



Im Inneren einer Beamforming-Antenne befindet sich ein Array aus bis zu 64 Dipolen, welche die Leistung in gerichteten Spots abstrahlen.

Die Anker des Mobilfunks

Für die Netzabdeckung beim Mobilfunk sorgen die Basisstationen, die oft an ihren hohen Antennenmasten zu erkennen sind.

Michael Vogel

Für viele Menschen ist es heute selbstverständlich, unterwegs ein Video zu streamen oder sich mit der Navigations-App zu orientieren. Die notwendige Netzabdeckung entsteht durch Mobilfunkbasisstationen in unterschiedlich großen Abständen. Ihre Bauart und technische Ausstattung können unterschiedlich ausfallen. Neben den Antennengehäusen befinden sich am Mast Radiomodule, in denen Sendeempfänger, Endverstärker und Spannungsversorgung stecken. Eine Glasfaserleitung verbindet sie mit dem Betriebsraum, der die Systemtechnik, Stromversorgung und Anbindung ans Breitbandnetz beherbergt (**Abb. 1**).

Um eine gute Qualität des Netzes zu garantieren, dürfen die Abstände zwischen den Mobilfunkmasten nicht zu groß sein. Sie ergeben sich aus regulatorischen Vorgaben sowie geografischen und baulichen Gegebenheiten, aber auch aus dem Mobilfunkstandard, den die Station bereitstellen soll. In Deutschland gibt es derzeit die Standards GSM, LTE und 5G; UMTS ist weitgehend

abgeschaltet. Da jede Basisstation zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine maximale Datenmenge übertragen kann, bedient sie ein begrenztes Versorgungsgebiet – die Funkzelle. Ihr typischer Durchmesser beträgt in Städten etwa 200 Meter, auf dem Land einige Kilometer. Ende 2020 gab es in der Bundesrepublik etwa 224 000 Mobilfunkbasisstationen.

Die Standards GSM, LTE und 5G nutzen mit Unterbrechungen Frequenzen zwischen etwa 700 MHz und 2,7 GHz; für 5G kommen noch 3,4 bis 3,7 GHz hinzu. Alle Mobilfunkgesellschaften haben Bänder mit einer typischen Breite von 5 MHz erworben, im oberen Frequenzbereich auch 10 MHz. Nicht jede Basisstation bedient alle Frequenzen: Höhere werden vor allem in der Stadt eingesetzt, weil sie die größeren Nutzer- und Datenkapazitäten ermöglichen, die dort anfallen. Andernorts dienen Frequenzen um 1,8 GHz dazu, Steuerungssignale für den 5G-Betrieb zu übertragen.

Typisch für Basisstationen ist eine kreisförmige, äquidistante Anordnung

von drei Antennen auf einer Höhe: Sie legen die Hauptabstrahlrichtungen fest, jeweils um 120° versetzt. Eine elektronisch gesteuerte Phasenverschiebung neigt die Antennenkeulen um einige Grad nach unten, um den Boden besser abzudecken. Dennoch erreicht die fast horizontal liegende Hauptkeule die unmittelbare Umgebung nicht; das gelingt mit den Nebenkeulen der Dipolabstrahlung. Falls in der Funkzelle eine andere Abdeckung nötig wird, lässt sich der Neigungswinkel bequem und rasch anpassen. Anstelle gewöhnlicher Dipolantennen mit schmaler Resonanz nutzt der Mobilfunk Breitbanddipole, die nicht stabförmig sind, sondern konisch flächig, um ein breiteres Frequenzband abzudecken.

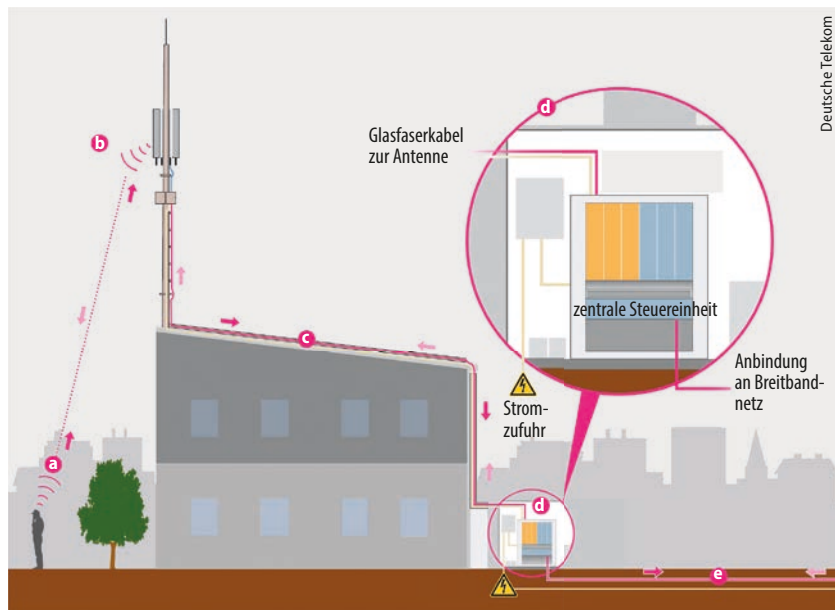
Heutige Standardantennen bedienen GSM und LTE, aber nur teilweise 5G. Sie arbeiten passiv, d. h. sie decken ein 120° -Kreissegment flächig ab, ohne einen Bereich besonders zu bedienen. Von außen betrachtet sind alle Antennen knapp zwei Meter lang und etwa 30 cm breit. Im Inneren sorgen

verschiedene, in Reihen angeordnete Dipolelemente dafür, dass die Antenne die verschiedenen Frequenzen abdeckt: Es handelt sich also um eine Multiband-Antenne. Die konkrete Ausführung kann variieren und richtet sich auch nach den Vorgaben der Mobilfunkgesellschaft.

