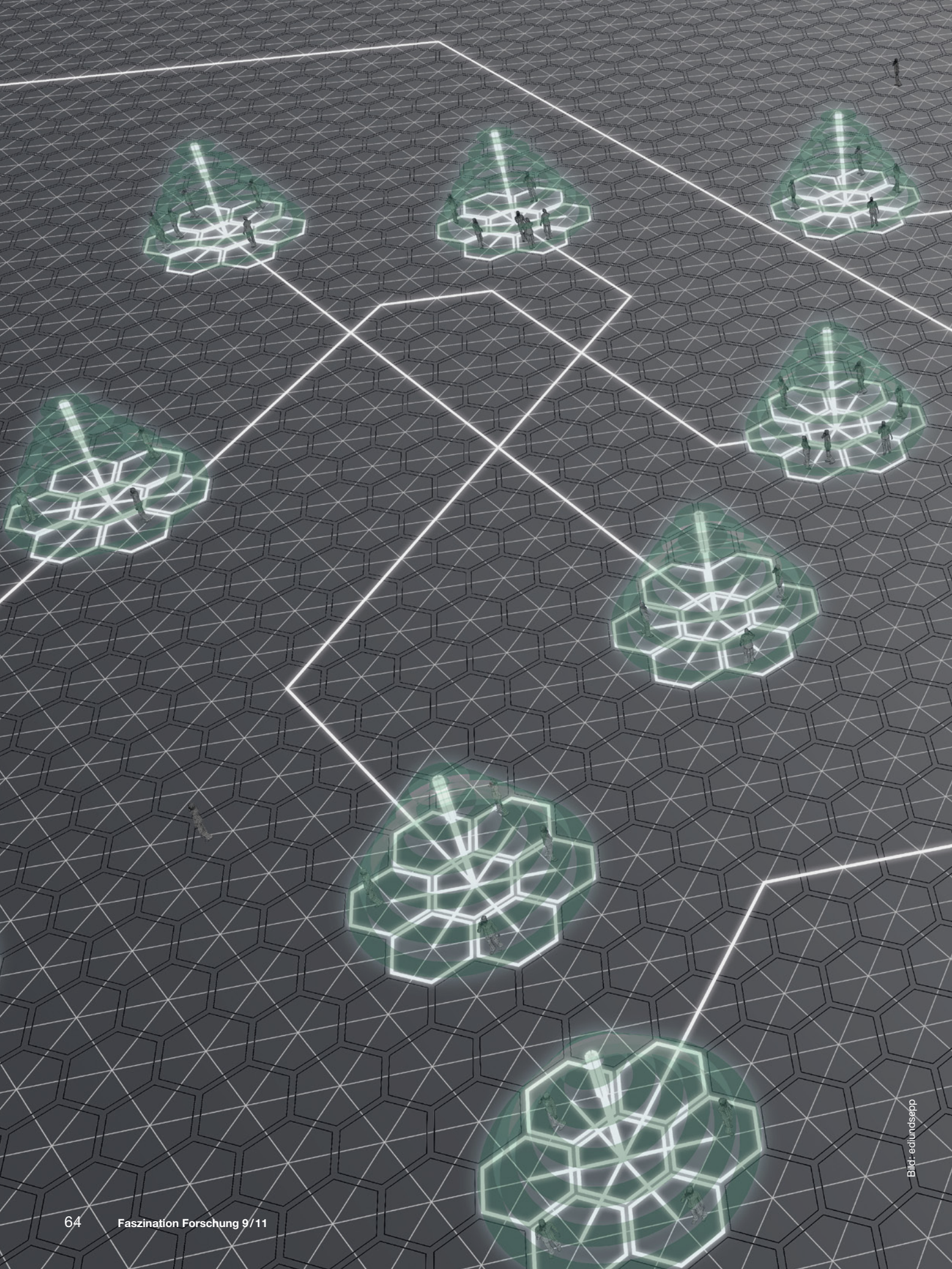
