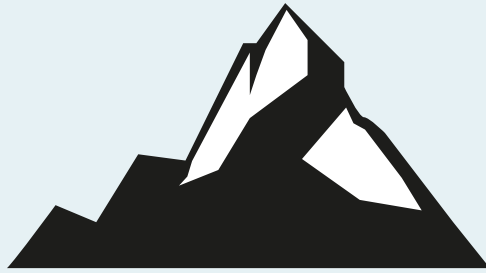


# DIE ZUMUTUNG



*Manches Wissen wächst in verdammt hohen Gebieten.  
Trotzdem sollte man sich hin und wieder dorthin aufmachen,  
auch wenn es richtig anstrengend wird.  
Willkommen auf dem Pfad des Mobilfunks.*

## **Die verflixte fünfte Generation**

Die neue Mobilfunkgeneration 5G wird als  
Netz der Superlative angepriesen.  
Schnell ist es – aber ist es auch sicher?  
Und was soll es eigentlich leisten?



## Basislager

Gehen Sie erst los, wenn Sie die folgenden Grundlagen in Ihren Rucksack gepackt haben

**I**n dem grünen Talkessel, in dem diese Expedition startet, gibt es keinen Empfang. Es ist ein Funkloch – und wir genießen es. Keine Nachrichten im Fünfminutentakt, nur Vogelgezwitscher. Auf dem Gipfel werden wir wieder im digitalen globalen Dorf angekommen sein, denn ein neuer Sendemast ragt dort neben dem Gipfelkreuz empor: ein Vorposten des 5G-Netzes, des Mobilfunknetzes der fünften Generation.

Sein Aufbau hat gerade erst begonnen. Doch schon jetzt tobt ein Streit um die politischen und gesundheitlichen Konsequenzen des neuen Netzes. Gefährdet es die nationale Sicherheit der Industriestaaten? Produziert es gefährlichen »Elektrosmog«? Bevor wir uns diesen Fragen nähern, schauen wir zur Orientierung auf die Karte: Wie sind wir überhaupt hierher gekommen?

Vor 118 Jahre setzte Guglielmo Marconi den ersten Funkspruch mit Radiowellen aus den USA nach Großbritannien ab. Marconi hatte erkannt, dass »elektroma-

gnetische Strahlung« sich für eine weltumspannende Kommunikation einsetzen lässt. Diese Strahlung war von Heinrich Hertz um 1886 in Laborexperimenten erforscht worden. Es sind unsichtbare elektrische und magnetische Felder, die unzählige Male pro Sekunde schwingen und dabei durch den Raum flitzen. Ihre Eigenschaften hängen stark von der Frequenz ab. Lichtwellen zum Beispiel schwingen mit Hunderten Billionen Hertz (ein Hertz ist eine Schwingung pro Sekunde). Radiowellen reichen von 30 Hertz bis 300 Gigahertz, dazu gehören auch Langwellen, Mittelwellen und Kurzwellen (Kilohertz bis Megahertz).

Radiowellen lassen sich so verändern – Fachleute sagen: modulieren –, dass sie Informationen übertragen können. Bei Marconi waren es Morsesignale, aber es können auch codierte Töne oder Bilder sein, die dann von einem Radio- oder Fernsehempfänger wiedergegeben werden. Oder: Daten. Eine endlose Folge von Nullen und Einsen. Genau wie im Internet.



## Erster Anstieg

Los geht's! Auf leichten Anhöhen begegnen Sie Erkenntnissen, die Sie ins Schwitzen bringen können

**D**er Weg geht mit leichter Steigung zunächst schnurgerade durch einen Bergwald. An einer Kehre entdecken wir ein kleines Häuschen und schauen hinein. Da steht ein altes Telefon mit Ringelschnur aus den 1970er-Jahren,

das im Vergleich zum Smartphone mittelalterlich anmutet. Zwar wurde die Kommunikation per Funk damals schon seit Jahrzehnten genutzt, vor allem vom Militär. Aber Gespräche, die auf einer bestimmten Frequenz unverschlüsselt übertragen werden, können von jedem mitgehört werden, der seinen Empfänger auf die entsprechende Frequenz einstellt. In der Festnetztelefonie hingegen wurde eine exklusive Leitung

für diejenigen geschaltet, die sich über weite Entfernungen ungestört unterhalten wollen. Könnte das auch drahtlos funktionieren, zum Beispiel beim Autofahren? Das Mobilfunknetz der ersten Generation, das ab Mitte der 1970er aufgebaut wurde, erfüllte diesen Wunsch für einige wenige, gut betuchte Teilnehmer.

