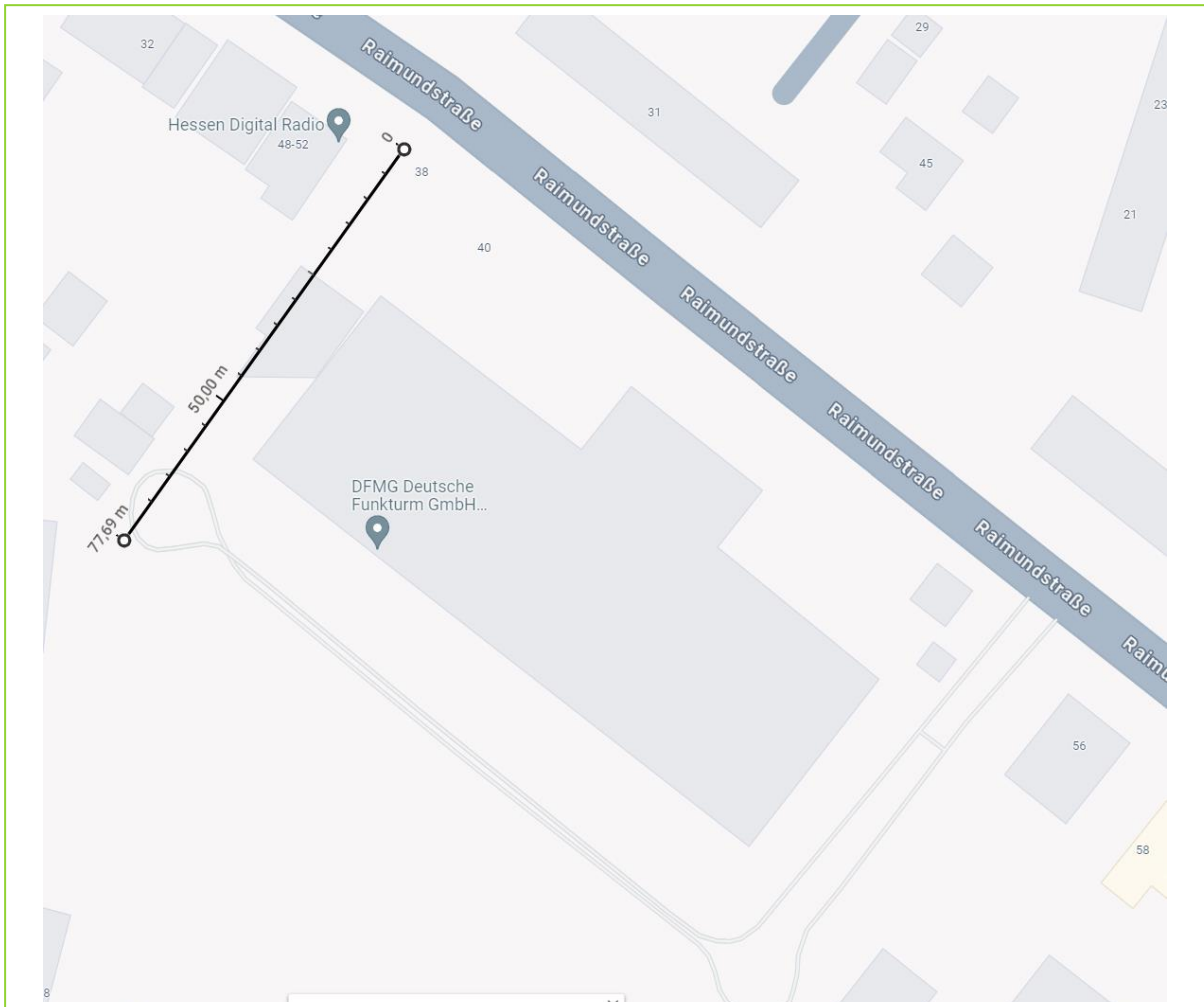
Abbildung 9: Telekom Standort in Frankfurt am Main



Quelle: Google Maps

In Abbildung 10 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wurden jeweils mithilfe des Messungstools von Google Maps die ungefähre Flächenlänge und -breite des Telekom Standortes erfasst. Ausgehend von diesen erfassten Daten kann die Fläche des Standortes auf ca. 10.300 m<sup>2</sup> approximiert werden.