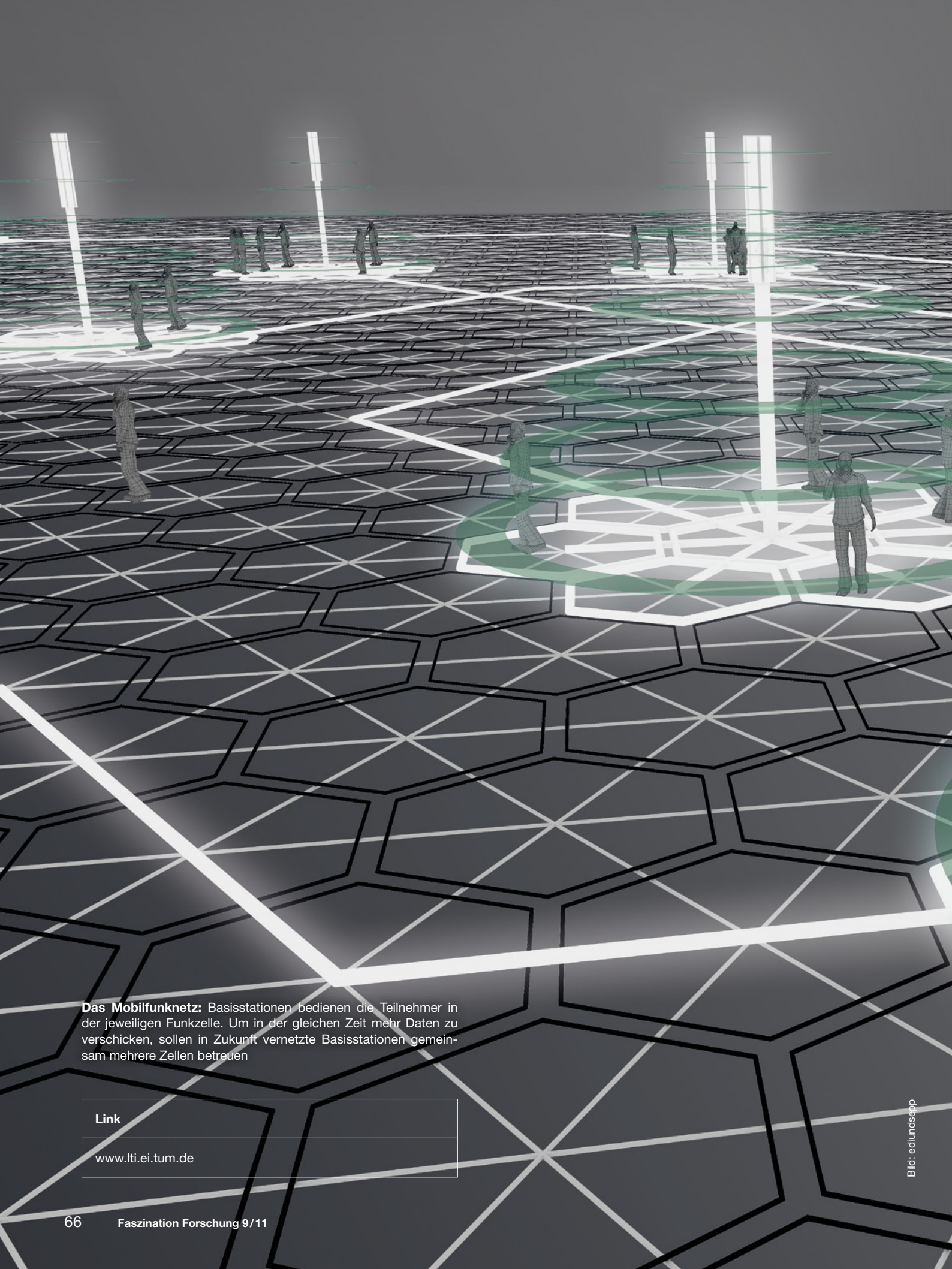




