

## Einleitung

### Entwicklungsgeschichte

Die ersten digitalen Mobilfunknetze (D1, D2) wurden im Jahr 1992 in Deutschland in Betrieb genommen. Der anfänglich in Europa kreierte und bis heute weltweit etablierte Standard „GSM“ (Global System for Mobile Communications) ist immer noch eine wesentliche Grundlage der mobilen Sprachkommunikation. Deutschland und auch die heutige Deutsche Telekom haben dabei Schlüsselpositionen eingenommen. Nach vorhergehenden rein nationalen, analogen Mobilfunknetzen wurde dieser Standard auch als 2. Generation (2G) bezeichnet. Die weitere Entwicklung vollzog sich über die als „UMTS“ (3G) und „LTE“ (4G) bezeichneten Standards und Technologien, wobei bisher jeweils in Abständen von etwa 10 Jahren eine neue Technologiegeneration eingeführt wurde. „GPRS“, „EDGE“, ... bildeten jeweilige Zwischenschritte, um von der ursprünglich für eine reine Sprachkommunikation angelegte Netzarchitektur zunehmend leistungsfähigere Datendienste zu ermöglichen. Anfänge der Datenkommunikation bildeten Kurznachrichten/SMS, erste Datenübertragungen sehr niedriger Bitrate folgend, bis zum heutigen mobilen breitbandigen Internet. Dies wurde durch neue Leistungsmerkmale in den Kernnetzen in Verbindung mit zunehmend leistungsfähigeren Mobilfunkgeräten, mehr zur Verfügung stehendem Spektrum für das Funk-Zugangsnetz, wie auch dem Einsatz von Glasfaser im Transportnetz, ermöglicht.

### Herausforderungen und Antworten

Ein Treiber für die technologische Weiterentwicklung, sowie den weiteren Ausbau der Mobilfunknetze, ist auf der einen Seite das extreme Wachstum des mobilen Datenkonsums. Aktuelle Vorhersagen prognostizieren einen jährlichen Anstieg von 40-50 % der über Mobilfunknetze transportierten Datenmengen. Diese sind zwar verglichen in absoluten Zahlen mit den Verkehrsmengen im Festnetz noch immer deutlich niedriger, bedeuten jedoch massive und kontinuierliche Investitionen in Netzausbau, Modernisierung und neue Technologien.

Neben der beständigen Erweiterung der Netzkapazitäten des Mobilfunknetzes, sowie der versorgten Fläche und Bevölkerung, sind es auf der anderen Seite die gestiegenen Anforderungen an die innovationsgetriebenen neuen Möglichkeiten mobiler Kommunikation, die die aktuelle globale Weiterentwicklung prägen. Mit 5G werden weitere neue Leistungsmerkmale und intelligente Lösungen für Privatkunden, Geschäftskunden, hier insbesondere auch für Anwendungen in Unternehmen, ermöglicht. Industrie 4.0, Smart City, Smart Home seien als Schlagwörter genannt. Diese neuen Möglichkeiten teilen sich im Wesentlichen in drei Anwendungsbereiche:

- Massive Breitbanddienste, d.h. deutlich höhere Datendurchsatzraten, wie sie beispielsweise auch für Videoübertragungen oder AR/VR-Anwendungen erforderlich sein werden.
- Die Vernetzung einer extrem hohen Zahl an Geräten und Sensoren. Das Internet der Dinge steht hier erst am Anfang. (M2M, massive IoT)
- Grundsätzlich neue Fähigkeiten des zukünftigen Mobilfunknetzes durch steuerbare Dienstqualität, niedrigere Latenzen (Reaktionszeiten), neue Sicherheitsmerkmale, netzbasierte Positionierung, u.v.m.

### Grundlegende Struktur eines Mobilfunknetzes

Alle Mobilfunknetze basieren auf einer digitalen, hierarchischen Netzstruktur. Was heißt das? Vereinfacht dargestellt, besteht das Netz an dem einen Ende aus einigen wenigen Komponenten mit zentralen, übergreifenden Aufgaben: dem Kernnetz. Auf der anderen Seite existiert bereits eine sehr große Zahl von sogenannten Basisstationen, die das funkbasierte Zugangsnetz darstellen. Die Verbindung zwischen diesen Teilen erfolgt durch Übertragungsleitungen: dem Transportnetz. Ein zusätzliches Steuerungs- und Überwachungsnetz stellt den zuverlässigen Betrieb dieser Komponenten des

Mobilfunknetzes sicher. Vollständig wird das Netz natürlich erst durch die vom Kunden genutzten Endgeräte, wie Telefone, Smartphones oder vernetzte Sensoren.

In den nachfolgenden Absätzen werden die einzelnen Hauptgruppen des Netzes kurz beschrieben. Eine Vertiefung erfolgt im nachfolgenden Abschnitt. Telekommunikationsdienste und Anwendungen stehen nicht im Fokus dieses Artikels.

