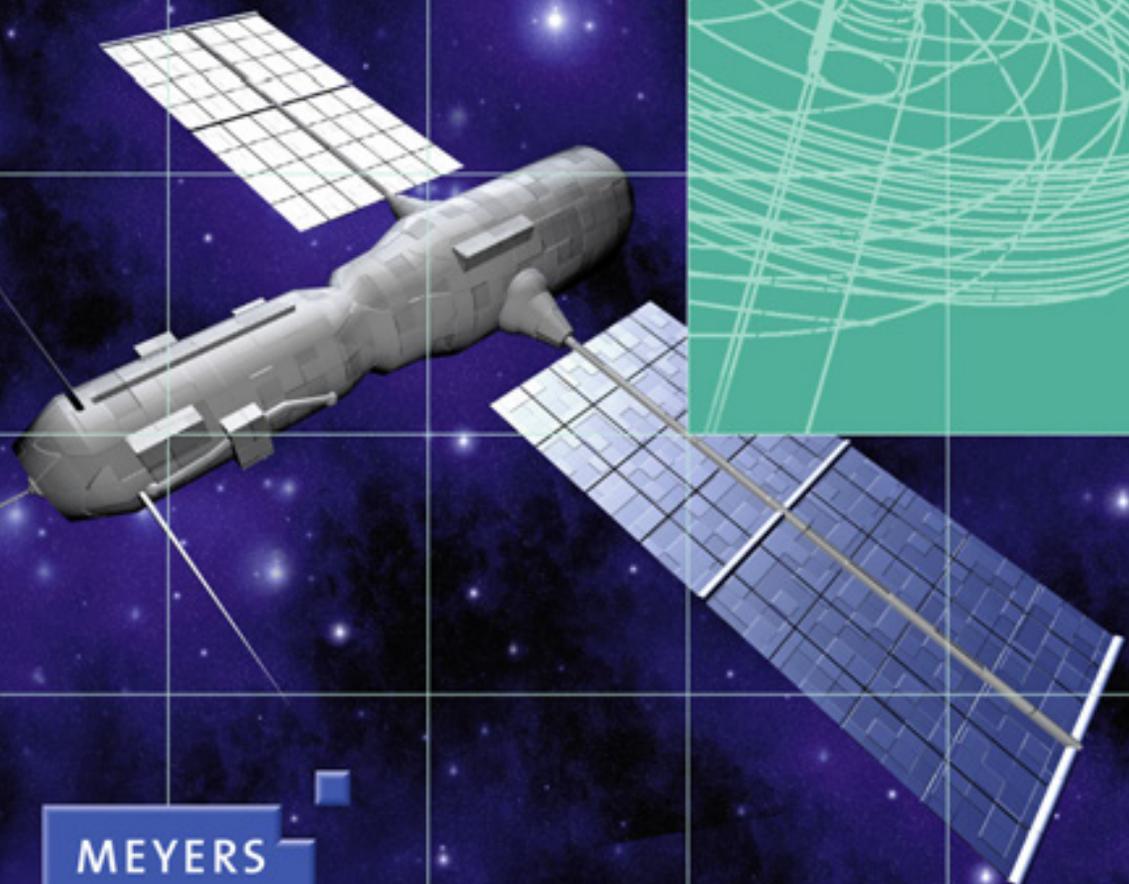


wie
funktioniert
das

Technik



MEYERS

Telefon

Das Prinzip des Telefons beruht auf der Umwandlung von Sprachschwingungen in elektrische Signale und umgekehrt und wurde erstmals 1852 von dem deutschen Lehrer Johann Philipp Reis (1834–1874) demonstriert. Aber erst 1876 wurde das Telefon von Alexander Graham Bell (1847–1922), der als Erster einen Fernsprecher für den praktischen Telefonverkehr entwickelte, auf der Weltausstellung in Philadelphia der Öffentlichkeit vorgestellt. Heute gehört das Telefon zum Alltag. In der westlichen Welt verfügen praktisch alle Haushalte über einen Telefonanschluss.