Abbildung 10: Breitenmessung Telekomstandort Frankfurt



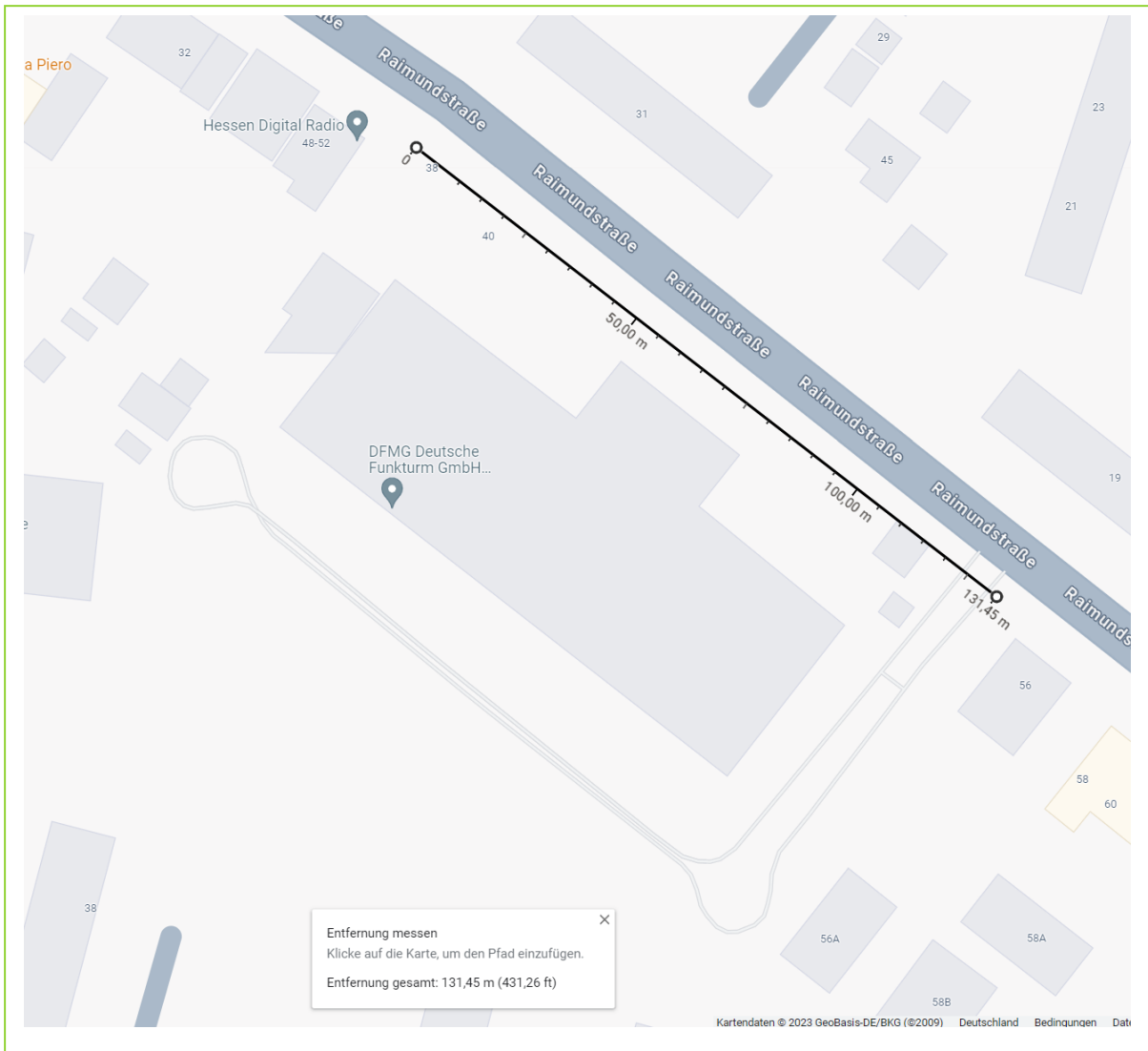
Quelle: Google Maps

Der in Abbildung 9 zu sehende Standort weist mehrere Gebäude auf, die unterschiedlich genutzt werden z.B. als Gewerbeflächen, Technik- und Systemeinheiten oder Lager. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, werden in den Central Offices auch Relaisräume unterhalten, deren entsprechende Server wie im Kapitel beschrieben gekühlt bzw. wahlweise auch gewärmt werden müssen. Im Standort Frankfurt sind diese Serverräume in einem erhöhten Stockwerk des mehrstöckigen Gebäudes gehalten. Über einen doppelten Boden wird kalte Luft von zwei Kältemaschinen angezogen, die sich im Keller dieses mehrstöckigen Gebäudes befinden. Um den Kühlvorgang möglichst effizient zu halten, werden die Racks in einem Kaltganggehäuse platziert. Wie auch in Kapitel 2.3 näher beschrieben, hält man sich hierbei an die Vorgaben der ETSI EN sowie an Brandschutzvorgaben für Gebäude. Dadurch wird mittels Sensorik die Temperatur im als auch über dem Gehäuse kontinuierlich gemessen und beobachtet. Die Temperatur darf im Gehäuse zwischen 18 – 21 °C und oberhalb bis maximal ca. 35 °C liegen.

Die Energieversorgung für den Standort wird voraussichtlich durch das lokale Energieversorgungsunternehmen Mainova abgewickelt. Diese unterhält mehrere Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen in und um Frankfurt (Jaenecke & Weg, 2020).



Abbildung 11: Längenmessung Telekomstandort Frankfurt



Quelle: Google Maps

Durch die Nachhaltigkeitsziele der Telekom nutzt das Unternehmen seit 2021 100 % klimaneutral produzierten Strom für die Netze und sieht vor, bis 2025 50 % des europäischen Strombedarfs durch Direktverträge (Power Purchase Agreements, PPA) mit erneuerbaren Energieerzeugern zu decken, sofern der Bedarf nicht durch die eigene Produktion gedeckt wird (Fuchs, 2022). Entsprechend kann man davon ausgehen, dass für Standorte wie die CO in Frankfurt ein Teil der Fläche für erneuerbare