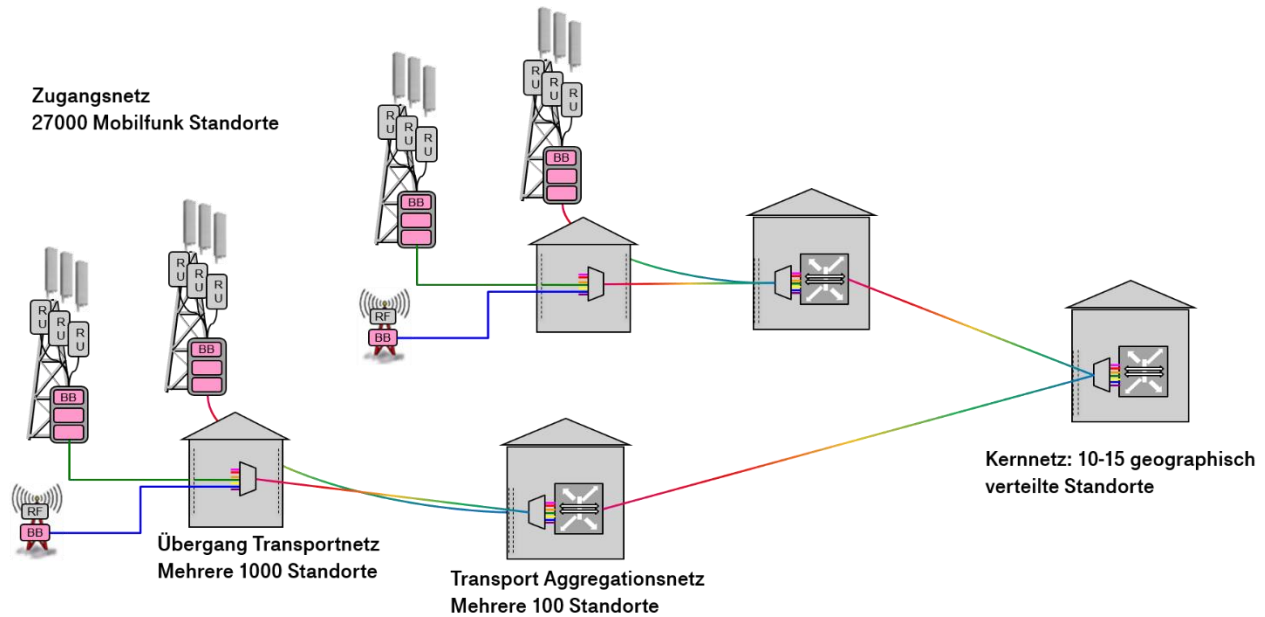
- Das funkbasierte Zugangsnetz stellt die Verbindung zwischen dem Kunden und den von ihm benutzten Geräten, sowie dem eigentlichen Netz dar. Während in einem Festnetz in der Regel über feste Leitungen (im Wesentlichen Glasfaser, Koaxialkabel, Kupferkabel) die Verbindung zum Privat- und Geschäftskunden hergestellt wird, erfolgt dies in einem Mobilfunknetz über Funkwellen. Im Englischen wird dieser Teil als „Radio Access Network“ (RAN) bezeichnet. Funkwellen ermöglichen drahtlose bidirektionale Verbindungen zwischen den Basisstationen im Netz und den Endgeräten der Kunden. Redundanz und Ausfallsicherheit in diesem Teil des Netzes ergeben sich dadurch, dass die Basisstationen derart angeordnet sind, dass sich die durch sie gebildeten „Mobilfunkzellen“ teilweise geografisch überlappen.
- Die Schaltzentrale des Netzes wird auch als Kernnetz bezeichnet, im englischen „Core Network“ (CN). Das Kernnetz besteht aus mehreren Teilkomponenten mit dedizierten Aufgaben. Die Hauptaufgabe besteht in der Steuerung der Kommunikation, inklusive Zugangsregelung, Aufbau und Beendigung von Verbindungen, sowie dem Management der Mobilität der Kunden. Auch die Art und der Umfang der zur Verfügung gestellten Dienste werden über Komponenten des Kernnetzes koordiniert.  
Im Unterschied zu der hohen Anzahl an Basisstationen, mit jeweils begrenzter geografischer Reichweite, sind die Komponenten des Kernnetzes auf wenige Standorte konzentriert und in deutlich niedrigerer Stückzahl vorhanden. Die Netzelemente im Kernnetz gelten aufgrund ihrer Relevanz als kritische Netzkomponenten. Jegliche Störung oder Fehler an diesen haben entsprechende Auswirkungen auf entweder große geografische Teilbereiche des Netzes oder das Netz selbst. Ein redundanter Aufbau der wesentlichen Elemente sichert dagegen ab, dass Störungen alle Kunden betreffen.  
Aus dem Kernnetz heraus erfolgt auch die Übergabe ans Internet, andere Telekommunikationsnetze (national, international) sowie beispielsweise eigene Dienste-Plattformen.
- Das Transportnetz verbindet bundesweit alle Basisstationen mit dem Kernnetz und dient der Übertragung der Daten zwischen Zugangs- und Kernnetz. Sämtliche Verkehrsflüsse (Sprache sowie Daten) werden verschlüsselt transferiert. Wie beim Zugangsnetz besteht auch hier die Aufgabe im Transfer der Daten, nicht in einer weiteren Bearbeitung.
- Darüber hinaus gibt es noch eine weitere, sehr wichtige Ebene im Netz: die Netzüberwachung und -kontrolle. Auf dieser Ebene geht es nicht um die Steuerung einer Kommunikationsbeziehung zwischen Kunden und die dabei erforderlichen Signalisierungsdaten an sich. Aufgabe ist die übergreifende Überwachung und Steuerung der hierfür erforderlichen Netzkomponenten in ihrer Gesamtheit. Stabilität und Sicherheit werden überwacht, auf Probleme und Störungen reagiert sowie Änderungen in das Netz eingebracht. Es handelt sich hierbei um ein eigenes Steuerungs- und Überwachungsnetz für das Mobilfunknetz.
- Neben den Netzkomponenten selbst wird die Kommunikationsbeziehung durch die mobilen Endgeräte vollständig. Das Gerät auf Kundenseite kann ein Telefon, ein Smartphone, ein Computer, ein Router oder ein Sensor sein. Für die Identifikation des Kunden, bzw. des Gerätes, wie auch die Verschlüsselung der Kommunikation, spielt die SIM-Karte eine wichtige Rolle.

---

Im Deutschland hat die Deutsche Telekom beispielsweise ca. 27.000 solche Basisstationen bundesweit verteilt im Einsatz.

---

## ÜBERBLICK MOBILFUNKNETZ



### Grundprinzipien beim Design und Betrieb eines Mobilfunknetzes

- **Offene, globale Standards:** Der weltweite Erfolg der digitalen mobilen Kommunikation wurde durch internationale Standardisierung ermöglicht. Standardisierungsgremien (wie ETSI, 3GPP, ITU, ...) erarbeiten in international zusammengesetzten Expertenteams mit Vertretern von Netzbetreibern, Herstellern von Infrastruktur und Endgeräten sowie Entwicklern von Diensten die Architektur- und Designprinzipien etwaiger Standards, die unmittelbar in die Entwicklung und Konstruktion einfließen. Eine Haupterrungenschaft ist neben einer einheitlichen Netzarchitektur, verbindlichen Leistungsmerkmalen, offenen Schnittstellen auch die Art, in der das Mobilfunknetz "spricht", d.h. Übertragungsprotokolle. Die Standardisierung hat es den Mobilfunkbetreibern seit GSM ermöglicht, Netzelemente verschiedener Hersteller miteinander zu kombinieren und global einheitliche Dienste zu verwirklichen, die auch über Netzbetreibergrenzen hinweg nutzbar sind. Die Anzahl, wie auch die Qualität und Zuverlässigkeit dieser offenen Standards hat sich im Laufe der Jahre kontinuierlich weiterentwickelt. Über verschiedene Industrieinitiativen wird aktuell daran gearbeitet, eine weitere Öffnung der Standards zu erreichen.
- **Trennung Kundendaten von Steuerungsdaten:** Der Kommunikation liegt eine Trennung von eigentlichen Nutzungsdaten (Sprache, Kurznachrichten, Daten) und Steuerungsdaten, auch als Signalisierungsinformation bezeichnet, zugrunde. Letztere werden benötigt, um den Verbindungsaufbau, die Kommunikation zwischen zwei oder mehr Kunden zu ermöglichen (Menschen, Geräte) und die Mobilität der Kommunikationsbeziehung zu steuern. Die Informationen zur Steuerung des Netzes sind hierbei von den eigentlichen, verschlüsselten Daten der Kunden klar getrennt.
- **Entkopplung Hardware und Software:** Seit Beginn der digitalen Kommunikation basierte diese auf Software, d.h. Computerprogrammen und -algorithmen, die auf Hardware, d.h. speziellen Computern installiert wurde. Bislang sind jedoch bei einem bestimmten Netzelementtyp diese beiden Teile durch den Systemlieferanten in einer Art geschlossenem System („Black Box“) miteinander verbunden. Die bereits bei den Schnittstellen zwischen den Netzelementen erreichte Offenheit wird derzeit durch verschiedene Industrieinitiativen auch massiv in Richtung einer Entkopplung von Hardware und Software innerhalb der

Netzelemente getrieben. Vorteile sind ein höheres Maß an Transparenz, sowie eine größere Flexibilität bei der Zusammensetzung der einzelnen Komponenten unterschiedlicher Partner, einschließlich der Möglichkeit, standardisierte Computer-Hardware zu verwenden. Diese als „Virtualisierung“ bezeichnete Vorgehensweise befindet sich in Teilen noch in der Entwicklung, wird aber schon teilweise im Praxisbetrieb verwendet („Network Function Virtualization“ (NFV)).

- **Cloudifizierung:** Die zuvor beschriebene Entkopplung ist eine Grundvoraussetzung für die sogenannte „Cloudifizierung“, die insbesondere bei 5G eine wichtige Rolle spielen wird. Funktionen und Dienste eines Mobilfunknetzes können in unterschiedlichen Konstellationen in Rechenzentren des Netzbetreibers betrieben und orchestriert werden. Dabei handelt es sich um spezielle, geschützte Rechenzentren mit höchsten Anforderungen an Verfügbarkeit, Sicherheit und Skalierbarkeit.

Eine bessere Anpassung an Nutzungs-/Lastprofile, wie auch neue Dienste in kürzerer Realisierungszeit sind Vorteile dieser Technik, die jedoch neue Herausforderungen an den zuverlässigen Betrieb stellt. Auch diese technologische Weiterentwicklung steht an der Schwelle zur Einführung und Nutzbarkeit.