Datenhighway der Zukunft

Der Zugang zu Information über schnelle Internetverbindungen ist heute so wichtig wie ein Strom- und Wasseranschluss. Alle Menschen an die Datenautobahn anzubinden, ist ein großes Anliegen von Prof. Holger Boche. Der Spitzenforscher entwickelt an der TUM die theoretischen Grundlagen für den Mobilfunk der Zukunft



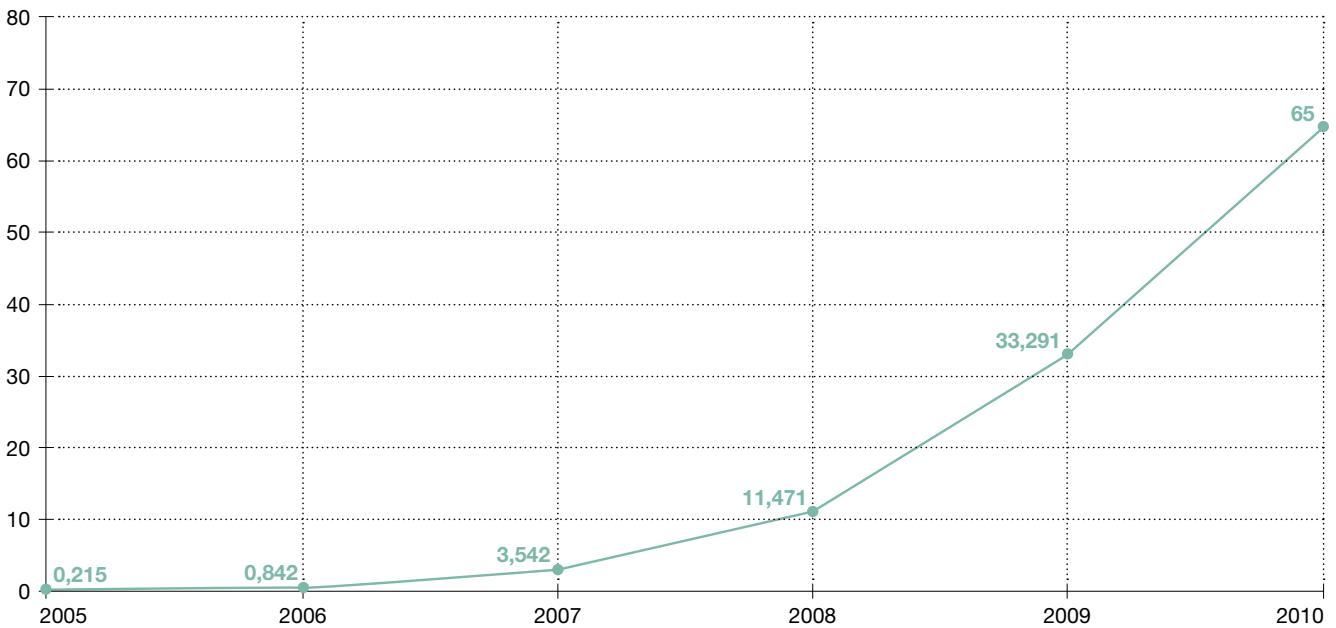
Das Mobilfunknetz: Basisstationen bedienen die Teilnehmer in der jeweiligen Funkzelle. Um in der gleichen Zeit mehr Daten zu verschicken, sollen in Zukunft vernetzte Basisstationen gemeinsam mehrere Zellen betreuen

Link

www.lti.ei.tum.de



Mio. GB



Grafik: edlundsepp (Quelle: Jahresbericht der Bundesnetzagentur 2010)

Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland 2005 – 2010. Vor allem das mobile Internet treibt den Datenverkehr im Netz hoch. Allein zwischen 2009 und 2010 hat sich das Datenaufkommen verdoppelt