Energieanlagen genutzt oder hierfür verplant wird, bspw. wären hier PV-Aufdach-Anlagen oder PV-Anlagen an der Fassade des Hochgebäudes denkbar. Eine Generalisierung dieser Annahme ist jedoch mit Vorsicht vorzunehmen, da der Einsatz von erneuerbaren Energien auch technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen (z.B. keine Abschattung, ausreichende Amortisation etc.) unterliegt, die nicht an jedem Standort vorteilhaft sind. Mit Blick auf den Frankfurter Standort wird zudem die Annahme getroffen, dass ein direkter erneuerbarer Strombezug durch einen lokalen Energieversorger vorliegt.

Neben der Anbindung an das öffentliche Netz, besitzt der Standort Frankfurt ebenfalls eine USV, wie es in Kapitel 2.1 als für CO verpflichtend aufgeführt wurde. Neben den Kältemaschinen stehen im

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Keller für die Notfallversorgung (als Überbrückung) eine Reihe gleichgeschalteter Blei-Batterien. Insgesamt gibt es auf dem Gelände zwischen sechs bis acht Batteriestationen. Diese laufen gleichgeschaltet zur akuten Versorgung, damit im Notfall direkt die Batteriestationen zwischengeschaltet werden. Nach eigener Aussage können die Stationen die Stromversorgung bis zu drei Tage überbrücken. Blei-Batterien werden in dem Zusammenhang bevorzugt, weil es für Lithiumbatterien mehr Einschränkungen wegen brandschutzrechtlicher Vorschriften gibt, die vor allem beim Austausch bzw. Ersatz relevant sind. Zudem werden Bleiakkumulatoren über Kupferschienen ohne Zwischenschalter/Leistungselektronik an die Energieversorgung des Standortes angeschlossen. Das gleiche gilt für Brennstoffzellen. Zudem ist auch nicht möglich, diese Speichermedien als Lastverschiebungsspeicher zu nutzen, da die Blei-Batteriespeicher dafür nicht ausgerichtet sind. Entsprechend wird aktuell auch nicht vorgesehen, die Lastverschiebung als Geschäftsfeld zu entwickeln, da die Marktentwicklung hierzu nicht attraktiv genug erscheint und auch kaum Investitionen in diesen Markt vorgenommen werden.