Funktionsweise

►1 ►2

Standardtelefone bestehen im Wesentlichen aus einem Mikrofon, das als Signalgeber dient, und einem als Signalempfänger arbeitenden Hörer. Die Schallumwandlung auf der Senderseite nutzt verschiedene physikalische Effekte. Bei einem Kohlemikrofon ändert sich durch Einwirkung von Schallwellen der elektrische Widerstand, bei einem Piezo-Mikrofon werden elektrische Spannungen erzeugt. Elektretmikrofone arbeiten nach dem elektrostatischen Prinzip. Manchmal auch eine Membran-Spulen-Anordnung unter Ausnutzung der elektromagnetischen Induktion eine Signalspannung. Je nach Baujahr und Preisklasse arbeitet der Hörer nach dem Membran-Spule-Prinzip (elektromagnetischer Wandler), kann aber auch als kleiner Lautsprecher (elektrodynamisches Prinzip) oder piezoelektrische Hörkapsel realisiert sein. Der Frequenzbereich des übertragenen Schalls entspricht aus wirtschaftlichen Gründen nur einem Ausschnitt des gesamten menschlichen Hörbereichs; eine genügende Silbenverständlichkeit ist bereits gegeben, wenn die Übertragungsfrequenz zwischen einigen Hundert Hertz und einigen Kilohertz liegt.

Der **Tastwahlblock** moderner Telefongeräte (Abb. 2 a) bildete die der gedrückten Zifferntaste entsprechenden Unterbrechungen elektronisch nach (**Pulswahl**). Heutige Fernsprecher, die an elektronische Wählvermittlungen mit digitaler Technik angeschlossen sind, enthalten eine Tastatur, die die gewählten Ziffern als Frequenzkombination (**Tonwahl** bzw. **Mehrfrequenzwahl**, Abb. 2 b) an das Telefonnetz oder eine Telefonanlage aussendet; der ISDN-Anschluss selbst bzw. andere digitale Telefonsysteme wie VoIP benötigen ansonsten keine Mehrfrequenzwahl mehr zur Übertragung der Rufnummer an die Vermittlungsstelle, da bei diesen Systemen die einzelnen Ziffern der Telefonnummer als eine Bitfolge und nicht als Audiosignal übertragen werden.

Vermittlung

►3

Beim Abnehmen des Handgerätes wurde früher durch eine Gleichstromschleife in der **Vermittlungsstelle** ein Vorwähler oder Anrufsucher in Tätigkeit gesetzt. Dieser schaltete einen Drehwähler an die Leitung des anrufenden Teilnehmers, von dem der Anrufer durch den Wähler die Aufforderung zur Zifferwahl erhielt. Grundbaustein der **elektromagnetischen Vermittlungstechnik** war der Edelmetallmotordrehwähler (EMD). Er wurde von den Wahlimpulsen, die von der Tastatur des Telefons ausgehen, gesteuert. Mit 175 Schritten in der Sekunde suchte er aus der Vielzahl von Abnehmerleitungen eine freie aus und schaltet sie mit der Eingangsleitung zusammen.

Seit den 1980er-Jahren werden die Verbindungen an den Knotenpunkten mit elektronischen Schaltern hergestellt. Für die Vermittlung dienen Halbleiterbauelemente, die im **Zeitmultiplex** genutzt werden, d. h. für mehrere gleichzeitige Verbindungen. Als Übertragungsleitungen werden zunehmend Glasfaserkabel (→ Lichtwellenleiter) eingesetzt. Dies ermöglicht eine rein digitale Vermittlung und Übertragung sowie eine Analog-Digital-Wandlung direkt beim Teilnehmer. Die Entwicklung der optischen Nachrichtentechnik ermöglicht hohe Übertragungsgeschwindigkeiten und den Aufbau eines universellen Breitbandkommunikationssystems (z. B. ISDN; → Telekommunikationsnetze).

Mitte der 1990er-Jahre war im Netz der Deutschen Telekom die Umstellung auf digitale Vermittlungsstellen beendet. Damit war auch der Übergang von einem hierarchisch organisierten Telefonnetz zu einem Netz vollzogen, bei dem die Vermittlungsstellen untereinander vermascht aufgebaut sind. Von den vier früheren Vermittlungsebenen sind noch zwei vorhanden. Auf der oberen Ebene arbeiten stark miteinander vermaschte **Fernvermittlungsstellen** (VE:F), die untere Ebene wird von den **Ortsvermittlungsstellen** (VE:O) gebildet, die sternförmig an eine Fernvermittlungsstelle angeschlossen sind. Durchgangsvermittlungsstellen wickeln nur Verkehr zwischen Vermittlungsstellen ab. Auslandsvermittlungsstellen (VE:A) vermitteln den Verkehr zwischen unterschiedlichen Ländern.