## Detailierung der Netzarchitektur

Im Folgenden werden die einzelnen Netzbereiche eines Mobilfunknetzes detaillierter beschrieben. Grundlage aller Bestandteile des Netzes, auch Netzelemente genannt, ist die richtige Zusammensetzung aus Hardware (Leitungen, Antennen, Spezialcomputer) und der zugehörigen Software, sowie das Zusammenspiel der verschiedenen Netzelemente über standardisierte Schnittstellen und Protokolle.

Während die Anfänge digitaler Kommunikation im Wesentlichen auf die Übertragung von Sprache (vergleichbar zu ISDN) gerichtet waren, sind es heute hochleistungsfähige IP-basierte Datennetze, die die Grundlage für unsere digitale Kommunikation bilden.

### Das Zugangsnetz

Das funkbasierte Zugangsnetz hat die Aufgabe, die Daten des Kunden in das eigentliche Netz aufzunehmen, sowie Daten aus dem Netz zum Kunden zu senden. Es handelt sich bei den Basisstationen um Übertragungskomponenten im Netz, die vereinfacht dargestellt, mit einem Funkmodem oder sehr abstrahiert, mit der Basisstation eines Schnurlostelefon vergleichbar sind. Sie beinhalten Steuerlogiken zur Aufteilung der verfügbaren Übertragungskapazitäten auf verschiedene Mobilfunkteilnehmer, wie auch zur Gewährleistung der Dienstgüte, beispielsweise durch die Regelung der Sendeleistung, der Ausrichtung von Antennen und weiterer Qualitätsparameter. Jedoch werden über diese Konfigurationen hinaus in heutigen Zugangsnetzen keine Dienste kreiert oder Daten verändert. Die Mehrzahl der Basisstationen ist im Netz der Telekom bereits über Glasfaserverbindungen an die weiteren Teile des Mobilfunknetzes angebunden.

Der erstmalige Aufbau, die aktuell laufende Netzmodernisierung (SRAN; siehe unten), sowie der weitere Netzausbau mit 5G sind die ressourcenintensivsten Arbeiten in einem Mobilfunknetz. Dies sowohl unter Gesichtspunkten der zu tätigen Infrastruktur-Investitionen (z.B. Infrastruktur Ertüchtigung für weitere/neuen Antennen-Technik), der laufenden Kosten (z.B. Standortmieten, Energie), als auch der Personalaufwände zu Errichtung und Instandhaltung. Dadurch, dass das Zugangsnetz ein Flächen-netz ist, bedeuten jegliche harmonisiert durchzuführende Anpassungen einen hohen zeitlichen und materiellen Aufwand, da die über das gesamte Land verteilt und in unterschiedlichen Bauweisen realisierten Basisstationen betroffen sein können. Arbeiten, wie beispielsweise Netzmodernisierungen, müssen zudem so durchgeführt werden, dass diese ohne Kundenbeeinträchtigungen

durchgeführt werden. Im ungünstigsten Fall müsste zum Beispiel jede der 27.000 Basisstationen mindestens zweimal angefahren werden!

Um sowohl die Geschwindigkeit im Aufbau zu erhöhen, als auch angesichts der enormen Investitionssummen die Abhängigkeit von einzelnen Partnern zu reduzieren, werden in der Regel mehrere Systemlieferanten für das Zugangsnetz über Auswahlverfahren bestimmt.

### Mobilfunkzelle

Der Bereich, den eine Basisstation mit Funkwellen durch eine Mobilfunkantenne abdeckt, wird als Mobilfunkzelle bezeichnet. Mobilfunkzellen nebeneinander kann man sich vereinfacht in hexagonaler Struktur wie in einem Wabenmuster vorstellen. Deren Größe und Reichweite liegt in einer Größenordnung von hundert Metern, bis zu einigen Kilometern im ländlichen Raum. Der Radius einer solchen Zelle hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab: die Sendeleistung der Antenne, die verwendete Frequenz, die Art der Antenne, die Bebauungsstruktur sind wesentliche Einflussfaktoren, jedoch spielen auch die gewünschte Kapazität sowie eine störungsfreie Anordnung der Zellen zueinander eine Rolle. Durch eine geschickte Anordnung und Ausrichtung der Antenne wird die bestmögliche Versorgung sichergestellt. Je nach gewünschter oder erforderlicher Zellgröße kann die Antenne auf einem eigenen Antennenmast, auf Hausdächern, aber auch an Fassaden, in Werbetafeln, etc. angebracht werden. Je höher die Anbringung, umso weiter ist im Grundsatz die Reichweite. Seit einigen Jahren werden in der Regel von einem Antennenstandort aus mehrere Teilzellen versorgt, vorwiegend um höhere Netzkapazitäten zu schaffen. Man spricht dabei von der Sektorisierung einer Zelle.

Unabhängig von der letztlichen Ausdehnung der Mobilfunkzelle, bedient diese stets nur eine kleine Teilmenge aller aktiven Mobilfunkkunden eines Netzbetreibers.

### Frequenzen

Das genutzte Frequenzband bestimmt das Ausbreitungsverhalten der Mobilfunkzelle maßgeblich:

Je höher das genutzte Frequenzband liegt, umso mehr Kapazität steht im Grundsatz zur Verfügung, umso schlechter jedoch ist das Ausbreitungsverhalten. Sehr schnell werden die Funkwellen gestört, geschwächt oder gar nicht mehr empfangen. Bereits Hauswände, insbesondere bei massiven Wänden oder bestimmten Stahlkonstruktionen, stellen hier harte Hindernisse dar. Dies erklärt auch, warum sich das Frequenzspektrum um 3,5 GHz, wie es beispielsweise aktuell in den meisten europäischen, amerikanischen und asiatischen Staaten für 5G zur Versteigerung kommt, für schnelle Datendienste, jedoch nicht für eine flächenhafte Versorgung eignet.

Niedrigere Frequenzbänder (z.B. 900 MHz), die seit der Einführung von GSM genutzt werden, haben an sich gute Reichweiten, auch in Gebäude hinein. Durch die in diesen Bändern nur begrenzt vorhandenen Spektrum-Ressourcen sind diese jedoch nur wenig geeignet, große Datenmenge zu übertragen.