Informationstechnik ist eine zentrale Komponente unserer Industriegesellschaft und die wollen wir mit unserer Forschung voranbringen.“ Prof. Holger Boche sitzt in seinem Besprechungsraum an der Technischen Universität München, die Tafel hinter ihm ist vollgekritzelt mit Gleichungen und Blockdiagrammen. Er skizziert die Herausforderungen, vor denen der Mobilfunk heute steht, und man spürt, wie wichtig ihm dieses Thema ist. Da sind zunächst ganz handfeste Anforderungen für das Mobilfunksystem der nächsten, fünften Generation. Es wird in etwa zehn Jahren statt der heute drei wahrscheinlich mehr als fünf Milliarden Menschen verbinden und zusätzlich die Daten von vielen Milliarden Sensoren übertragen. Wie realisiert man die hohen Datenraten? Wie macht man das Netz so robust, dass auch Autos oder Maschinen einander zuverlässig Informationen zuspielen können? Wie sichert man die gesendeten Daten vor unbefugtem Zugriff?

Universitäre Forschung für den Mobilfunk

Boche entwickelt mathematische Modelle, um solche Probleme zu beschreiben und zu lösen. Seine Forschungen haben den Mobilfunk in der Vergangenheit

entschieden vorangebracht. Unter anderem schuf er die theoretischen Grundlagen für das Mobilfunknetz der vierten Generation, die LTE-Technik, die in diesem Jahr eingeführt wird (siehe Kasten). Für seine Arbeiten wurde der Wissenschaftler, der sowohl in Nachrichtentechnik als auch in Mathematik promoviert hat, mit zahlreichen Preisen geehrt. 2008 erhielt er den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis, die mit 2,5 Millionen Euro dotierte bedeutendste deutsche Auszeichnung für Forscher. Im Herbst 2010 hat Boche seinen Posten als Direktor des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, des renommierten Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin, verlassen und an der TUM einen neu geschaffenen Lehrstuhl für theoretische Informationstechnik übernommen.

Boche sieht fundamentale Fragen auf den Mobilfunk zukommen und möchte die Grundlagenforschung dazu voranbringen. Und das kann er seiner Meinung nach nirgends so gut tun wie an der Universität. Sie bietet die besten Rahmenbedingungen, um die Basistechnologien für neue Mobilfunkstandards zu entwickeln. Für Firmen sind die insgesamt zehn bis zwölf Jahre, die in die Entstehung eines neuen Standards fließen, meist zu lang. Dass die TUM eines der wichtigsten deut- ➤

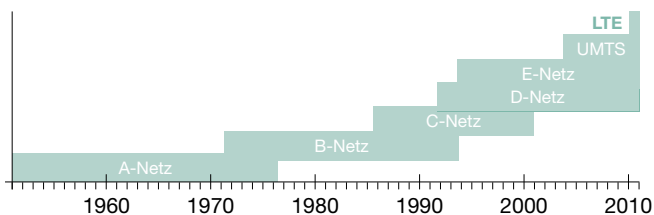


Holger Boche kam zur TUM, weil er die Grundlagenforschung für den Mobilfunk voranbringen möchte. Er arbeitet unter anderem an den Basistechnologien für die fünfte Mobilfunkgeneration

Mobilfunk in Deutschland

Das Datenaufkommen im deutschen Mobilfunknetz hat sich zwischen 2009 und 2010 auf 65 Millionen Gigabyte nahezu verdoppelt. Die rund 110.000 Basisstationen wickelten 2010 insgesamt 180 Milliarden Gesprächsminuten ab, das entspricht einer totalen Sprechzeit von 342 Jahren. Dazu kommen etwa 40 Milliarden SMS, 170 Millionen Multimedia-Messages und das mobile Internetsurfen. Um die wachsende Zahl der Nutzer und Anwendungen zu bedienen, wird in etwa sieben bis zehn Jahren ein neuer Mobilfunkstandard eingeführt. Heute basiert unser Netz auf den Standards GSM, der zweiten Mobilfunkgeneration, UMTS und – seit 2011 – LTE. Die erreichbaren Datenraten betragen jeweils 9,6 kbit/s (GSM), knapp 384 kbit/s (UMTS), knapp 14 Mbit/s