Daneben gibt es in einer unterirdischen Halle, die hinter dem mittleren Handels- und Gewerbegebäude in Abbildung 9 liegt, zwei riesige Dieselmotoren (aus alten Schiffsmotoren übernommen) die für die Notfallversorgung eingesetzt werden. Jeder dieser Motoren weist eine Leistung von 800 kW auf, sie sollen aber in naher Zukunft durch neuere Motoren ersetzt werden, die eine ähnliche Dimension und Leistung aufweisen. Zur Füllmenge gibt es keine genaueren Angaben, man kann sich hier aber erneut über die Angaben aus Biere annähern: Dort stehen 30 solcher Motoren und deren Betankung kann für Netzersatz von bis zu 110 h sorgen (Lamgkamp, 2022). Umgerechnet auf zwei Dieselmotoren von schätzungsweise gleicher Größe würde die Betankung für einen Netzersatz von knapp 15 h sorgen.

Neben den bereits erwähnten Vorgaben für die Gebäude hinsichtlich maximaler Temperaturen innerhalb der Relaisräume, gibt es noch weitere Sicherheitsmaßnahmen, die erfüllt werden müssen. Erneut orientieren wir uns an den Sicherheitsvorgaben vom Rechenzentrum in Biere: Um die Sicherheit im Fall von Bränden zu erhöhen, werden die Relaisräumen mit massiven Metalltüren verschlossen. Zudem herrschen Mindestabstände zwischen den Gebäuden auf dem Campus und auch die Kabelführungen für Strom und Daten führen auf getrennten Wegen zu diesen Brandschutzzellen, um die Verfügbarkeit zu sichern (ebd. 2022). Auch hinsichtlich des Nahbereichs gibt es Vorgaben. Der Abstand zwischen den Betriebsstellen und den Kabelverzweigern – den grauen Kästen auf den Gehwegen - darf nicht länger als 550 m sein. Folgerichtig gehören alle Verzweiger, die im Radius der 550 m stehen, zum Nahbereich der jeweiligen Betriebsstelle. Insgesamt gibt es 7.500 Nahbereiche der Telekom in Deutschland (Jodl, 2019a, 2019b). Für den Fall, dass einer dieser Knotenpunkte der Netzinfrastruktur ausfällt, wird eine Betriebsstelle eingesetzt. Diese befinden sich in eigens hierfür kreierte Containern, die bspw. bei Extremwetterereignissen eingesetzt werden können, um den Mobilfunk und das Festnetz aufrechtzuerhalten (Menzel, 2022).