Weitere Entwicklung

Durch die Digitaltechnik wurden Datenübertragungsdienste mittels Modem im Telefonnetz möglich. Leistungsmerkmale wie Anklopfen, Dreierkonferenz und Anrufweilerschaltung oder auch das Bildtelefon sind dadurch zum Standard geworden. Inzwischen wird auch das Internet für Telefonie benutzt (VoIP).

1 Prinzip der analogen und digitalen Sprachübertragung

a analog



b digital



2 Tastentelefon

a Modemes Bürotelefon



b Zuordnung der Zeichenfrequenzen bei Tastwahl

Hz	Hz	Hz	
1209	1336	1477	
1	2	3	697 Hz
4	5	6	770 Hz
7	8	9	852 Hz
*	0	#	941 Hz

Hier: Zwei Frequenzwahl, bei der durch Drücken einer Taste der entsprechende Zeilen- und Spaltenwert der Frequenz kurz hintereinander ausgelöst wird.

3 Vermittlungsstelle der Deutschen Telekom



Schnurloses Telefon

Unter schnurlosem Telefonieren versteht man die von einer Verbindungsleitung unabhängige Kommunikation im Heim oder Büro mit stark begrenzter Reichweite. Das schnurlose Telefon (Abb. 1) besteht aus einer an die Telefonleitung angeschlossenen **Basisstation**, einer **Ladestation** und einem **Mobilteil** mit integrierter oder externer Antenne. Das Mobilteil wird von einem Akku gespeist, dessen begrenzte Kapazität ein regelmäßiges Aufladen an der Ladestation erforderlich macht. Die drahtlose Übertragung zwischen Basisstation und Mobilteil erfolgt mithilfe von elektromagnetischen Wellen.

Analoge Übertragungsstandards

Die ersten schnurlosen Telefone wurden in den 1970er-Jahren in den USA eingeführt. Von der dortigen Fernmeldebehörde (FCC) wurden auch die grundlegenden Normen zur drahtlosen Übertragung festgelegt, die heute häufig als **CT0-Standard** (engl. cordless telephon no. 0) bezeichnet werden. Geräte nach dieser Norm arbeiteten analog und benutzten zum Senden und Empfangen jeweils getrennte Funkkanäle im UKW-Frequenzbereich. In Europa wurden sie nie zugelassen, da sie keine hohe Gehörsicherheit bieten und außerdem problemlos von Rundfunkempfängern abgehört werden können. Des Weiteren bestand keine eindeutige Zuordnung zwischen Basisstation und Mobilteil, sodass ein Missbrauch (Telefonieren von fremder Basisstation aus) sehr einfach möglich ist.

1989 wurde von den europäischen Post- und Fernmeldeverwaltungen (CEPT) der **CT1+-Standard** für schnurlose Telefone eingeführt. Für die analoge Sprachübertragung wurden 80 Kanalpaare vorgesehen, die im Frequenzbereich von 930–932 MHz und 885–887 MHz arbeiten. Durch eine geringe Sendeleistung wurde die Reichweite der Geräte auf 200 m im Freien und 50 m im Haus begrenzt. Das System arbeitete nach dem **Frequenzmultiplexverfahren** (FDM, engl. frequency division multiple), bei dem mehrere Signale unabhängig voneinander gleichzeitig über den gleichen Verbindungsweg übertragen werden. Damit sich die Signale nicht beeinflussen und sich am Empfangsort trennen lassen, unterscheiden sie die gleichzeitig verwendeten Frequenzbänder in der Frequenzlage. Beim CT1+-Standard wurde jedem Mobilteil beim Hersteller eine eigene Kennung einprogrammiert, die eine eindeutige Zuordnung zur Basisstation erlaubte, um so einem Missbrauch (vgl. CT0-Norm) vorzubeugen.