Für die Zukunft gerüstet

Beispielsweise decken die Dipole in der Mitte breitbandig die Frequenzen von 700 bis 950 MHz ab. Rechts bzw. links davon befinden sich Dipole für das Frequenzband zwischen 1,7 und 2,7 GHz sowie 1,5 bis 2,7 GHz. Eine in die Antenne integrierte Schaltungselektronik und -logik macht die Anordnung „zukunftsicher“: Die drei Dipolreihen lassen sich auf verschiedene spezifische Frequenzbänder einstellen. Falls die Lizenz für ein Band erlischt – die Frequenzen sind nur befristet vergeben –, kann die Antenne auch ein benachbartes, neu erworbenes Frequenzband bedienen.

Multibandantennen bieten die Möglichkeit, eine Funkzelle parallel mit LTE und 5G zu versorgen. Dazu muss die Basisstation erkennen, wie viele Geräte in der Zelle LTE- und 5G-fähig sind. Dann teilt sie innerhalb von Millisekunden die Frequenzbänder den Standards zu. Das lastet die Bänder besser aus und macht das Netz effizienter.



Das Empfangsgerät (a) tauscht mit einer Mobilfunkstation Signale über eine der drei Antennen am Sendemast aus (b). Von den Antennen führen Glasfaserkabel (c) in den Betriebsraum (d). Dort ist die zentrale Steuereinheit mit dem Breitbandnetz (e) verbunden.

Speziell für den 5G-Standard gibt es darüber hinaus Antennen, welche die Strahlung bündeln. Ein Array, bestehend aus 8×8 oder 8×4 Dipolen, lässt sich elektronisch ansteuern, um die Richtcharakteristik der Antenne im laufenden Betrieb zu verändern: Aus den passenden Phasenverschiebungen zwischen den Dipolen resultieren die gewünschten Haupt- und Nebenkeulen der Antenne. Dieses „Beamforming“ macht bildlich gesprochen aus dem Lichtkegel einer 5G-Antenne mehrere Spots. Um deren

Ausrichtung zu bestimmen, schwenkt die Antenne innerhalb weniger Millisekunden durch ihr 120° -Areal und sucht nach Empfangsgeräten. Die Technik kommt bislang in Innenstädten zum Einsatz, um vielen Personen parallel eine hohe Datenrate zu bieten.

Dennoch kann es an hochfrequentierten Orten, wie Fußgängerzonen oder Bahnhöfen, sowie bei Großveranstaltungen dazu kommen, dass die typischen Funkzellengrößen nicht für eine hohe Netzqualität ausreichen. Einige Mobilfunkgesellschaften verdichten hier mittels Mikrozellen nach: Zusätzliche Basisstationen entlasten die Hauptbasis der Funkzelle. Die Antennen dieser Basisstationen sind stark spezialisiert und teils hochintegriert, sodass sie im Stadtbild verschwinden, zum Beispiel an Fassaden, ÖPNV-Haltestellen oder Litfaßsäulen. Deshalb ruckelt das Video auch dann nicht, wenn beim Warten auf die Straßenbahn noch viele weitere Personen mit ihrem Smartphone Daten streamen.⁺⁾

Die Untermieter



An den meisten Mobilfunkmasten sind deutlich mehr Geräte installiert als die passiven Multiband- und aktiven 5G-Antennen. Direkt zur Infrastruktur für Telekommunikation gehören die Parabolantennen des Bündelfunks: Diese gerichteten Funkstrecken verbinden Basisstationen untereinander, falls eine Basisstation nicht unmittelbar an das Glasfaserbreitbandnetz angebunden ist – etwa auf Berggipfeln oder im ländlichen Bereich. Oft handelt es sich dabei auch um eine redundante Anbindung, damit bei einem Ausfall der Erdleitung das Mobilfunknetz nicht zusammenbricht. Richtfunkstrecken arbeiten mit Frequenzen zwischen 20 und 28 GHz. Ihre Übertragungskapazität hängt stark von der Witterung ab und fällt deutlich geringer aus als diejenige des Glasfaserbreitbandnetzes.

Außerdem sind an Mobilfunkmasten Antennen des digitalen Behördenfunks oder des Rundfunks angebracht. So kommt es, dass mancher Mast einen ganzen Antennenwald beherbergt. Optisch treten die Mobilfunkantennen dann meist in den Hintergrund.

Der Autor

Dipl.-Phys. Michael Vogel, Journalist, www.mv-vogel.de

+) Ich danke Roland Reese von der Deutsche Telekom Technik GmbH für hilfreiche Erläuterungen.