Die rasante Entwicklung der Computertechnik und der frühen Datennetze in den 1980ern brachte einige Ingenieure auf die Idee, den Mobilfunk zu digitalisieren. Die geschwungenen Radiowellensignale bekamen nun die Form von vielen kleinen Treppentufen, deren Höhe digitale Informationen – genauer: Binärzahlen – darstellen. Die westeuropäischen Länder der EG (heute: EU) entwickelten einige grundlegende

Normen und Standards, zum Beispiel für die Modulation der verwendeten Signale oberhalb von 800 Megahertz; für die Übergabe der Signale von einem Sendemast zum nächsten, wenn man im Auto durch die Stadt fährt; für das Roaming, wenn der Teilnehmer aus einem Netz in das eines anderen Betreibers wechselt; und für die SIM-Karte als Identifikationschip des Teilnehmers.

Diese zweite Generation, GSM genannt (die Abkürzung steht für Global System for Mobile Communications), startete 1991 und machte das Handy schnell populär. Die Nutzer entdeckten auch rasch einen eingebauten Kanal für kurze Textnachrichten, den die Ingenieure ursprünglich nur für Notfälle vorgesehen hatten. Die SMS, anfangs noch kostenlos, wurde zur ersten *killer application* der Mobiltelefonie.

Die dritte Generation, 3G oder UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), war unter dem Eindruck des immer beliebter werdenden World Wide Web deutlich ehrgeiziger angelegt. Mit neuen Frequenzbändern sollte UMTS deutlich mehr Daten transportieren als das kümmerliche GSM, zum Beispiel um unterwegs Webseiten aufzurufen oder Navigationsdienste zu ermöglichen. Doch in den UMTS-Geräten steckten noch immer zwei Welten: Für das Telefonieren wurde nach wie vor eine direkte Datenverbindung zwischen den Teilnehmern geschaltet, wenn auch digitalisiert, während die Datendienste bereits wie im Internet als winzige Datenpakete übertragen wurden. Aber diese kleinen Handy-Bildschirme – wer wollte darauf schon

gerne *Spiegel online* lesen oder etwas googeln? Mit dem iPhone löste Apple 2007 dieses Problem: Die App-Welt mit ihrer einfachen Bedienung durch Wischen und Tippen auf dem Touchscreen machte endgültig Schluss mit der Enge der Tasten und den Zwergdisplays.

Die Begehrlichkeiten, die das iPhone geweckt hatte, konnte der 3G-Mobilfunk mit seinen lausigen Datenraten noch nicht befriedigen. Ruckelfreie Videoübertragung? Ein Traum, den erst die vierte Generation, LTE, wahr machte (die Abkürzung steht für Long Term Evolution). Dank der Verwendung höherer Frequenzen um 2 Gigahertz stieg die Datenrate noch einmal an. Und siehe da: Videos, das Streamen von Musik, die sozialen Netzwerke, all das wurde in den 2010er-Jahren unter den ewig nervösen Fingerspitzen verfügbar und machte für viele sogar den Laptop verzichtbar. Der 4G-Mobilfunk brachte das ganze Internet aufs Smartphone. Auch Telefonate werden hier als Datenpakete übertragen. Und anders als beim 3G-Mobilfunk baut es auf weltweiten Standards auf, an die sich Unternehmen auf allen Kontinenten halten. Vorbei die Zeiten, in denen ein europäisches Handy in den USA nicht funktionierte, weil das Netz anders aufgebaut war.

Die Vision von 1910 ist Wirklichkeit geworden, und die Aussicht auf die weite Vorgebirgslandschaft beauscht uns so sehr, dass wir gleich ein Foto schießen und auf Instagram hochladen. Denn hier oben haben wir wieder Empfang. Wozu noch weitergehen, wenn in diesen luftigen Höhen alles so schön ist?



## Am Steilhang

Atmen Sie tief durch: Es ist alles ganz anders, als Sie dachten – aber Sie schaffen das

**K**urze Pause vor einer Informationstafel. Ein atemberaubendes Panorama ist darauf abgebildet, viel spektakulärer als die Aussicht, die wir gerade genießen. Diese Tafel hat die IT-Industrie aufstellen lassen, um uns auf den Steilhang zu locken.