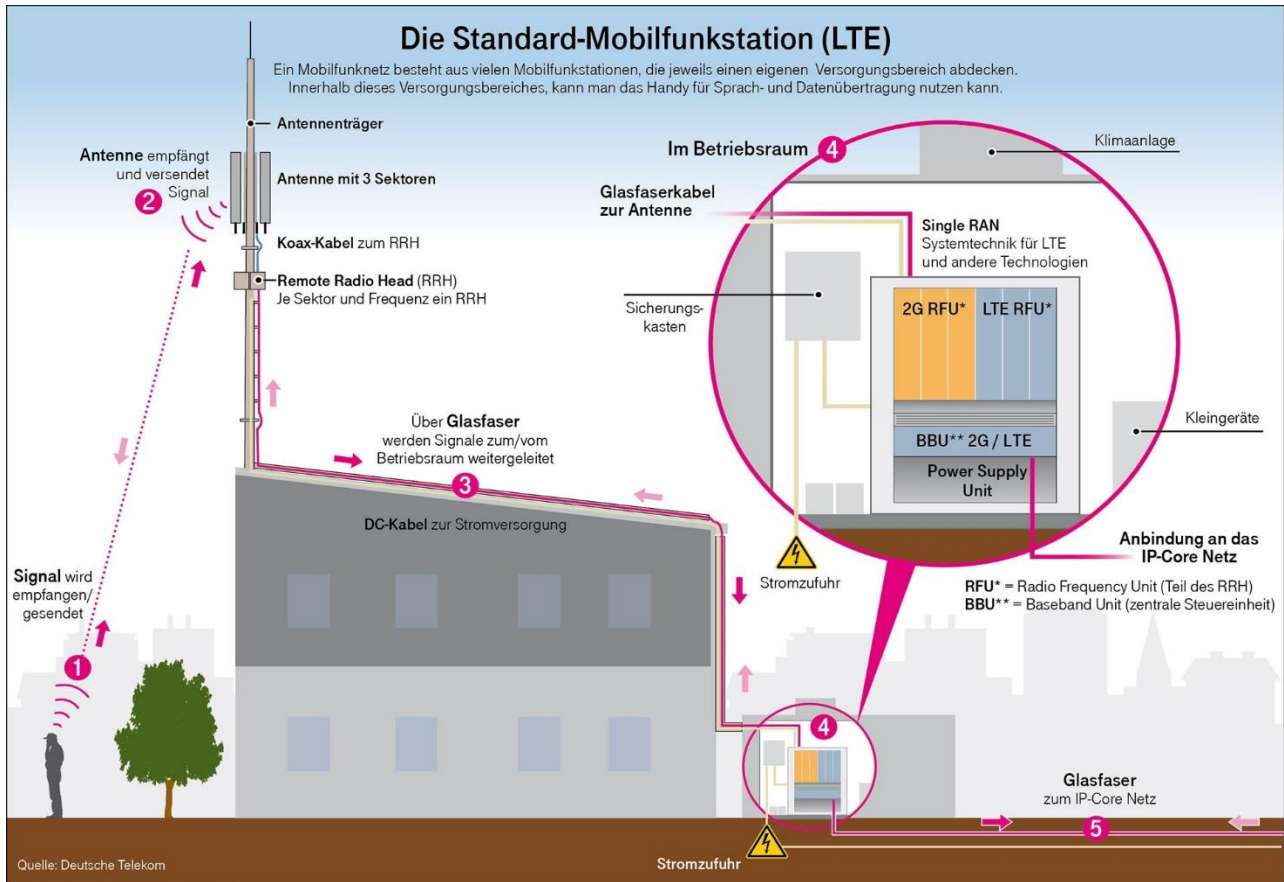
Um nun den Vorteil der hohen Kapazität und Bandbreite zu nutzen, sind die Mobilfunkzellen entsprechend enger zu „weben“. Man spricht hier im Englischen von ‚Small Cells‘, d.h. kleinen Zellen mit einem Radius von wenigen hundert Metern oder sogar darunter. Auch für Gebäudeversorgungen (Industriegebäude, Einkaufszentren, Stadien) werden höhere Frequenzbereiche schrittweise zum Einsatz kommen. Eine größere Anzahl an Mobilfunkzellen geht naturgemäß mit entsprechenden Investitionen einher. Auch stellt die Planung des dichteren Netzes neue Herausforderungen dar, um gegenseitige Störungen der größeren Anzahl an Zellen (‚Interferenzen‘) zu vermeiden. Ist der ideale Standort vom Netzplaner identifiziert, gilt es einen realen Standort zur Anmietung und Errichtung zu finden, genehmigt zu bekommen und letztlich zu bauen, sowie final in Betrieb zu nehmen. Dieser Gesamtvorgang stellt bereits heute für die Mobilfunknetzbetreiber

---

Derzeit durchschnittlich mehr als 2000 zusätzliche Standorte pro Jahr.

---

eine besondere technische und vor allem auch zeitliche Herausforderung dar, um kostenbewusst eine bestmögliche Versorgung in kurzer Zeit sicherzustellen.



## Komponenten einer Basisstation

Die zuvor als Basisstation bezeichnete Komponente ist in der Realität nicht ein einzelnes Gerät, sondern setzt sich aus einzelnen Modulen unterschiedlicher technischer Aufgaben zusammen.

Zunächst wandelt die Antenne ein elektrisches Signal in ein Funksignal um – und umgekehrt. Diese Sende- und Empfangsantennen werden in ihrer Größe – und somit auch Gewicht – durch das genutzte Frequenzspektrum mitbestimmt. Niedrigeres Spektrum korreliert mit größeren Antennen. Während zu Beginn der digitalen Kommunikation jeweils eine Sende- und Empfangsantenne verwendet wurde, sind heute in einem Antennengehäuse (die weißen kleinen Kästen an Antennenmasten) mehrere Einzelantennen verbaut. Aktuell sind bereits 4x4-Antennen, d.h. vier Sende- und vier Empfangseinheiten in einer Baugruppe im Einsatz, wobei erste Lösungen bereits vom Typ 64x64 verfügbar sind. Solch neue Antennenarten werden als „MIMO“ („multiple input, multiple output“), bzw. „massive MIMO“ bezeichnet. Diese neuen Antennen sind keine rein passiven Komponenten mehr, sondern beinhalten als aktive Antennen auch Technik, um beispielsweise den Antennenstrahl zu bündeln und gezielt in Richtung des Kunden zu senden („Beamforming“), und neben der Richtung des Antennensignals auch die Leistung dynamisch im Rahmen der Grenzwerte anzupassen.

Die Basisstation benötigt Teilkomponenten und -funktionalitäten, um den Übergang von der leitungsgebunden Übertragung zur Funkschnittstelle zu leisten. Diese Funktionalitäten können kombiniert in einer Einheit oder auch physikalisch getrennt realisiert werden. Die Funkeinheit („Radio Unit“) inklusive Verstärkern und Filtern dient insbesondere der bidirektionalen Umsetzung der digitalen Signale in die analoge elektromagnetische Welle. Davon logisch getrennt und im Grundsatz auch physikalisch

trennbar existiert die Basisbandeinheit („Base Band Unit“), welche die digitale Signalverarbeitung vornimmt.

Ein weiterer Fachbegriff ist „Single RAN“ (S-RAN). Während bislang für jede Mobilfunkgeneration separate Sende- und Empfangseinrichtungen im Zugangnetz erforderlich waren, bietet diese Technik die Kombination mehrerer Generationen (GSM, UMTS, LTE) in übergreifend genutzten Komponenten. Das ist eine Voraussetzung für die flexible Nutzung des zur Verfügungen stehenden Spektrums in Bezug auf die jeweilige Technologie und unterstützt beispielsweise heute die Migration Richtung LTE, sowie zukünftig auf 5G. Im Rahmen der S-RAN-Modernisierung werden bisherige Basisstationen gegen neue, zukunftssichere Netzelemente getauscht.

### Änderungen bei der Einführung von 5G

Die erste Phase der Einführung von 5G-Netzen zeichnet sich durch den Einsatz eines neuen, als „New Radio“ (NR) bezeichneten, effizienteren Standards für die Funkübertragung aus. Hierfür sind Änderungen an den Basisstationen des Netzes erforderlich, um diesen neuen Standard zu unterstützen.

In dieser Phase wird das neue 5G Netz als eine Erweiterung des bestehenden LTE-Netzes aufgebaut. Die 5G Basisstationen werden hierzu an das LTE-Kernnetz, welche um 5G Funktionalitäten erweitert wird, angebunden. Somit funktioniert das LTE-Netz sozusagen als „Ankernetz“ für das neue 5G. Überall dort, wo in dieser Phase noch keine durchgehende 5G Versorgung existiert, wird der Kunde automatisch auf LTE zurückgeleitet. Diese Art der Implementation wird als Non Stand Alone (NSA) bezeichnet.

Da 5G zunächst auch auf neuen Frequenzen genutzt wird, werden zudem neue Antennen an den bestehenden Basisstationen benötigt, die dieses Frequenzband, welches im Bereich von rund 3,5 GHz liegen wird, unterstützen. Durch die voraussichtlich zur Verfügung stehende Menge (Bandbreite) des neuen Spektrums für das Mobilfunknetz, erhöht sich die Kapazität des Zugangnetzes. In Kombination mit speziellen Antennentechniken, mitunter auch in der Kombination mehrerer Frequenzbänder, können sehr hohe Bandbreiten, d.h. wahrgenommene Geschwindigkeiten erreicht werden.