Digitale Übertragung

► 2 ► 3

Die digitale Vermittlung (Abb. 2 b) ermöglicht hohe Übertragungsraten und eine Analog-Digital-Wandlung direkt beim Teilnehmer (Abb. 3). 1991 wurde der digitale **CT2-Standard** eingeführt. Geräte, die nach diesem Standard gebaut wurden, senden und empfangen auf 40 Kanälen im Bereich von 864–868 MHz. Mithilfe des **FDMA-Verfahrens** (engl. frequency division multiple access, ein Frequenzmultiplexverfahren für n Benutzer) greifen die Basisstation und das Mobilteil auf diese sogenannten Duplexkanäle zu. Zum Senden und Empfangen wird dabei nur ein einziger Kanal verwendet, der die komprimierten Sprachsignale zeitlich versetzt im **Zeitduplexverfahren** (TDD, engl. time division duplex) überträgt. Dadurch wird das Frequenzspektrum effizienter genutzt und die Qualität der Sprachübertragung gesteigert.

Seit dem 1. 1. 2009 dürfen schnurlose Telefone der Standards CT1+ und CT2 in Deutschland nicht mehr betrieben werden. Die von den Standards genutzten Frequenzen wurden im Rahmen der europäischen Frequenzharmonisierung ungewidmet.

1992 wurde ein einheitlicher europäischer Standard für digitale schnurlose Telefone eingeführt, das **DECT** (engl. digital European cordless telephone). Das System stützt sich bei der Datenübertragung auf das **Zeitmultiplexsystem** (TDM, engl. time division multiplex), das jeden der zehn Trägerkanäle im Frequenzbereich von 1880–1900 MHz in zwölf Zeitschlitzpaare splittet. Dadurch stehen insgesamt 120 Kanäle zum Senden und Empfangen zur Verfügung. Während eines Gespräches im DECT-Standard wird ständig die Qualität des verwendeten Kanals überprüft und der Kanal gegebenenfalls gewechselt. Das System ist abhörsicher, und es können bis zu zwölf schnurlose Telefone gleichzeitig mit der Basisstation verbunden werden (Abb. 2). Dadurch sind Gespräche sowohl zwischen den Mobilteilen als auch vom und zum Amt möglich. Aufgrund dieser Vorteile bietet das DECT-System die Möglichkeit zum Aufbau komplexer Systeme mit vielen Teilnehmern in untereinander verbundenen Funkzellen auf begrenztem Raum. Neben der Übertragung von Sprache ist im DECT-Standard auch die von Daten vorgesehen. Damit wären lokale Netze drahtlos zu realisieren.

Seit einigen Jahren sind sogenannte „strahlungsarme DECT-Telefone“ auf dem Markt, bei denen zum einen die Sendeleistung des Mobilteils reduziert wird, wenn es sich in ausreichender Nähe zur Basisstation befindet, und zum anderen die Basisstation nicht sendet, wenn das Mobilteil aufgelegt ist.

1 Schnurloses DECT-Telefon

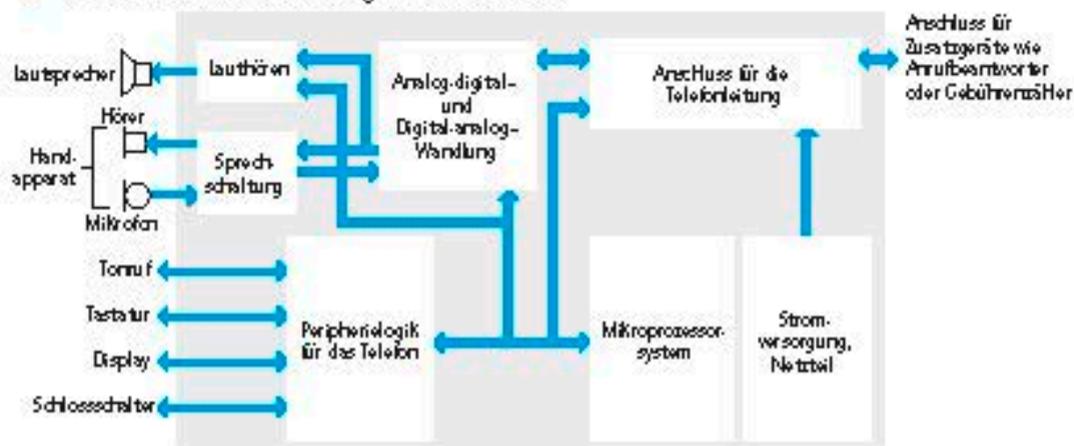


2 Prinzip des schnurlosen Telefons



Mehrere Teilnehmer nutzen dieselbe Basisstation und können auch untereinander telefonieren