### 5 Fazit

Durch die Standortbeschreibung der energetisch zu modernisierenden Central Offices konnte gezeigt werden, dass diese Assets durch eine Bandbreite an möglichen Lösungsansätzen mit entsprechenden zu überwindenden Herausforderungen charakterisiert sind. Viele infrastrukturelle Aspekte und technologische Gegebenheiten sind historisch gewachsen und können bei der Umsetzung angedachter Lösungen zu Hindernissen durch beispielsweise Regularien und Konformitätsvorgaben hinsichtlich unter anderem Brandschutz oder Redundanz führen. Allerdings verbirgt sich auch ein bisher nicht vollends ausgeschöpftes Potential hinsichtlich der Energieeffizienzsteigerung. Durch neuere und modernere Technologien im Telekommunikations- und Digitalisierungsbereich kann dieses Potential verstärkt ausgenutzt werden. Für die weitere Diskussion und das Projektvorhaben wird es jedoch notwendig sein, weitere und konkretisierte Informationen hinsichtlich energetischem Status Quo ausgewählter CO-Standorte zu erhalten, um mögliche Modernisierungsmaßnahmen bezogen auf Klimaresilienz und Energieeffizienz wie bspw. die örtliche Erzeugung regenerativer Energien oder Integration in das lokale Energiesystem besser zu modellieren und verschiedene Entwicklungsszenarien zu prognostizieren.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Ahrens, R. (2023, Mai 17). Energie im Netz: Weniger ist mehr [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/konzern/artikel/energie-im-netz-weniger-ist-mehr-1039580>
- Bartholomäus, M. (2021). *Mobilfunk, Fragen und Antworten* (S. 8) [Digitale Zeitschrift]. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz. Abgerufen von Bundesamt für Strahlenschutz website: [https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-mobilfunk.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-mobilfunk.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- BNetzA. (2023, Dezember 21). Datenvolumen in Festnetzen [Datenportal]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Bundesnetzagentur.de website: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Datenportal/1\\_Digitales\\_Telekommunikation/\\_svg\\_TK/TK\\_Festnetz/Datenvolumen%20Festnetz/Datenvolumen%20Festnetz.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Datenportal/1_Digitales_Telekommunikation/_svg_TK/TK_Festnetz/Datenvolumen%20Festnetz/Datenvolumen%20Festnetz.html)
- Broszio, S. (2023, Juni 27). 5G plus China ergibt Fragezeichen [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/konzern/artikel/5g-plus-china-ergibt-fragezeichen-1041624>
- Cisco. (2021). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023)*. online: Cisco Systems, Inc. Abgerufen von Cisco Systems, Inc. website: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- Deutsche Telekom AG. (2023, Juli). Wie mobiles Telefonieren funktioniert [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/verantwortung/umwelt/details/wie-mobiles-telefonieren-funktioniert--338642>
- Ericsson. (2023). Fixed wireless access forecast – Mobility Report [Website]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Ericsson.com website: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/fwa-outlook>
- Fiber to the Home Council Europe. (2016). *Breaking news from the FTTH Conference 2016: Croatia, Germany and Poland join the FTTH Ranking*. Brüssel. Abgerufen von [http://ftthcouncil.eu/documents/PressReleases/2016/PR20160217\\_FTTHranking\\_panorama\\_award.pdf](http://ftthcouncil.eu/documents/PressReleases/2016/PR20160217_FTTHranking_panorama_award.pdf)
- Filipczak, N. S. (2023). *Green and Economic Information Network Nodes—Technological, economic, and environmental optimization of central offices in Germany* (Masterarbeit). Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Fuchs, A. E. (2022, November 15). Wie IoT auf das Klimaziel einzahlt [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/konzern/artikel/wie-iot-auf-das-klimaziel-einzahlt-1020826>
- IONOS. (2022, April 11). Was ist ein Rechenzentrum? [Artikel]. Abgerufen 17. Januar 2024, von IONOS Digital Guide website: <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/was-ist-ein-rechenzentrum/>
- Jaenecke, T., & Weg, K. (2020). *Energie von hier* (S. 40) [Zeitschrift]. Frankfurt am Main: Mainova AG.
- Jodl, M. (2016, Mai 10). Telekom erklärt, wie eine Vermittlungsstelle funktioniert [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/telekom-erklaert-wie-eine-vermittlungsstelle-funktioniert-65588>
- Jodl, M. (2019a, März 12). Nahbereichsausbau—Was das ist und wo wir stehen [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/nahbereichsausbau-565328>
- Jodl, M. (2019b, April 9). Nahbereichsausbau: Große Städte, große Bandbreite [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/nahbereich-muenchen-laim-567458>
- Jodl, M. (2019c, Mai 28). Warum muss die Mobilfunk-Antenne im Ort stehen? [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/warum-muss-die-mobilfunk-antenne-im-ort-stehen--572356>