Wie zuvor bereits erläutert, bedeutet die Nutzung von höheren Frequenzbereichen und Anforderungen an mehr Kapazität (größere Datenmengen, hohe Geschwindigkeiten) auch eine Verdichtung des Netzes. Für den 5G-Ausbau werden daher, unabhängig von der Diskussion einer flächendeckenden Versorgung, deutlich mehr geeignete und verfügbare Antennenstandorten benötigt.

Letztlich wird auch das zuvor genannte Thema der Cloudifizierung Einfluss auf das Design der Komponenten des Zugangnetzes haben, d.h. eine weitere Öffnung der Schnittstellen, eine weitere Entkopplung von Hard-/Software werden schrittweise in den kommenden Jahren auch in diesem bislang eher proprietären Teil des Netzes zur Anwendung kommen.

### Das Kernnetz

Im Unterschied zu den vergleichbaren Teilen der früheren Generationen von Mobilfunknetzen ist seit LTE das Kernnetz vollständig auf eine sogenannte paketvermittelte, IP-basierte Übertragung ausgerichtet. In einem GSM-Netz – wie auch in einem ISDN-Netz – wurde beispielsweise Sprache zwar digital, jedoch durch dedizierte Verbindung zwischen zwei Kunden, übertragen. Für ältere Mobilfunkgeräte besteht diese Möglichkeit netzseitig weiterhin, da mit der Einführung von LTE die Möglichkeit der paketvermittelten Sprachübertragung („VoLTE“ (Voice over LTE) geschaffen wurde.

Die Umstellung auf moderne, IP-basierte Netzarchitekturen ist auch eine Voraussetzung für die effiziente Bereitstellung neuer Dienste. Das LTE-Kernnetz zeichnet sich zudem durch eine deutlich flachere Struktur aus, was bereits deutliche Vorteile bspw. hinsichtlich Latenz gegenüber den Vorgängernetzen bietet.

Hinsichtlich der Investitionen und Aufwände sind die Komponenten des Kernnetzes durch ihre Komplexität zwar deutlich teurer als beispielsweise eine Basisstation. Durch ihr zentrales Design sind diese in der Summe aufgrund der geringen Stückzahlen niedriger, als für das Zugangsnetz.

---

Kernnetz: ca. 15-20 %  
der Gesamtinvestitionen  
und Kosten.

---

Durch die zentrale Rolle des Kernnetzes haben jegliche Störungen, Änderungen oder Modernisierungen eine signifikant höhere Trag- und Reichweite bzgl. möglicher Implikationen und erfordern daher höchste Güte und Aufmerksamkeit in Planung, Umsetzung und Betrieb, einschließlich eines redundanten Aufbaus von Schlüsselkomponenten.

Wesentliche Funktionalitäten eines heutigen Kernnetzes sind:

### Einheit für Mobilitätsmanagement

Der als ‚Mobility Management Entity‘ (MME) bezeichnete Kontrollknoten in heutigen LTE-Mobilfunknetzen ist verantwortlich für die Authentifizierung des Benutzers und steuert das Verhalten sowohl im Ruhemodus („idle“), als auch während einer bestehenden Verbindung („connected“), einschließlich der Mobilität des Teilnehmers. Diese Funktion steht für eigene Kunden eines Netzes als auch für sogenannte Roaming-Teilnehmer zur Verfügung. Neben dem Management der Interaktion mit Netzen der zweiten (GSM) und dritten (UMTS) Generation werden auch verschiedene Sicherheitsmechanismen des Netzes über diese Funktion des Kernnetzes gesteuert.

### Gateway Einheiten

Die Serving Gateway (SGW) Einheit verantwortet die Weiterleitung von Datenpaketen der Kunden innerhalb des Netzes, wie auch zu den Teilnetzen vorhergehender Generationen. Das PDN Gateway (PGW) wiederum steuert den Transfer von Daten in externe Datennetze, d.h. zu anderen Mobilfunk- und Festnetzen. Es handelt sich um verschiedene Funktionalitäten, die jedoch in einer Einheit realisiert werden können.

### Zentrale Datenbank

Das Kernnetz verfügt über eine zentrale Datenbank, den „Home Subscriber Server“ (HSS), der die kundenbezogenen Informationen vorhält. Es handelt sich hier um keine Angaben, wie Namen und Adressen, sondern jene technische Information zu der mit der SIM-Karte verknüpften Identität des Kunden. Angaben sind neben einer eigentlichen ID-Nummer das zu dieser Identität gehörende Profil, d.h. zum Beispiel welche Dienste der Kunde gebucht hat und nutzen kann. Diese Angaben spielen die wesentliche Rolle bei der Anmeldung im Netz, der Mobilität im Netz sowie der Nutzung von Kommunikationsdiensten, wie beispielsweise Anrufen.

### Weitere zentrale Netzkomponenten

Ergänzt werden die zuvor genannten Komponenten um weitere Netzfunktionen mit speziellen Aufgaben bspw. zur Absicherung des Netzes („Firewalls“), zur gesicherten Kommunikation mit Endgeräten, die sich über WLAN-Netze verbinden und weiteren mehr.

Ein größeres Teilsystem des zentralen Netzes ist das „IP Multimedia Subsystem“ (IMS), welches in der Regel eigenständig und aus mehreren Teilmodulen zusammengesetzt realisiert wird. Dieses stellt unter anderem IP-basierte Sprachdienste, wie VoLTE bereit.

### Weiterentwicklungen in Richtung 5G

Wie erläutert, bedeutet die Einführung von 5G zunächst die Einführung neuer Basisstationen im Zugangsnetz, die den Funkstandard „5G - New Radio“ unterstützen. Zunächst wird dieses neue 5G-Funknetz mit dem bestehenden Kernnetz der heutigen LTE-Netze verbunden.



Das speziell auf 5G zugeschnittene neue Kernnetz („5G-Core“) befindet sich noch in der abschließenden Entwicklung und wird danach in einem Folgeschritt im Netz eingeführt. Erst mit dem neuen Kernnetz wird die Vielzahl neuer Leistungsmerkmale vollumfänglich zur Verfügung gestellt werden können. Wie auch in der bisherigen Evolution der Mobilfunkdienste erfolgt die Entwicklung und Bereitstellung schrittweise über sogenannte 3GPP-Releases. Für die Einführung von 5G sind insbesondere das nun verabschiedete Release 15 sowie das aktuell in der Spezifikation befindliche Release 16 relevant. (Anmerkung: Kleinere Release-Nummern sind LTE und früheren Standards zuzuordnen.)

### Das Transportnetz

Dieser Bereich des Netzes ist für den ordnungsgemäßen Transfer der Daten zwischen den einzelnen Netzelementen verantwortlich. Das Transportnetz selber ist keine Besonderheit eines Mobilfunknetzes, da es vorwiegend die Aufgabe des transparenten Transfers der verschlüsselten Nutz- und Signalisierungsdaten zwischen dem Zugangs- und dem Kernnetz hat. Z.B. hat jede einzelne LTE Basisstation eine dedizierte mit IPsec Verschlüsselte Verbindung zum Kernnetz.

Diese Aufgabe besteht in der Aggregation der Daten aus den einzelnen Basisstationen sowie dem Transfer in das Kernnetz – und auf umgekehrtem Weg. Wie auch beim Zugangsnetz erfolgt keine Bearbeitung der Daten. Aktive Komponenten in diesem Teil des Netzes stellen sicher, dass Daten korrekt weitergeleitet werden – auch über große Distanzen. Es handelt sich hier um Netzwerk-Standardkomponenten, wie Switches und Router. Der grundsätzliche Aufbau folgt einer sternförmigen, baumartigen Struktur (aus mehreren verschiedenen Topologien zusammengesetzt).