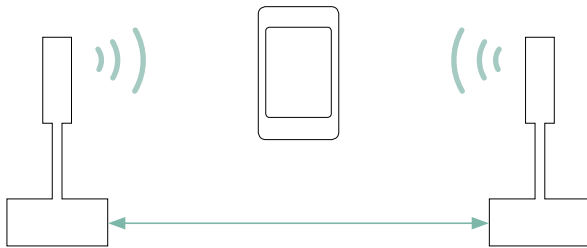
(UMTS mit HSDPA, einer Technik zur gleichzeitigen Übertragung verschiedener Daten – beispielsweise Bild und Sprache) und 100 Mbit/s (LTE). LTE übertrifft damit die Qualität vieler DSL-Festnetzverbindungen. Die Frequenzen für den Mobilfunk werden weltweit verbindlich von der Weltradiokonferenz unter Vorsitz der UNO festgelegt und sind begrenzt. Nur in Ausnahmefällen – beispielsweise durch die Umwidmung existierender Frequenzen wie im Fall der Digitalen Dividende – lassen sich zusätzliche Frequenzen „hervorzaubern“ und gewinnbringend verkaufen. Die Sendefrequenzen für UMTS wurden in Deutschland im Jahr 2000 für insgesamt 50 Milliarden Euro versteigert, die Versteigerung der LTE-Frequenzen erzielte im April 2010 insgesamt 4,4 Milliarden Euro.



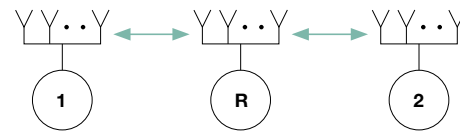
Das erste deutsche Mobilfunknetz, das A-Netz, bediente etwa 10.500 Teilnehmer. Heute telefonieren 82 Millionen Menschen mobil

Long Term Evolution (LTE)

LTE wurde als Nachfolger von UMTS entwickelt und übertrifft dessen Leistungen deutlich. Ein weiterer Vorzug ist die geringe Latenzzeit, also die Verzögerung zwischen einer gesendeten Anfrage und der Antwort. Dies ist bei zeitkritischen Anwendungen wie Online-Spielen oder Videotelefonie von Bedeutung. Außerdem ist LTE vollständig IP-basiert. Die Netzwerkarchitektur konnte deutlich flacher gestaltet werden.



Durch die **Kooperation von Basisstationen** kann eine höhere Datenübertragungsrate erzielt werden



Zwei Mobilteilnehmer (z. B. Handys) telefonieren miteinander in einem drahtlosen Netzwerk. Eine Basisstation stellt in beide Richtungen die Verbindung zwischen den Teilnehmern her

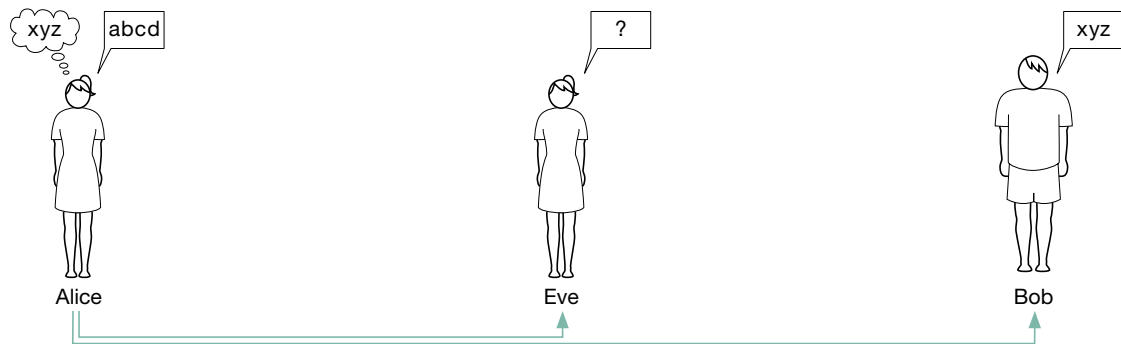
schen Zentren für Informationstechnologie ist und dass gleichzeitig mit ihm der Spitzenforscher Prof. Gerhard Kramer aus den USA hierherberufen wurde, waren weitere Anreize für den Umzug nach München.