Die fünfte Generation des Mobilfunknetzes, kurz 5G, soll den Nutzern unerhörte Datenraten bringen. Bis zu 100 Milliarden Bits pro Sekunde kann die Basisstation einer Funkzelle übertragen. 2G schaffte Zehntausende, 3G Hunderttausende und 4G einige Hundert Millionen Bits pro Sekunde. Wie gelingt diese Steigerung, wenn das Frequenzband weiter aus Radiowellen besteht wie schon zu Zeiten von Marconis Morsenachricht?

Stellen Sie sich eine Autobahn vor, in der Pakete in Pkw transportiert werden – immer eins pro Fahrzeug. Sollen mehr Pakete geliefert werden, könnte man mehr Pkw auf die Piste schicken. Doch irgendwann ist die Autobahn voll, alle stehen im Stau. Ein Ausweg wäre, zusätzliche Spuren zu bauen. Das geht aber nicht, weil die Landschaft neben der Autobahn schon zugebaut ist. Die Alternative wäre, mehr Pakete in jedes Fahrzeug zu packen, am besten in schnelle, große Lkw, die im selben Tempo fahren, nicht ausscheren, nicht überholen und als Flotte über den Asphalt rasen. Jedes Paket bekommt dabei eine Nummer, damit es nicht verloren geht. Bestimmte Pakete, zum Beispiel diejenigen, die Bücher enthalten, könnten zudem auf der mittleren

Fahrspur transportiert werden, während Lebensmittel oder Medikamente auf der rechten rollen.

So ähnlich machen es Nachrichtentechniker. Auch sie können das Frequenzband, in dem die Daten übertragen werden, nicht einfach breiter machen, weil es sonst mit anderen Bereichen, die schon genutzt werden, überlappt. Das würde zu Störungen führen. Sie teilen deshalb zum einen die Daten geschickt in nummerierte Pakete auf: Jedes Smartphone innerhalb einer Funkzelle bekommt nur die Daten mit seiner Nummer. Das kann der Reihe nach erfolgen, sodass etwa jedes zehnte Datenpaket für Nutzer Nummer 10 ist. Zeit-Multiplexing nennt sich diese Methode. Sie können auch jedem Nutzer bestimmte Frequenzen zuweisen, auf dem er seine Daten empfängt, das ist das sogenannte Frequenz-Multiplexing. Beide Techniken lassen sich mischen. Zum anderen packen die Spezialisten mit mathematischen Tricks immer mehr Pakete ins Signal.

Hinter all diesen Verfahren stecken Algorithmen, die die Sortierung und Stapelung von Datenpaketen in atemberaubender Geschwindigkeit berechnen. Dass dies gelingt, ist immer leistungsfähigeren Chips zu verdanken, die sowohl in den Sendemasten als auch in den Smartphones stecken. Sie sorgen dafür, dass sich in einem Frequenzband immer mehr Informationen unterbringen lassen, Ingenieure sprechen von »spektraler Effizienz«: in der ersten Ausbaustufe von 5G sind es 15-mal mehr als im 4G-Netz.

Im 5G-Netz kommt noch etwas Neues hinzu: Die Antennen der Funkzellen können das Gerät eines Nutzers ähnlich wie beim Richtfunk gezielt anvisieren. Das Signal wird nicht mehr als Kugelwelle in alle Richtungen

abgestrahlt, sondern als gebündelter Strahl. Auch dank dieses »Beamformings« sollen Basisstationen in einer 5G-Funkzelle bis zu eine Million Nutzer gleichzeitig bedienen können. Im alten 2G-Netz waren es vielleicht ein Dutzend Nutzer pro Zelle.