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

- Jodl, M. (2019d, Juli 24). Dieser Mobilfunk-Standort läuft mit Brennstoffzelle [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/mobilfunk-standort-brennstoffzelle-577054>
- Jodl, M. (2022, Januar 4). Telekom: Strom sparen mit AC/DC [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/telekom-strom-sparen-mit-ac-dc-643736>
- Kiel, P. (2022, Dezember 26). 5G Small Cells: Neues Leben für alte Telefonsäulen [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/5g-small-cells-neues-leben-fuer-alte-telefonsaeulen-1023428>
- Kischkewitz, H. (2020, März 17). Nächster Schritt in Dettelbach: Der Mast steht [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/naechster-schritt-in-dettelbach-der-mast-steht-596252>
- Kischkewitz, H. (2021, März 9). Mobilfunk auf dem Strommast – eine elektrisierende Idee und ihre Tücken [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/mobilfunk-auf-dem-strommast-eine-elektrisierende-idee-und-ihre-tuecken-618148>
- Kischkewitz, H. (2022, März 8). Mobilfunk: Mehr Power und Tempo auf einer neuen Datenautobahn [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/mobilfunk-mehr-power-und-tempo-auf-einer-neuen-datenautobahn-646250>
- Kubin-Hardewig, M. (2022). *Corporate Responsibility Bericht 2022* [Nachhaltigkeitsbericht]. Bonn: Deutsche Telekom AG. Abgerufen von Deutsche Telekom AG website: <https://www.cr-bericht.telekom.com/2022/steuerung-fakten/strategie/cr-strategie-steuerung>
- Lamgkamp, K. (2022, November 16). Wie lösche ich ein Rechenzentrum ... ohne es zu löschen? [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/konzern/artikel/wie-loesche-ich-ein-rechenzentrum-ohne-es-zu-loeschen-1021056>
- Menzel, C. (2022, Januar 27). Nach dem Felssturz gegen ein Telekom-Gebäude in Altena: Entwarnung für Netzstörungen [Blog-Post]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Lokalstimme.de website: <https://lokalstimme.de/blog/2022/01/27/nach-dem-felssturz-gegen-ein-telekom-gebäude-in-altena-entwarnung-fuer-netzstoerungen/>
- PASM Power & Condition Solution Management GmbH. (2018). *Planungshandbuch PASM* (Planungshandbuch Nr. 9.0). München: PASM Power & Condition Solution Management GmbH.
- Reinsel, D., Gantz, J., & Rydning, J. (2017). *Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical* (S. 25) [White Paper]. Framingham, MA: International Data Corporation (IDC).
- Rohrbach, S. (2022, Juni 14). Mobilfunk-Modernisierung: High-Tech auf dem flachen Land [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/mobilfunk-modernisierung-high-tech-auf-dem-flachen-land-1008174>
- Rohrbach, S. (2023, März 7). Kampf ums Funkloch: Der Weiße Fleck muss weg! [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/kampf-ums-funkloch-der-weiße-fleck-muss-weg-1028682>
- Schröder, D. (2022, September 9). Nachgehakt: Wie lange hält das Handynetze bei Stromausfall? [Artikel]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Soester-anzeiger.de website: <https://www.soester-anzeiger.de/lokales/kreis-soest/stromausfall-nachgehakt-wie-lange-haelt-das-handynetze-91778664.html>
- von Wagner, G. (2019, Februar 12). So sieht die Technik der modernsten Vermittlungsstelle aus [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/vermittlungsstelle-5g-frankfurt-561910>
- von Wagner, G. (2022, Oktober 10). Sauber-Trick: Mobilfunk mit Strom aus der Sonne [Blog]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Telekom.com website: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/sauber-trick-mobilfunk-mit-strom-aus-der-sonne-1017886>

## Charakterisierung von Telekom-Standorten

Wirtschaftswoche. (2022, September 29). Energiekrise: Mit Software und Diesel-Generatoren: Mobilfunkanbieter rüsten sich für drohenden [Artikel]. Abgerufen 17. Januar 2024, von Wiwo.de website: <https://www.wiwo.de/technologie/digitale-welt/energiekrise-mit-software-und-diesel-generatoren-mobilfunkanbieter-ruersten-sich-fuer-drohenden-netz-kollaps/28715118.html>