Kommunikationstechnik jenseits von Silizium

Statt ab und zu im Dienstwagen zur Kanzlerin zu brausen, sitzt der 44-jährige Forscher nun in Jeans in seinem Büro mitten im quirligen Univiertel und arbeitet an Theorien für neue Kommunikationstechniken. Er denkt sehr weit in die Zukunft, denn unsere Gesellschaft ist so stark auf Kommunikationstechnik angewiesen, dass sie sich früh für kommende Technologien rüsten muss. Als Beispiel nennt Boche das Moore'sche Gesetz, das besagt, dass Computerchips etwa alle 20 Monate ihre Rechenleistung verdoppeln. Seit über 30 Jahren prägt dieses Gesetz unseren technischen Fortschritt, doch irgendwann wird es an physikalische Grenzen stoßen. Das klassische Silizium wird von Nanostrukturen abgelöst werden, die quantenmechanischen Regeln gehorchen. Die Nachrichtentechnik muss dann Methoden der Quantenkommunikation parat haben, um diese neuen Komponenten effizient zu nutzen.

Doch zurück zur nächsten Mobilfunkgeneration. Laut Bundesnetzagentur hat sich der Datenverkehr im deutschen Mobilfunknetz zwischen 2008 und 2010 versechsfacht und der Anstieg hält ungebrochen an. Die Menschen sind heute an schnelle DSL-Verbindungen im Festnetz gewöhnt und möchten dieselbe Qualität auch mobil. Weil die Zahl der nutzbaren Frequenzen begrenzt ist, muss man Methoden finden, um die sogenannte spektrale Effizienz, also die Datenübertragungsrate pro Frequenzbandbreite, zu erhöhen. Ein Ansatzpunkt sind die Basisstationen, die alle Netzteilnehmer in einer Funkzelle, also in einem Umkreis von typischerweise wenigen Kilometern, versorgen. Sie empfangen die von den Geräten in der Zelle ausgesandten Informationen, entschlüsseln sie und speisen die Daten in ein Glasfasernetz ein, das alle Basisstationen verbindet. Darüber gelangt die Nachricht an die dem Adressaten nächstgelegene Basisstation, die sie für die Funkübertragung codiert und an das mobile Gerät weitersendet.

Für die LTE-Technik wurden die Basisstationen mit mehreren statt einer Antenne ausgerüstet. Dahinter steckt die Idee, die Information auf parallele Kanäle zu verteilen und so in der gleichen Zeit mehr Daten zu senden.



So können Daten bei der Übertragung vor unbefugtem Zugriff geschützt werden: Um die Nachricht „xyz“ and Bob zu übertragen, wählt Alices Verschlüsselungsalgorithmus ein Codewort „abcd“ und schickt dieses an Bob. Er kennt Alices Methode und kann die Nachricht entschlüsseln. Gleichzeitig sind die Regeln für die Wahl des Codeworts so gestaltet, dass Eve in keinem Fall die Nachricht entschlüsseln kann. Zum Beispiel hängt die Zufallsregel von der Qualität der Übertragungskanäle zu Bob und zu Eve ab

Auch LTE-fähige Endgeräte besitzen mehrere Antennen, meist auf der Chip-Karte. Das Ergebnis spricht für sich: Mit 100 Mbit pro Sekunde ist die LTE-Technik schneller als so mancher Festnetzanschluss. Dahinter steckt immenser Rechenaufwand, denn die Basisstation muss den Datenstrom innerhalb von Millisekunden – im Fall von Gesprächen oder Online-Spielen sogar in Echtzeit – entschlüsseln, die Teile aus den einzelnen Kanälen richtig zusammenfügen und weitersenden.