3 Blockschaltbild eines digitalen Telefons



Mobilfunk

Mobile Funknetze ermöglichen dem Benutzer eine drahtlose Telekommunikation sowohl innerhalb begrenzter Zonen als auch national und international. Anders als beim klassischen Funken sind Sender und Empfänger nicht direkt verbunden, sondern verkehren über ein Netz von stationären Feststationen miteinander.

Aufbau des Funknetzes

▶ 1

Die Voraussetzungen beim Aufbau eines Funknetzes sind vielseitig: Bei einem begrenzten Angebot an Frequenzen sollen viele Benutzer gleichzeitig auf engstem Raum telefonieren können, und zwar ohne Störungen, und die Verbindung muss bestehen bleiben, auch wenn sich der Teilnehmer während des Gespräches bewegt (z. B. im Auto). Grundsätzlich muss also zu jedem Zeitpunkt eine Funkverbindung zwischen einem stationären Sender (**Funkfeststation**) und dem mobilen Telefon („**Handy**“) gewährleistet sein. Aus Gewichtsgründen sind **Mobiltelefone** mit kleinen Akkus ausgestattet, weshalb sie nur eine begrenzte Reichweite haben. Aufgrund dessen wurden zellulare Mobilfunksysteme aufgebaut (Abb. 1a). Sie unterteilen die geografische Fläche in einzelne **Zellen** mit je einer Feststation (**Basisstation**). Da für den Mobilfunk nur ein begrenzter Frequenzbereich zur Verfügung steht, müssen sich gegebenenfalls mehrere Teilnehmer einen Kanal teilen. Um Störungen trotzdem weitgehend auszuschließen, werden die Zellen verschieden groß ausgelegt. Die Zellradien moderner Mobilfunknetze betragen im ländlichen Bereich ca. 3–10 km (Großzelle), im städtischen Bereich ca. 0,3–3 km (Kleinzelle) und für die Versorgung von abgegrenzten Arealen (z. B. Bahnhof, Einkaufspassage) etwa 50–100 m (Abb. 1b).

Gespräche im Mobilfunknetz

Nach der Anmeldung des Mobiltelefons werden die Teilnehmerdaten in drei Dateien geführt.

- **Heimatdatei:** In ihr wird der Teilnehmer durch die Anmeldung registriert (Wohn- oder Firmensitz).
- **Besucherdatei:** Der Teilnehmer wird in der Besucherdatei eines Funknetzbereichs geführt, in dem er sich gerade befindet.
- **Aktivdatei:** Das eingeschaltete Mobiltelefon wird in der jeweiligen Zelle des Netzsystems registriert.

Beim Einschalten meldet sich das Mobiltelefon bei der nächstgelegenen Basisstation zum „Einbuchen“ an und wird in der Besucherdatei registriert. Die Basisstation „fragt“ bei der Heimatdatei nach „Echtheit“ des Teilneh-

mers und speichert bei Bestätigung den aktuellen Aufenthaltsort. Das Mobilteil befindet sich nun im **Stand-by-Betrieb**. Die Feststation kontrolliert jetzt in konstanten Zeitabständen, ob das Handy sich noch im Stand-by-Betrieb befindet oder z. B. abgeschaltet wurde. Diese Daten werden dann in der Aktivdatei gespeichert.

Ein Anrufer erreicht mit der entsprechenden Vorwahl für das jeweilige Netz die nächstgelegene Funkvermittlung, die die Heimatdatei „benachrichtigt“, welche die Verbindung zur momentanen Basisstation des mobilen Teilnehmers herstellt. Während eines Gespräches wird die Verbindung des Mobiltelefons zur Basisstation fortlaufend geprüft. Verlässt der mobile Teilnehmer den Funkbereich, so wird die Verbindung kurzzeitig unterbrochen und auf eine neue Basisstation umgeschaltet (**Hand-over**).

