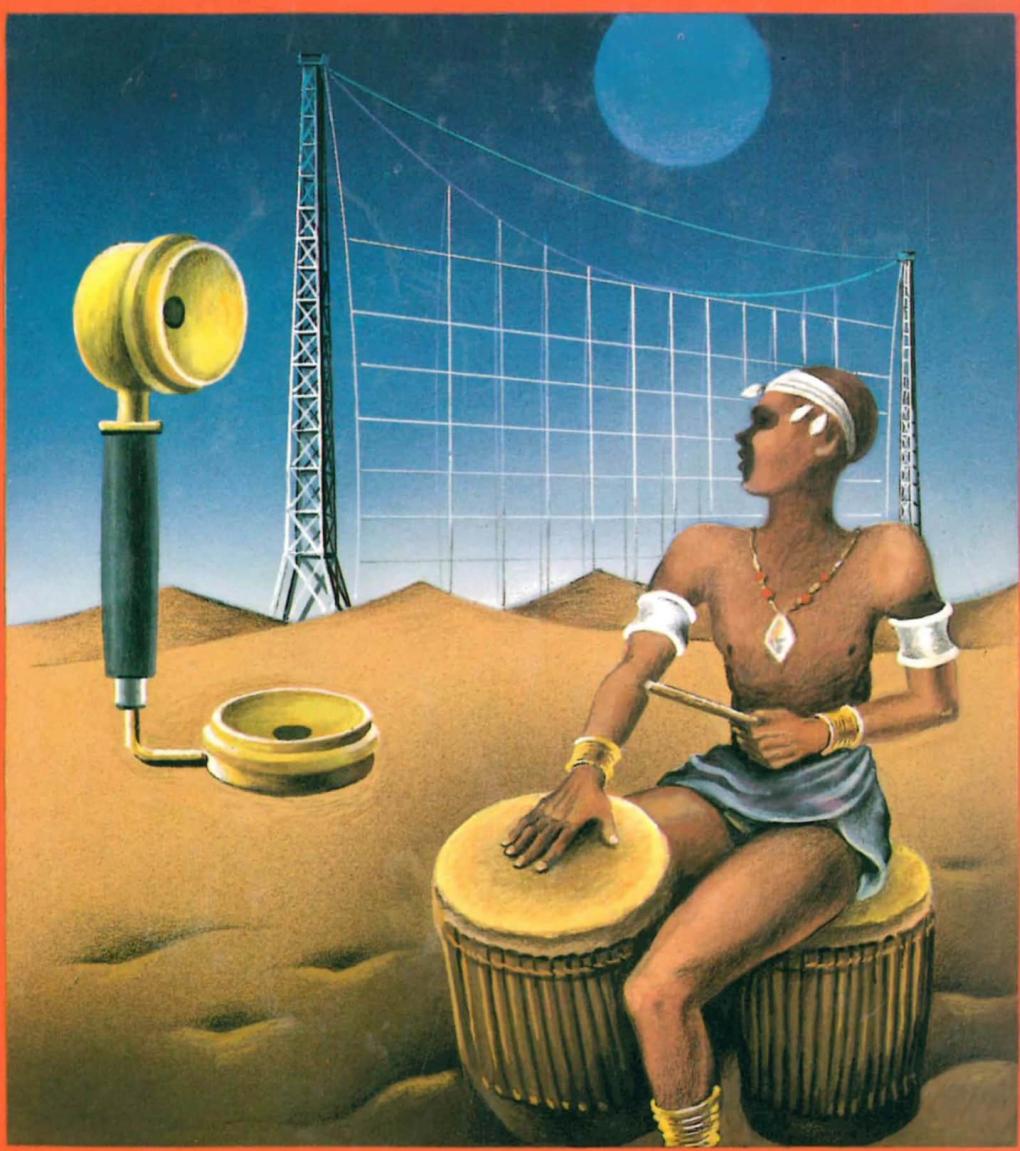
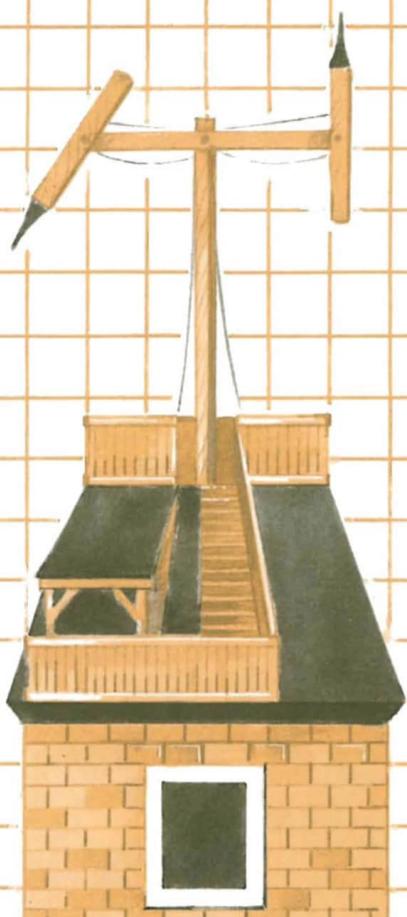
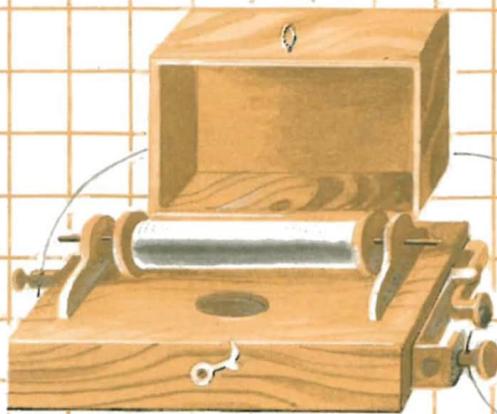