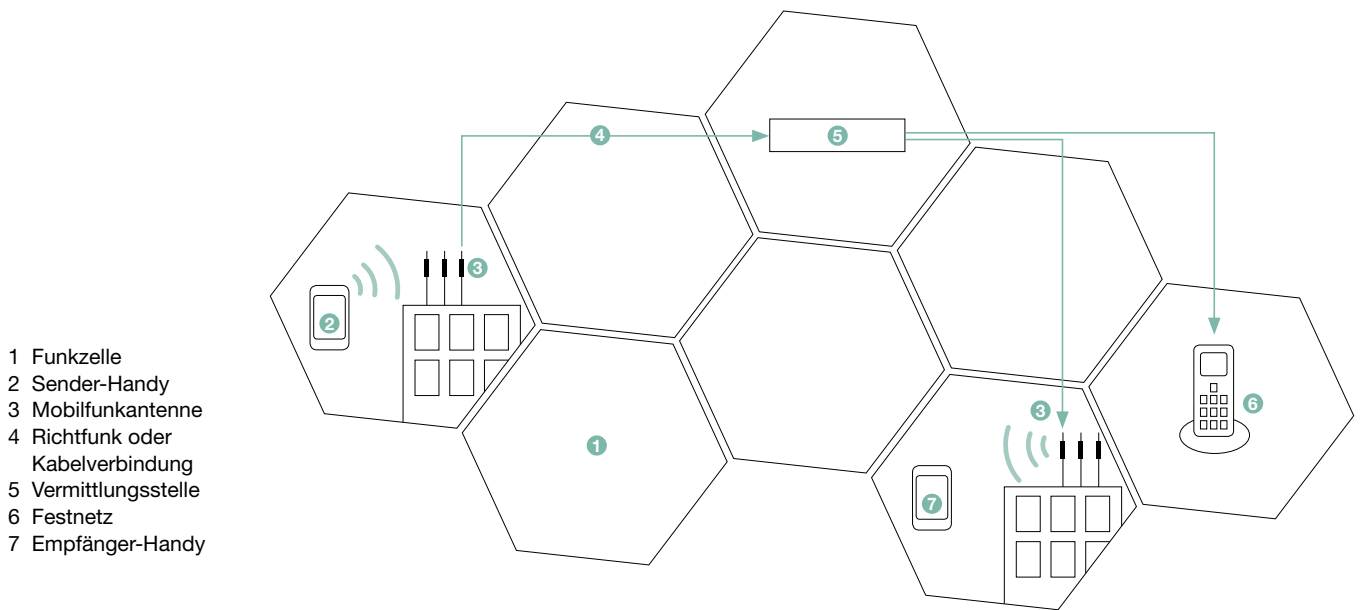
Fairnessfragen im Mobilfunknetz

Für die fünfte Mobilfunkgeneration soll dieses Prinzip ausgeweitet werden, indem man mehrere Basisstationen zu einem einzigen virtuellen Mehrantennensystem zusammenschließt. So erhöht sich die Zahl der parallelen Übertragungskanäle, ohne dass neue Antennen gebraucht werden. Der Nutzer wird dann nicht mehr von einer, sondern von vielleicht drei bis fünf Basisstationen gleichzeitig bedient. Seine Nachricht kommt teilweise bei der einen, teilweise bei einer anderen Station an und wird an einen zentralen Punkt geleitet. Dort wird sie decodiert, richtig zusammengefügt und weitergesendet. Wie ein solches Mehrantennensystem genau aussehen