Digitaltechnik im D- und E-Netz

▶ 2 ▶ 3 ▶ 4

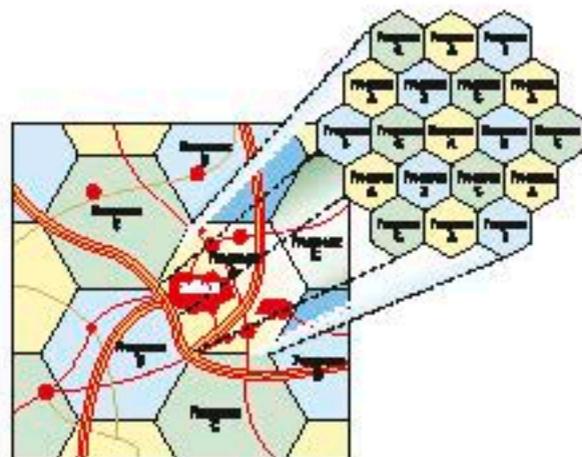
Forderungen nach der Verwendbarkeit von Mobilfunkgeräten in allen Ländern sowie einer besseren Sprachqualität und Abhörsicherheit führten zur Einführung des digitalen **D-Netzes**, das nach der **GSM-Norm** (engl. global systems for mobile communications) im Frequenzbereich von 900 MHz arbeitet (Abb. 2) und das analoge C-Netz ablöste. Die digitalen GSM-Netze sind aus Zellen mit Basisstationen aufgebaut, die über ein Subsystem mit der Funkvermittlungsstelle verbunden sind. In Deutschland gibt es zwei Netze: **D1** von T-Mobile und **D2** von Vodafone. Die Handys sind heutzutage sehr klein und leicht und verfügen über lange Gesprächs- und Stand-by-Zeiten (Abb. 4).

E-Plus betreibt auch ein Netz im **DCS-1800-Standard**, der bei einem Frequenzbereich von 1800 MHz bei gleicher Sendeleistung wie GSM zu einer geringeren Reichweite führt; der maximale Zellenradius liegt bei ca. 8 km. Dadurch kommen die mobilen Telefone mit einer relativ geringen Sendeleistung aus. Durch die Aufteilung in Zeitschlitze beim GSM-Mobilfunk (Abb. 3) ist es möglich, auf einem Funkkanal bis zu acht Gespräche gleichzeitig zu übertragen. Ein solcher Zeitschlitz hat eine Dauer von 577 μ s und entspricht der Zeitspanne, in der ein Teilnehmer einen Übertragungskanal allein nutzt.

Das **UMTS-Netz** ermöglicht die Übermittlung großer Datenmengen (bis zu 7,2 Mbit/s mit dem HSDPA-Verfahren) und den schnellen Internetzugriff. Im Unterschied zu GSM nutzt UMTS ein anderes Frequenzband (1920–2170 MHz), außerdem arbeiten alle Teilnehmer eines Netzes auf der gleichen Frequenz. Die Trennung der einzelnen Kanäle wird dabei mittels eines Codes und nicht mit Zeitschlitzen durchgeführt.