Hans Kleffe **Von der Urwaldtrommel zum Laserstrahl**

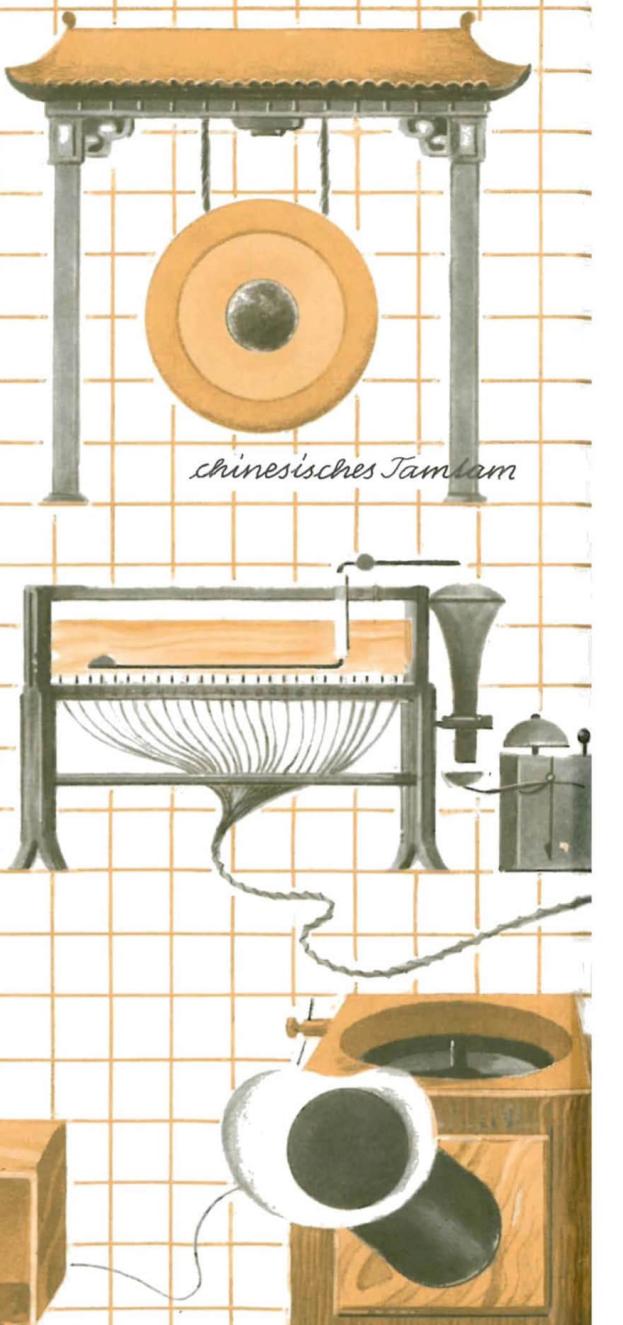


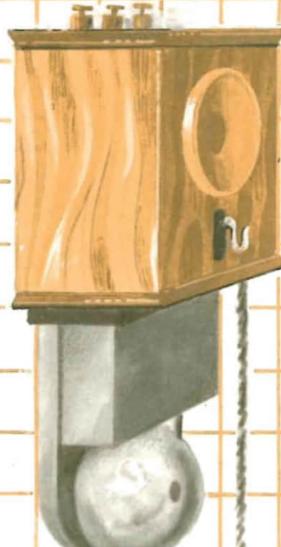
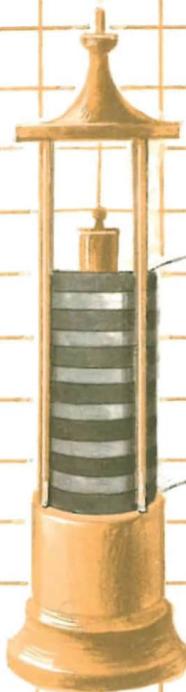


optischer Telegraf



Telefon von Reis

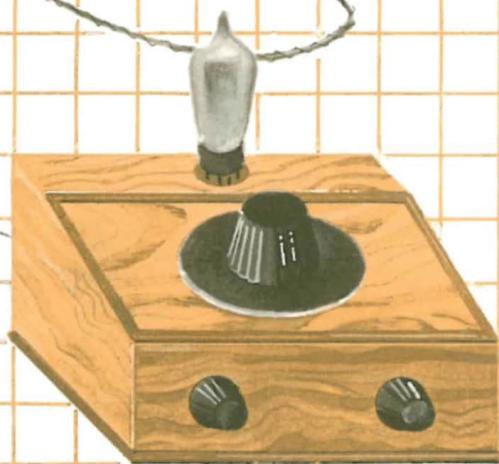
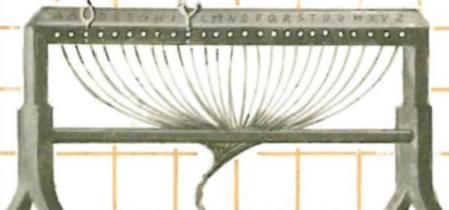
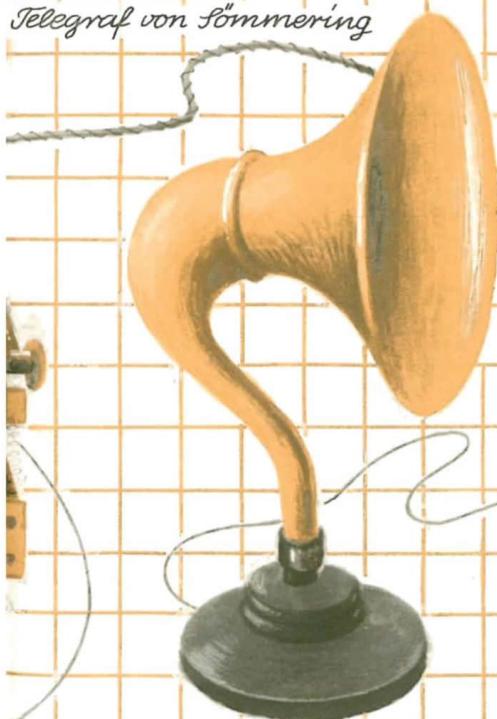




Fernsprecher



Telegraf von Sommering



Radio mit Trichterautsprecher

Hans Kleffe

Von der Urwalttrommel zum Laserstrahl

Hans Kleffe

Von der
Urwaldtrommel
zum Laserstrahl

Aus der Geschichte
der Nachrichtentechnik

Der Kinderbuchverlag Berlin

**Einband und
Illustrationen von Wolfgang Parschau**

Fotos:

Archiv (5)
Karger-Decker (4)
Nowosti (1)
Postmuseum (11)
Rundfunk-Fernsehtechn.
Zentralamt Bln. (2)
VEB Fernmeldewerk
Nordhausen (2)
VEB Sternradio Rochlitz (1)