Allerdings ist ein 5G-Netz nicht einfach nur ein superschnelles 4G-Netz. Es ist auch anders aufgebaut. Mobilfunknetze bestehen aus »Kernen«, das sind Rechenzentren, die die Datenübertragung organisieren. Und aus dem »Rand«: Den bilden die Basisstationen, die aus Antennen mit angeschlossenen Computern bestehen und die Funkzellen aufspannen. Im 5G-Netz wird ein Teil der Rechenarbeit an die Basisstationen delegiert, die nun selbst über erhebliche Rechenkapazität verfügen. Das hat den Vorteil, dass sich der Austausch von Daten zwischen Netz und Smartphone drastisch verkürzt. Fachleute bezeichnen diese Dauer als »Latenz«. Im 4G-Netz liegt sie im besten Fall bei etwa 30 Mikrosekunden, im 5G-Netz soll sie nur eine einzige Mikrosekunde betragen. Genau dies ist die entscheidende Voraussetzung dafür, dass etwa autonome Fahrzeuge in Städten sich blitzschnell untereinander abstimmen können oder dass Industrieroboter in Fabriken wie ein eingespieltes Orchester miteinander kooperieren. Der Umweg über die Rechenzentren entfällt.

Es sind die Verbesserungen in Netzstruktur, spektraler Effizienz und Latenz, die 5G so schnell machen. Der Unterschied zwischen Internet und Mobilfunk verschwindet. Ob Daten per Glasfaserleitung oder über Radiowellen übertragen werden – sie bewegen sich überall mit atemberaubenden Geschwindigkeiten zwischen Servern, Rechnern und Smartphones hin und her.



## Auf zum Gipfel

Jetzt wird es zugig: Diese Theorie müssen Sie meistern, um auf der Höhe der Zeit anzukommen

**E**in nicht allzu steiler Grat führt zum Sendemast auf dem Gipfel. Die letzte Etappe scheint nicht sehr kompliziert zu sein. Doch schon nach wenigen Metern pfeifen uns Böen und Fallwinde um die Ohren. Anders als bei den vorherigen Netzen ist 5G nicht zuerst von einer besseren »User-Experience«, also einer komfortableren Nutzung des mobilen Internets für die Anwender motiviert – es ist die Industrie, die damit verschiedene Visionen verwirklichen will.

Eine davon ist die Smart City, in der eine Flotte autonomer Fahrzeuge den Individualverkehr von heute ersetzen soll. Und in der die ganze Stadt über Sensoren und Minisender vernetzt ist, die ständig Daten über Luftqualität und Energieverbrauch sammeln. Die Smart-City-Fans betonen, dass dieses »Internet der Dinge« – vernetzte Ampeln, Laternenmasten, Autos und Gebäude – dabei helfen könnte, die Infrastrukturen von Städten nachhaltiger und klimaschonender zu machen. Eine zweite Vision ist das Konzept »Industrie

4.0«, in dem voll digitalisierte Fabriken ihre Produkte effizienter als bisher produzieren. Den Menschen wiederum wird versprochen, dass mit 5G endlich eine »erweiterte Realität« möglich wird. Datenbrillen könnten in Echtzeit Informationen einblenden. Ein Radfahrer könnte sehen, dass ein Auto hinter ihm dicht auffährt, Touristen könnten ihren Reiseführer aufrufen, während sie den Eiffelturm betrachten.

Doch wie alle Neuerungen hat 5G auch Unwägbarkeiten. Anders als noch beim 2G-Netz werden deutlich höhere Frequenzen genutzt: Viele Frequenzbänder liegen bei drei bis sechs Gigahertz, einige bei 25 Gigahertz, sogar 90 Gigahertz sind angedacht. Physikalisch gilt: Je höher die Frequenz, desto kleiner ist die Reichweite einer Sendeantenne und desto mehr Basisstationen sind nötig. Konnte ein 2G-Sendemast mit seinen 700-Megahertz-Radiowellen noch ein Handy in 15 Kilometer Entfernung erreichen, sind es bei Gigahertz-Wellen nur noch einige Hundert Meter.

Manche Menschen sorgen sich um den zunehmenden »Elektromog« durch die Mobilfunk-Infrastruktur. Tatsächlich hat die Energiedichte der elektromagnetischen Strahlung, die uns im Frequenzbereich um 1 Gigahertz um die Ohren schwirrt, seit 1920 um den Faktor eine Trillion zugenommen. Das klingt furchterregend, aber der Wert ist immer noch sehr niedrig. Das Bundesamt für Strahlenschutz und die Strahlenschutzkommission verweisen hierzu auf das Deutsche Mobilfunkforschungsprogramm von 2002 bis 2008, das die gesundheitliche Belastung durch Radiowellen bis zu einem Gigahertz erforscht hat. Die Studien kamen zu dem Ergebnis, dass die Strahlung unbedenklich ist, wenn die Grenzwerte eingehalten werden. Rund 90 Prozent der vom Körper absorbierten Strahlungsenergie werden vom eigenen Smartphone ausgesendet, nicht von Sendemasten. Alle Modelle auf dem Markt unterschreiten den von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Höchstwert von zwei Watt pro Quadratmeter. Das liegt auch daran, dass die Gerätehersteller die Leistung immer weiter senken, um die Akkulaufzeiten zu verlängern.