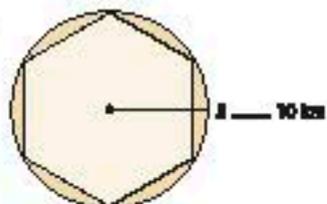
1 Zellaufbau von Mobilfunknetzen

a Einrichten von Kleinzellennetzen

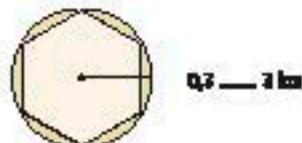


b Typische Größen von Groß-, Klein- und Mikrozellen

Großzelle



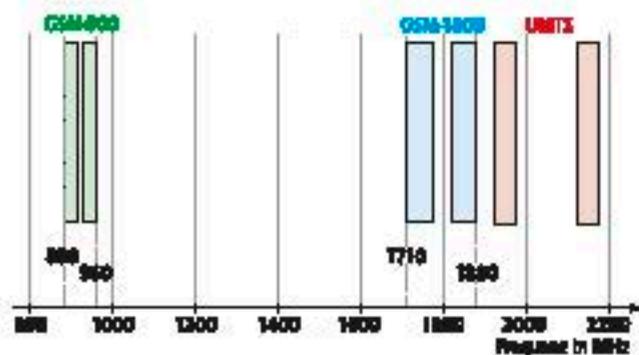
Kleinzelle



Mikrozelle



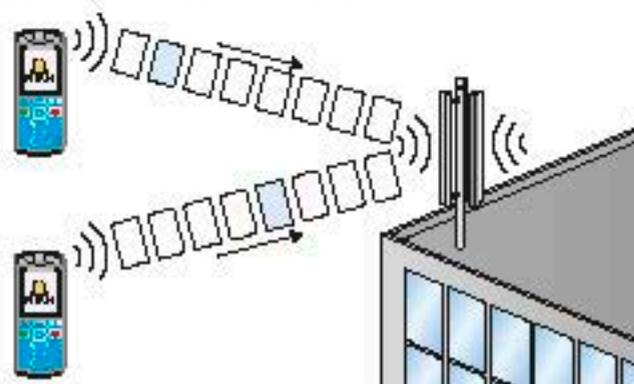
2 Mobilfunk- und UMTS-Frequenzen



4 Klapphandy



3 Zeitschlitzverfahren bei GSM



Smartphones

Seit einigen Jahren werden tragbare elektronische Geräte für mobile Kommunikations- und Datenverarbeitungsaufgaben immer beliebter, die eine Kombination aus einem **Personal Digital Assistant (PDA)** und einem Mobiltelefon darstellen. Solche Smartphones ermöglichen dem Anwender somit neben dem Telefonieren den Zugriff auf eine Reihe von Anwendungen wie Kalender, Organizer, Bilder usw. Die meisten Smartphones integrieren eine Kamera und einen MP3-Player (→MP3) und können, z. B. per Bluetooth oder WLAN, mit anderen Geräten kommunizieren und synchronisiert werden. Die Bedienung erfolgt über eine Tastatur und/oder einen berührungsempfindlichen **Touchscreen** und eine ausgearbeitete Benutzeroberfläche. Über WLAN an entsprechenden Access Points oder über UMTS ist meist auch der Zugriff auf das Internet möglich. So können E-Mails verschickt und Videokonferenzen sowie Internettelefonate (VoIP) durchgeführt werden. Smartphones benötigen in der Regel ein Betriebssystem, um die integrierte Hardware nutzen zu können, wobei ein bestimmtes Endgerät vom jeweiligen Hersteller mit einem installierten System ausgeliefert wird. Verbreitet sind die Betriebssysteme Symbian, Windows Mobile, RIM OS für Blackberrys, iOS für das iPhone der Firma Apple, webOS für Palm-Geräte und Android für Android-Handys wie das Nexus One der Firma Google. Das Betriebssystem ermöglicht es dem Benutzer zudem, selbst Programme nach Belieben zu installieren.

Touchscreens

►1 ►3

Im Unterschied zu gewöhnlichen Handy verfügen die meisten Smartphones über einen berührungsempfindlichen Bildschirm (Touchscreen), der die manuelle Eingabe mit dem Finger oder speziellen Eingabestiften ermöglicht. Bereits 1993 brachte die kalifornische Computerfirma Apple mit dem Newton einen PDA auf den Markt, der sich über einen Eingabestift bedienen ließ. Kurze Zeit später präsentierte auch Palm entsprechende Handhelds. Auch Industriemaschinen, Infomonitore und Fahrkartenmonitore lassen sich schon seit Jahren über den Bildschirm steuern. Das grundsätzliche Prinzip ist dabei immer dasselbe. Vor einem normalen Monitor wird ein Aufsatz angebracht, der auf die Berührung mit Finger oder Stift reagiert; eine Elektronik wertet die Position aus und teilt sie der Software mit. Die oben genannten frühen Geräte, aber auch einige moderne Handys, nutzen das sogenannte **resistive** Verfahren. Ihre berührungsempfindlichen Bildschirme bestehen aus zwei leit-

fähigen Folien, typischerweise aus Indium-Zinnoxid, die durch winzige Abstandshalter voneinander getrennt sind. An einer der beiden Folien wird eine Spannung angelegt. Drückt man nun auf das Display und verbindet damit die beiden Folien, sind an der zweiten Folie – wie bei einem Spannungsteiler – zwei Spannungen messbar, aus denen sich die Koordinaten des Druckpunkts berechnen lassen.