Auch im Transportnetz existieren Redundanzkonzepte, so dass beispielsweise beim Ausfall einer Teilstrecke Verbindungen automatisiert innerhalb des Netzes umgeleitet werden. Die eigentlichen Transportstrecken werden im Wesentlichen über Glasfaserverbindungen realisiert. In Einzelfällen werden auch Richtfunkstrecken eingesetzt, eine besondere Art einer Punkt-zu-Punkt Verbindung über eine Funkstrecke in dediziertem Frequenzspektrum.

## Die Betriebs- und Wartungszentrale, das Netzkontrollzentrum

### Kernaufgaben

Die Betriebs- und Wartungszentrale eines Mobilfunkbetreibers („Operation and Maintenance Center“ (OMC)), auch Netzkontrollzentrum genannt, stellt den ordnungsgemäßen, störungsfreien und sicheren Betrieb eines Telekommunikationsnetzes 24 Stunden am Tag und 7 Tage die Woche sicher. Hierzu zählen beispielsweise die grundsätzliche Aufsicht über das Netz hinsichtlich Leistungsdaten (Verkehrsmengen und -ströme, Funktionsfähigkeit und Auslastung der Netzelemente), die kontinuierliche Überwachung auf mögliche Probleme sowie die Reaktion auf Störungen und Ausfälle. Auch die Anpassung der Netzkonfiguration beispielsweise zur Optimierung erfolgt hier über das Einspielen neuer Softwareversionen und Netzparameter in die jeweiligen Netzkomponenten.

Es existieren Verbindungen zu allen wesentlichen Netzelementen des eigentlichen Mobilfunknetzes, um für Überwachungs- und Optimierungszwecke Messdaten zu sammeln und im Gegenzug im Bedarfsfall Konfigurationsänderungen vorzunehmen. Hierbei kommen bereits heute und zukünftig verstärkt Möglichkeiten der Automatisierung von Abläufen zum Einsatz.

Während das Kernnetz wesentlich für die eigentliche Funktionalität des Netzes und die Kommunikationsbeziehung ist, so ist das Netzkontrollzentrum maßgeblich für den in jeder Hinsicht einwandfreien Ende-zu-Ende Betrieb. Es handelt sich um einen sicherheitskritischen Bereich im positiven Sinne, da hierüber der Netzbetreiber die Kontroll- und Konfigurationshoheit über die Komponenten der verschiedenen Lieferanten und Industriepartner hergestellt wird.

### Eigene IT-Komponenten

Unterstützt werden die Netzkontrollzentren durch Computerprogramme, die sogenannten „Operation Support Systems“ (OSS). In der Regel existiert eine Vielzahl solcher Systeme für die jeweiligen Teilaufgaben. Es werden durch den Hersteller unmittelbar bereitgestellte, proprietäre Konfigurationssysteme oder -schnittstellen mit Systemen von IT-Partnern kombiniert, die eine übergreifende und herstellerunabhängige Überwachung und Steuerung gewährleisten. In der OSS-Domäne treffen Netzwerkwissen und IT-Fähigkeiten unmittelbar aufeinander.

### Schnittstelle zu den geschäftsprozessunterstützenden Systemen

Als „Business Support Systems“ (BSS) werden jene IT-Bereiche eines Netzbetreibers bezeichnet, die für Abrechnung, Kundengewinnung und -betreuung, etc. eingesetzt werden. Schnittstellen zwischen den Netzfunktionen und dem BSS sind erforderlich, um beispielsweise neue Kunden einzurichten und dem Netz inklusive gebuchter Leistungsmerkmale bekannt zu machen, als auch Abrechnungsdaten auf dem umgekehrten Weg bereitzustellen.

## Endgeräte

### Endgerätetypen

Der Beginn der mobilen Kommunikation war noch durch festeingebaute Autotelefone, dann portable und zunehmend kleinere Mobiltelefone bestimmt. Erste Endgeräte für eine stärker dominierte Datenkommunikation wurden ab ca. 1996 durch Unternehmen wie Nokia („Communicator“), HTC („XDA“/„MDA“) bereitgestellt. Die iPhones bereiteten ab 1997 den Durchbruch für den Massenmarkt der Smartphones; ergänzt um das konkurrierende Betriebssystem Android, heute nicht nur Basis der meisten Alternativgeräte, sondern auch im Einsatz in Fahrzeugen und vernetzten Geräten.

Auch zur kommunikativen Anbindung der eigenen Wohnung oder von Geschäftsräumen kommt Funktechnik zum Einsatz. Spezielle Router beim Kunden stellen stationäre Sprach- und Datendienste sicher. Teilweise erfolgt auch eine hybride Kombination von Festnetz und Mobilfunk, um einen höheren Datendurchsatz zu erreichen. Der Einsatz von neuen Frequenzbändern wird in diesem Anwendungsfall weitere Möglichkeiten schaffen, in dem insbesondere die letzten (hundert) Meter einer Verbindungsstrecke zwischen Netz und Kunden durch Funkstrecken realisiert werden („Fixed Wireless Access“ (FWA)). Da in diesen Anwendungsbereichen jedoch die Mobilität keine nennenswerte Rolle spielt, respektive hinter dem Zugangsgesamt durch WLAN geleistet wird, handelt es sich um einen Grenzfall zwischen mobiler und Festnetz gebundener Kommunikation.

Abschließend sei noch die wachsende Vielzahl und Vielfalt von vernetzten Geräten und Sensoren genannt. („Maschine zu Maschine“ (M2M), Internet der Dinge („Internet of Things“ (IoT))).

### Endgeräteanwendungen und Sicherheit

Die eigentlichen Telekommunikationsleistungen, wie Telefonie/Sprache und Datenübertragung, erfolgen im Netz hochgradig gesichert (Redundanz, Verschlüsselung).

Bei der Diskussion um sicherheitsrelevante Fragen von Telekommunikationsnetzen sollte insbesondere das Risiko nicht vernachlässigt werden, dass von Applikationen auf den Endgeräten ausgehen kann. Solche Anwendungen von Endgeräteherstellern und Drittanbietern gehören entweder zur Grundausstattung des Geräts (Betriebssystem, vorinstallierte Anwendungen) oder werden durch den Benutzer eigenständig installiert. Zudem existiert noch das Risiko von expliziter Schadsoftware auf mobilen Datengeräten.

Bekanntermaßen sammeln bestimmte Anwendungen auf Smartphones – neben der Bearbeitung der eigentlichen Applikationsdaten (z.B. Text- und Sprachnachrichten) – Benutzerdaten und können diese

eigenständig, im Hintergrund und vom Netzbetreiber ungesteuert an zentrale Server weiterleiten. Siehe auch Diskussionen zu den „Over-the-Top“-Diensten, wie Facebook, Google, etc.

### Sicherheit im Mobilfunknetz

Für ein ganzheitliches Sicherheitskonzept müssen alle Komponenten, Schnittstellen und Kommunikationsbeziehungen im Mobilfunknetz betrachtet werden. Es folgt ein kurzer Abriss.

#### Luftschnittstelle – Kommunikation zwischen Endgerät und Basisstation

Die wesentlichen drei Sicherheitsmaßnahmen in diesem Netzbereich sind:

- Vertrauliche Kommunikation durch Verschlüsselung.
- Gegenseitige Authentifizierung von mobilem Endgerät und Basisstation.
- Sichere Verwahrung kryptographischen Schlüsselmaterials in der SIM-Karte und im Kernnetz.

Das mobile Endgerät (z.B. Smartphone) baut eine sichere Kommunikationsverbindung über die Luftschnittstelle mit der Basisstation auf. Dazu wird kryptographisches Schlüsselmaterial, das auf der SIM-Karte gespeichert ist, verwendet. Nur die SIM-Karte und das Kernnetz kennen dieses Schlüsselmaterial. Somit ist es möglich, eine vertrauliche Kommunikation zu etablieren und die jeweiligen Komponenten – also den Kunden (repräsentiert durch die SIM-Karte) und das Netz (repräsentiert durch die Basisstation) gegenseitig zu authentifizieren. Somit wissen beide, dass sie mit der Komponente sprechen, die sie erwarten. Unbefugte Dritte können sich weder als eine dieser Komponenten ausgeben, noch können sie die Kommunikation mitlesen.