Die Mobilfunkgegner verweisen auf neuere Studien, in denen männliche Ratten, über längere Zeit mit

Gigahertz-Wellen bestrahlt, Tumoren am Herzen entwickelt hatten (weibliche Ratten sowie Mäuse dagegen nicht). Diese Studien haben bisher einer strengen Prüfung durch die wissenschaftliche Gemeinde nicht standgehalten. Dennoch hat die Organisation Ärzte zur Verhütung des Atomkriegs (IPPNW) im Oktober 2019 ein Moratorium für den 5G-Ausbau gefordert. Manche Politiker sind verunsichert. Die Städte Brüssel, Genf und Florenz haben den Aufbau des 5G-Netzes vorläufig gestoppt. Bislang ist allerdings kein Wirkmechanismus bekannt, wie Radiowellen zwischen 800 Megahertz und einem Gigahertz Zellen schädigen könnten. Während energiereiches UV-Licht im Gewebe Molekülbindungen zerstören, also DNA-Mutationen verursachen kann, reicht die Energie von Radiowellen hierfür nicht aus. Wie elektromagnetische Strahlung oberhalb von 25 Gigahertz auf menschliche Zellen wirkt, ist jedoch noch nicht gründlich erforscht. Hier sieht auch das Bundesamt für Strahlenschutz Forschungsbedarf.

Wie steht es um die technologischen Risiken von 5G? Datenschützer warnen davor, dass die mittels 5G total vernetzte »Smart City« endgültig eine lückenlose Überwachung der Bevölkerung er-

mögliche. Wer die Technik hat, hat die Macht. Wird der chinesische 5G-Ausrüster Huawei für Chinas Regierung »Hintertüren« zum Ausspähen anderer Staaten einbauen? Wird der amerikanische Auslandsgeheimdienst NSA die US-Hersteller zu solchen Hintertüren drängen? Sicherheitsexperten befürchten, dass mit der Verschmelzung von Internet und Mobilfunk neue Einfallstore für Cyber-Attacken entstehen. Aktuelle Studien zeigen, dass 5G-Netze nicht so sicher sind wie von den internationalen Standardisierungsgremien behauptet – und Cyber-Kriminellen ermöglichen könnten, die vernetzten Fabriken und Infrastrukturen lahmzulegen.

Wir sind auf dem zugigen Gipfel angekommen. Friedlich funkelt der Sendemast neben dem Gipfelkreuz in der Sonne. Sicher ist nur: Gemütlicher, weil weitgehend windstill, war es auf dem 4G-Plateau. —

**Niels Boeing** kann den Versprechungen von 5G angesichts der Überwachungspotenziale und der Anfälligkeit für Cyber-Angriffe nichts abgewinnen. Er ist mit 4G zufrieden.

## Das 5G-Netz arbeitet mit viel höheren Frequenzen als bisher. Das ruft Mobilfunkgegner auf den Plan



### Unsere Bergführer:

**Thomas Magedanz** erforscht am Fraunhofer-Institut Fokus in Berlin, wie sich Mobilfunkdienste mithilfe von Software verbessern lassen. **Achim Enders** leitet das

Institut für elektromagnetische Verträglichkeit an der Technischen Universität Braunschweig und die Arbeitsgruppe zu nicht ionisierender Strahlung der deutschen Strahlenschutzkommission. **Jörg Schmid** ist Arzt und hat als Mitglied der IPPNW deren Forderung nach einem

5G-Moratorium mit initiiert. **Tom Wheeler** war von 2013 bis 2017 Chef der US-Rundfunkbehörde FCC und warnt davor, die Cyber-Gefahren von 5G zu unterschätzen. **Studien** zur Debatte um das Gesundheitsrisiko von Mobilfunkstrahlung sind unter [www.zeit-wissen.de/O220quellen](http://www.zeit-wissen.de/O220quellen) verlinkt.