Die Touchscreens von Geräten, die sich mit dem Finger bedienen lassen, funktionieren hingegen wie ein Kondensator und heißen deswegen **kapazitiv**. Eine Glasplatte, die über dem eigentlichen Bildschirm liegt, wird auf beiden Seiten mit einem leitfähigen und transparenten Metalloxyd beschichtet – sie bilden die Kondensatorplatten. Berührt nun ein (leitfähiger) Finger die Glasplatte, ändert sich das elektrische Feld zwischen den Metalloxydschichtungen, weil ein Teil der Ladung auf den Finger abwandert. Damit das Gerät den genauen Ort des Fingers feststellen kann, ist die Glasplatte nicht homogen, sondern mit gegeneinander versetzten Streifen beschichtet. Jeder Kreuzungspunkt dieses Streifengitters, das die Funktion eines Koordinatensystems übernimmt, wirkt nun wie ein Kondensator und erzeugt sein eigenes Signal, wenn er berührt wird und sich sein elektrisches Feld ändert. Daraus können die Koordinaten des Berührungspunkts ermittelt werden.

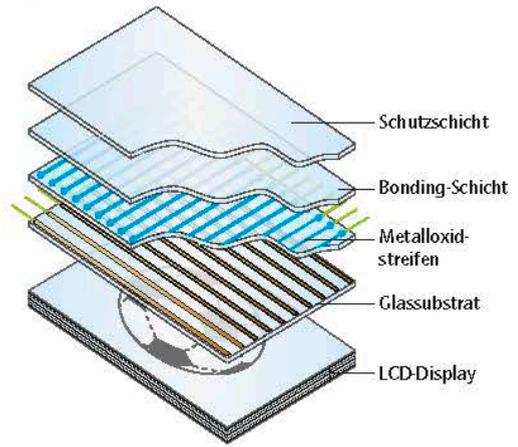
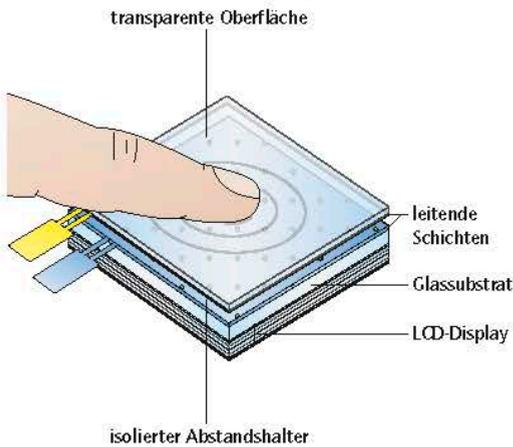
Viele Touchscreens sind so ausgelegt, dass sie den Ort einer Berührung feststellen und fehlerhaft reagieren, wenn man mehrere Stellen des Displays gleichzeitig berührt werden. Manche Touchscreens ignorieren deshalb alle Berührungen außer der ersten.

Multitouch

►2

Bei einigen Smartphones wie dem iPhone von Apple können hingegen mehrere Stellen gleichzeitig berührt werden. Dank dieser von Apple patentierten **Multitouch-Fähigkeit** kann man beispielsweise mit zwei Fingern Bilder zoomen und drehen oder durch Webseiten blättern. Das durch die Berührung des Displays erzeugte Signal läuft zunächst zum Prozessor, der die Eigenschaften der Berührung (Größe, Form, Ort) analysiert. Falls nötig, fasst der Prozessor ähnliche Berührungen zu Gruppen zusammen. Wird ein Finger über das Display bewegt, berechnet der Prozessor die Differenz zwischen Start- und Endpunkt der Bewegung. Mithilfe einer Software, die Gesten interpretieren kann, bestimmt der Prozessor den Gestentyp und übersetzt – abhängig von der laufenden Anwendung – die Bewegung des Fingers in eine Anweisung an die Anwendung. Passt die detektierte Geste nicht zu den verwendbaren Gesten, erfolgt keine Reaktion der Anwendung.

►1 Funktionsweise eines a) resistiven und b) kapazitiven Touchscreens



►2 Multitouch-Gestures



►3 Über den berührungsempfindlichen Bildschirm eines Smartphones lässt sich auch eine Tastatur bedienen