- Pseudonymisierung der Benutzeridentität durch Verwendung kurzlebiger Identitäten.

Für die Kommunikation werden technische Identitäten benötigt. Damit durch z.B. Überwachung ein Dritter kein Bewegungsprofil eines Benutzers des Mobilfunknetzes erzeugen kann, werden diese Identitäten regelmäßig automatisiert und für den Anwender nicht wahrnehmbar ausgetauscht. Ein Rückschluss auf die Vorherige, oder Nächste ist nicht möglich und damit auch kein ungewolltes Tracking von Benutzern.

#### Transportnetz – Kommunikation zwischen Basisstation und Kernnetz

Hier sind zwei wesentliche Sicherheitsmaßnahmen als relevant zu nennen.

- Vertrauliche Kommunikation durch Verschlüsselung.
- Gegenseitige Authentifizierung von Basisstation und Kernnetz.

Der weitere Verlauf der Kommunikation von der Basisstation bis ins zentrale Mobilfunk-Core-Netzwerk wird ebenfalls durch Verschlüsselung abgesichert. Damit wird auch in diesem Netzteil eine vertrauliche Kommunikationsverbindung hergestellt. Zudem werden damit alle Basisstationen authentifiziert, um sicherzugehen, dass nur die Basisstationen, die dem Mobilfunknetzbetreiber gehören, mit seinem zugehörigen Kernnetz kommunizieren können.

#### Isolation von Kommunikationsbeziehungen

In einem Mobilfunknetz gibt es unterschiedliche Arten von Kommunikationsbeziehungen. Die strikte Trennung dieser Kommunikationsbeziehungen stellt eine weitere wichtige Sicherheitsmaßnahme dar: Keine ungewollte Vermengung und damit Einflussnahme auf die Netzsteuerung durch beispielsweise von Nutzern übertragenen Daten. Gleiches gilt für die verschiedenen Verkehrsarten innerhalb des Mobilfunks. Der Transport und die Verarbeitung von Kundendaten, Signalisierungsdaten und Kontrolldaten erfolgt jeweils separiert.

### Zugriffskontrolle (= Autorisierung) bei der Nutzung von Diensten (z.B. Telefonie, SMS, Internet-Zugang)

Durch zwei Grundprinzipien wird sichergestellt, dass keine unbefugte Nutzung von Diensten eines Mobilfunknetzes erfolgen kann.

- Das Kernnetz kennt die vom Kunden gebuchten Dienste und lässt individuell nur die Benutzung von diesen zu.
- Gleiches gilt für individuelle Netzwerkzugänge, z.B. für dedizierte Zugänge zu Firmennetzen für deren Mitarbeiter.

Welche Dienste ein Kunde im Mobilfunknetz nutzen kann, ist in seinem Profil im Kernnetz hinterlegt. Die Komponenten im Kernnetz tragen dafür Sorge, dass nur Kunden mit der entsprechenden Berechtigung die jeweiligen Dienste nutzen können. Gleiches gilt für Netze geschlossener Benutzergruppen, wie beispielsweise innerhalb eines Unternehmensnetzwerks. Die Kundenprofile werden durch die zuvor beschriebenen BSS und OSS Systeme beeinflusst und liegen ausschließlich im Zugriff des Netzbetreibers.

### Generelle Sicherheitsbetrachtungen

Neben den oben gelisteten mobilfunkspezifischen Sicherheitsmaßnahmen werden in einem Mobilfunknetz auch Sicherheitsmaßnahmen umgesetzt, die generell in jedem Kommunikationsnetzwerk Anwendung finden. Eine Auswahl wichtiger Maßnahmen aus dieser Gattung umfasst:

- Sichere Konfiguration der Komponenten, nicht benötigte sowie unsichere Funktionalität werden deaktiviert
- Voreingestellte, vom Hersteller vergebene Standardpasswörter, werden verändert
- Nur als sicher eingestufte kryptographische Verfahren werden eingesetzt
- Regelmäßiges Einspielen von Softwareupdates zur Beseitigung ggf. neu erkannter Schwachstellen
- Umsetzen einer sicheren Netzwerkarchitektur, die durch mehrere ineinandergreifende Sicherheitskonzepte, wie Isolation von Netzen und Einzelfunktionen zum Beispiel mittels Firewalls, Filterung von Datenverkehren und Steuerungsbefehlen im Netz zur Beschränkung auf das Erlaubte, gekennzeichnet ist
- Physischer Schutz durch abgeschlossene Rechenzentren mit Zutrittskontrolle
- Redundanzkonzepte zur Erhaltung der Funktionalität bei Ausfall einzelner Komponenten
- Einsatz Sicherheitsüberprüfung Personals in kritischen Bereichen wie Netzsteuerung und Betrieb

### Sichere Einführung neuer Technologie und sicherer Betrieb

Einführungsprojekte, die neue Technologie und Funktionalität im Mobilfunknetz einbringen, werden in all ihren Phasen von der Idee, über die Architektur, Herstellerwahl, Konfiguration, Abnahmetests und Inbetriebnahme von Sicherheitsexperten begleitet. Die Sicherheitsexperten tragen dafür Sorge, dass in jeder dieser Projektphasen die Sicherheit adäquat berücksichtigt und Sicherheitsmaßnahmen umgesetzt werden. Die Deutsche Telekom verwendet dazu das hausinterne „Privacy and Security Assessment“ (PSA)-Verfahren, welches diese Abläufe beschreibt und Security-Experten zu teilt. Ein qualifizierter Katalog an Sicherheitsmaßnahmen, Konfigurationsvorgaben und Testmethoden gewährleistet dabei ein hohes Sicherheitsniveau, das regelmäßig von Herstellern und Zulieferern aus der ganzen Welt als eines der strengsten Regelwerke bezeichnet wird.

Ein fester Bestandteil der Einführungsprojekte sind Abnahmetests. Hierbei werden Sicherheitstests durchgeführt, um nachzuweisen, dass keine unerwünschte Funktionalität, wie z.B. das falsche Verarbeiten nicht-standardkonformer Nachrichten in den eingesetzten Teilsystemen vorhanden ist.

Die Komponenten des Mobilfunknetzes werden nach dem Prinzip der minimalen Rechte betrieben. Mitarbeiter und IT-Systeme haben lediglich die Zugriffsrechte, die sie zur Ausübung ihrer Tätigkeiten unbedingt benötigen, unterschiedliche Tätigkeiten müssen dadurch von unterschiedlichen Rollen ausgeführt werden. Auf diese Weise wird erreicht, dass versehentliches oder vorsätzliches Fehlverhalten nur zum minimal möglichen Schaden führen kann.

Zur Laufzeit werden Monitoring-Daten gesammelt und im „Cyber Defence Center“ (CDC) korreliert und aufbereitet, um Angriffe, Anomalien und Fehlverhalten von Komponenten im Netz zu erkennen, um daraufhin zügig Maßnahmen zur Beseitigung der Ursache einzuleiten. Das Cyber defense Center ist ebenso wie das Betriebscenter des Mobilfunknetzes an 365 Tagen im Jahr rund um die Uhr mit Sicherheitsexperten besetzt.

### Fernwartung und Unterstützung durch Hersteller

Wenn es einmal erforderlich ist, dass sich ein Hersteller von Komponenten im Netz zwecks Wartungsarbeiten auf einzelne Komponenten aus der Ferne (z.B. aus dem Netz des Herstellers) aufschaltet, wird dieser Vorgang anlassbezogen und nur explizit für einen bestimmten Benutzerkreis sowie nur vorübergehend, also zeitlich begrenzt, über spezielle, eingeschränkte, verschlüsselte und authentifizierte Zugangswege freigeschaltet. Jeder Arbeitsschritt wird dabei vom Netzbetreiber überwacht, um sicherzustellen, dass die Aktivitäten im Sinne des Netzbetreibers sind.