wird, ist heute nicht klar, so Boche, denn noch ist die Theorie nicht vollständig verstanden. Durch den Zusammenschluss der Basisstationen braucht man auch neue Rechenmodelle, um die Nutzer fair auf die vorhandenen Kanäle aufzuteilen. Nicht jede Verbindung zwischen Nutzer und Basis ist gleich gut. Das Signal von einem weit entfernten Gerät ist vergleichsweise schwach, außerdem können Wände das Funksignal abschatten oder reflektieren. Die Basisstation misst deshalb die Qualität der Kanäle zu allen Teilnehmern und rechnet in Echtzeit aus, wer wann und wie übertragen muss, damit alle durchkommen. Jedes Gerät bekommt von der Basisstation mitgeteilt, mit welcher Leistung, Modulation und Codierung es zu senden hat. Diese Optimierungsaufgabe ist ein sehr schwieriges mathematisches Problem, das man heute nur für einige Kanäle, beispielsweise für das Mehrantennensystem der LTE-Technik, beherrscht.

Mobilfunk zwischen Maschinen oder Autos

Weil das Mobilfunknetz fast flächendeckend vorhanden ist, liegt es nahe, es auch für andere, neue Anwendungen zu nutzen. Schon heute senden viele Sensoren, beispielsweise von Umweltstationen, ihre Messwer- ➤



Grafik: edlundsepp (Quelle: IZMF)

Der Übertragungsweg im Mobilfunknetz: Die Basisstation nimmt das Funksignal über eine oder mehrere Empfangsantennen auf und leitet es im Festnetz an die Vermittlungsstelle weiter. Von dort wird das Gespräch an die für den Adressaten zuständige Basisstation übergeben oder an ein Festnetztelefon geschickt

te über das Netz. In Zukunft werden auch Autos über das Mobilfunknetz in Verbindung stehen und einander zum Beispiel vor einem Stau hinter der nächsten Kurve warnen. Selbst Maschinen könnten per Mobilfunk aus der Ferne gewartet werden. Aber dafür muss das Netz robuster werden. Heute sind die Verbindungen mal langsam, mal schnell oder können sogar komplett abreißen. Soll das Netz auch Autos oder Maschinen bedienen, muss es garantieren, dass ein Signal pünktlich ankommt. Eine mögliche Lösung wären Mehrantennensysteme. Sie könnten die gleiche Information auf parallelen Übertragungskanälen senden und so sicherstellen, dass sie in jedem Fall ankommt.

Forschung wirtschaftlich umgesetzt

Die theoretischen Grundlagen, an denen Holger Boche derzeit arbeitet, sind nicht nur Voraussetzung für die technische Realisierung eines neuen Mobilfunkstandards, sie sind auch eminent wichtig für seine tatsächliche Umsetzung. Anhand der Modelle wird berechnet, wie effizient das System betrieben werden kann, um den wirtschaftlichen Nutzen der Technologie abzuschätzen. Aufgrund dieser Daten entscheiden die Betreiber, ob sie

viele Milliarden Euro in den Kauf von Frequenzen und den Bau von Basisstationen investieren.

Wie unmittelbar seine wissenschaftliche Arbeit wirtschaftlich relevant wird, hat Boche bei der Einführung des LTE-Funkstandards erlebt. Die Bundesregierung suchte nach einer schnellen und wirtschaftlichen Möglichkeit, ländliche Gebiete mit Breitband-Anschlüssen zu versorgen. Rundfunkfrequenzen, die durch die Digitalisierung der Übertragung frei geworden waren, sollten deshalb für den Mobilfunk umgewidmet werden. Boche hatte eine Theorie zu Mehrantennensystemen entwickelt und konnte zeigen, dass man damit dünn besiedelte Flächen effizient abdecken kann. Seine Studien zur technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit gaben letztlich den Anstoß zur Versteigerung der Frequenzen zwischen 790 und 862 Megahertz. „80 Seiten von einem deutschen Professor und der Finanzminister nimmt 3,6 Milliarden Euro ein“, rekapituliert er die Ereignisse vom April 2010 zufrieden. Genau das macht Holger Boche an seinem Beruf solchen Spaß: „Ich betreibe fundamentalste Grundlagenforschung, die aber schon nach etwa zehn Jahren im Feld ist und die Gesellschaft voranbringt.“

Christine RÜth