### Standardisierung der Mobilfunksicherheit

Neben der Technik und der Funkübertragung werden auch die Sicherheitsmaßnahmen und -Verfahren in international agierenden Standardisierungsgremien definiert. Insbesondere 3GPP und GSMA spielen hier eine große Rolle. Dort festgelegte Standards werden in der Entwicklung und Konfiguration der Komponenten im Mobilfunknetz, sowie den Endgeräten umgesetzt, in vertraglichen Vereinbarungen zwischen Mobilfunknetzbetreibern gegenseitig zugesichert und von weiteren Akteuren der Mobilfunkkommunikation umgesetzt. Dies ist entscheidend für die Bereitstellung sicherer Mobilfunkkommunikation über die Grenzen eines einzelnen Mobilfunknetzbetreibers hinweg.

## Resümee

Das Mobilfunknetz ist ein komplexes Gebilde, das ein hohes Maß an Sorgfalt in der Planung, der Errichtung und dem Betrieb erfordert. Das klar strukturierte und standardisierte Design der Architektur bildet die Grundlage für die koordinierte und kontinuierliche Weiterentwicklung sowie den stabilen Betrieb des Mobilfunknetzes. Folgende Punkte seien abschließend betont:

- Die heutigen Telekommunikationsnetze reflektieren die Entwicklungs- und Aufbauleistungen der vergangenen Dekaden inklusive geleisteter kontinuierlicher Investitionen. Ineinander verzahnte Aktualisierungszyklen führen letztlich zu einem regulären Austausch von Netzkomponenten in einem Zeitraum von 5 - 10 Jahren. Die Einführung von 5G in den kommenden Jahren wird einen weiteren signifikanten Fortschrittshub, einhergehend mit massiven Netzinvestitionen darstellen.
- Insbesondere das Zugangsnetz ist für die Qualitätserfahrung der Kunden äußerst wichtig. Aufgrund seiner klar definierten und begrenzten Leistungsmerkmale sowie seiner geografischen Verteilung ist es hinsichtlich Tragweite von Ausfällen als eher unkritisch und beherrscht im Sinne der Sicherheit einzuschätzen. Analog ist das Transportnetz einzuschätzen.

- Dem Kernnetz hingegen kommt durch die hier gesteuerten Dienste und Netzfunktionen, sowie die zentrale, exponierte Anordnung eine sehr relevante und durchaus kritische Rolle zu. Ebenso das Netzkontrollzentrum hat als netz- und herstellerübergreifende Überwachungsinstanz eine hervorgehobene Rolle und Bedeutung.
- Sicherheitsaspekte sind von herausgehobener und weiter zunehmender Bedeutung. Die logisch hierarchische Struktur des Netzes und der Kontrollinstanzen, globale Standards sowie umfangreiche Funktions- und Sicherheitsüberprüfung sind hier wesentliche Bausteine, um Verlässlichkeit und Transparenz zu erreichen. Für eine ganzheitliche Betrachtung müssen auch die Endgeräte auf Kundenseite sowie die hierüber genutzten Anwendungen Dritter Teil der Betrachtung sein.

## Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung	Erläuterung
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Weltweites Kooperationsprojekt zur Standardisierung seit UMTS/3G.
AR/VR	Augmented Reality / Virtual Reality	Augmented: Wahrnehmung der realen Umgebung (beispielsweise durch Datenbrillen), angereichert um weitere eingeblendete Informationen. Virtual: Projektion künstlicher Umgebungen.
BBU	Base Band Unit	Teil der Basisstation im Zugangsnetz.
BSS	Business Support Systems	Geschäftsprozess-unterstützende IT-Systeme.
CN	Core Network	Kernnetz
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Weitere Steigerung der Datenübertragungsgeschwindigkeit auf dem Weg zum UMTS-Netzes.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Europäische Standardisierungsorganisation. Wegbereiter des GSM-Standards.
FWA	Fixed Wireless Access	Funkgebundene Anbindung eines Haushalts an das Netz
GHz	Giga Hertz	Hertz = Messgröße der Frequenz. 1 GHz = 1 Milliarde Schwingungen pro Sekunde.
GPRS	General Packet Radio System	Erweiterung des 2G-Netzes um erste Datenübertragungsmöglichkeiten.
GSM	Global System for Mobile Communications	Erster globaler Standard für digitale Mobilfunknetze, auch als 2G bezeichnet.
GSMA	GSM Association	Mobilfunk-Branchenverband
HSS	Home Subscriber Server	Teil des Kernnetzes; Datenbank.
IoT	Internet of Things	Bezeichnung für das Ökosystem der vernetzten Dinge, inkl. Geräten, Sensoren, etc.
IP	Internet Protocol	Netzwerkprotokoll in Computernetzen. Grundlage des Internets.
IPsec	Internet Protocol Security	Ein Verschlüsselungsprotokoll welche bei IP Verbindung zum Einsatz kommt
ISDN	Integrated Services Digital Network	Internationaler Standard für ein digitales Festnetz. Bestimmend in Deutschland vor Einführung der IP-basierten Netze.
ITU	International Telecommunication Union	Einrichtung der UN zu technischen Aspekten der Telekommunikation. Richtet auch die „World Radio Conference“ (WRC) aus, die sich u.a. mit Festlegungen zur globalen Nutzung der Frequenzbänder befasst.
LAN	Local Area Network	Lokales Netzwerk zu Hause, in einem Betrieb, ...
LTE	Long Term Evolution	Mobilfunknetz der 4. Generation.
M2M	Machine to Machine	Kommunikation zwischen vernetzten Geräten.

MHz	Mega Hertz	Hertz = Messgröße der Frequenz. 1 MHz = 1 Millionen Schwingungen pro Sekunde.
MIMO	multiple input, multiple output	Antennentechnik, die mehrere Sende und Empfangsantennen in einer Einheit kombiniert.
MME	Mobility Management Entity	Teil des Kernnetzes.
NFV	Network Function Virtualization	Entkopplung von Hardware und Software.
NR	New Radio	Neuer Übertragungsstandard der Funkschnittstelle im 5G-Netz.
NSA	Non Stand Alone	Die initiale 5G Einführungsarchitektur für das LTE-Netz als Ankernetz für die im Aufbau befindliche 5G Netz fungiert.
OMC	Operation and Maintenance Center	Betriebs- und Wartungszentrale / Netzkontrollzentrum eines Mobilfunkbetreibers.
OSS	Operation Support Systems	Software im Netzkontrollzentrum.
OTT	Over the Top	Übermittlung von Sprach-, Video-, Daten-Inhalten, ohne direkte Steuerung durch den Internet-/Telekommunikationsanbieter. Beispiel sind Nachrichten-/Messenger-Dienste (WhatsApp, Facebook, iMessage, etc.).
PDN	Packet Data Network	Teil des Kernnetzes.
PGW	Packet Data Network Gateway	Teil des Kernnetzes.
RAN	Radio Access Network	Das funkbasierte Zugangsnetz.
RU	Radio Unit	Teil der Basisstation im Zugangsnetz.
SGW	Serving Gateway	Teil des Kernnetzes.
SIM	Subscriber Identity Modul	Chipkarte zur Identifikation im Mobilfunknetz.
SMS	Short Message Service	Kurznachrichtendienst für den Versand/Empfang von Texten im Mobilfunknetz.
S-RAN	Single Radio Access Network	Netzelement im Zugangsnetz zum Betrieb mehrerer Mobilfunkgeneration in einer Einheit.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Mobilfunknetz der 3. Generation
VoLTE	Voice over LTE	Digitalisierte, IP-basierte Sprachübertragung.
WLAN	Wireless Local Area Network	Privates, öffentliches oder geschäftlich genutztes Funknetz, unlizenzierendes Spektrum nutzend.