ISBN 3-358-00182-2

Inhalt

Urwaldtrommeln, Feuerzeichen, Rauchsignale 7

Der erste Marathonlauf 9

Briefe auf der Kopfhaut 11

Die Elektrizität greift ein 13

Telegrafieren mit Gasbläschen 14

Tanzende Nadeln 14

Magnete schreiben Punkte und Striche 16

Kabel über den Atlantik 20

Ferngesteuerte Schreibmaschinen 22

„Geisterschrift“ auf Bildschirmen 23

Telefonieren mit Stricknadel und Holzohr 24

Das Pferd frißt keinen Gurkensalat 26

Nur eine physikalische Spielerei? 27

Elektrische Verwandlungskünste 31

Drehscheibe steuert Automaten 32

Briefe durch den Draht 36

Kommt das Fernsehtelefon? 36

Winzige Fünkchen im dunklen Labor 37

Es begann mit dem Gewittermelder 40

Ein s flog über den Atlantik 41

Gitterspannungen steuern Elektronen 42

Musik huckepack 45

UKW – Welle des guten Tons 47

Warum braucht man Fernsehtürme? 49

Was ist Stereofonie? 49

Gespräche durch gläserne Spinnweben 52

Sonderbare Kabel 53

Die Palette der Wellenbereiche 54

Hohlspiegel für Funkstrahlen 54

Funkstationen im Weltall 57

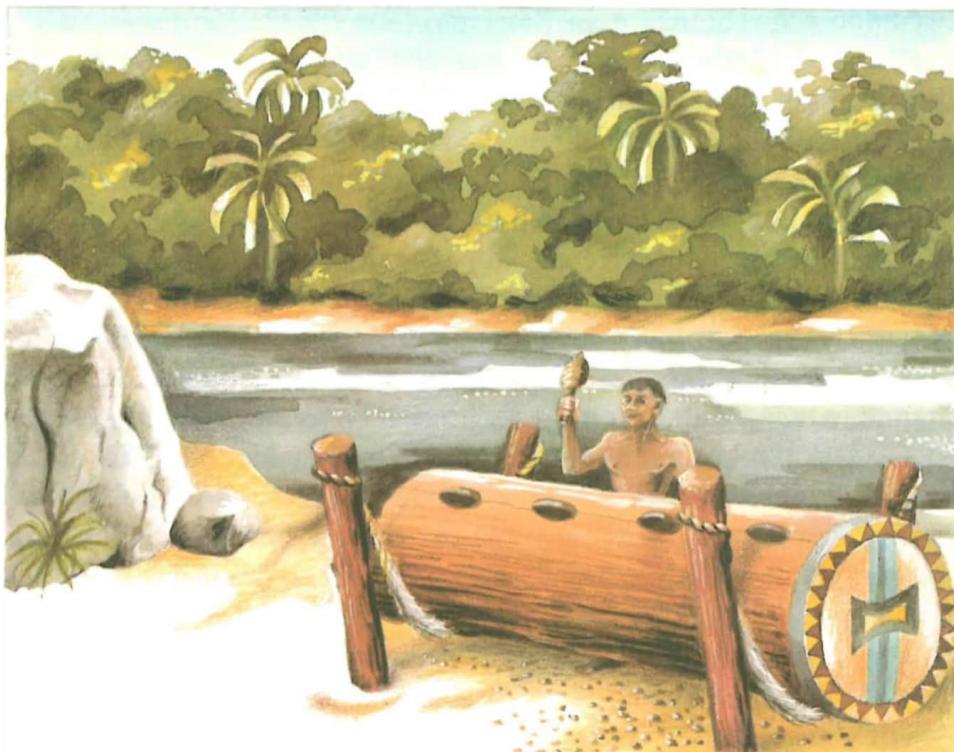
Nachrichten reisen mit dem Laserstrahl 59

<i>Bilder durch den Draht geschickt</i>	60
Die langsame Schwester des Fernsehens	63
<i>Fernsehen durch flitzende Löcher</i>	64
Eine Idee am Weihnachtsabend	65
Nipkowscheibe, Fotozelle, Glimmlampe	67
Gelenkte Elektronensalven	70
Der Trick mit dem Zeilensprung	72
Dunkelzelle oder Schwitzkasten	75
Das elektronische Auge	76
Drei Strahlen und 400 000 „Astlöcher“	79
<i>Weiterführende Literatur</i>	82

Urwaldtrommeln, Feuerzeichen, Rauchsignale

Weite Gebiete im Innern Afrikas und anderer Teile der Erde waren noch bis ins vorige Jahrhundert unerforscht. Die Landkarten verzeichneten sie als große weiße Flecke. Kühne Entdeckungsreisende durchquerten in jahrelangen gefahrvollen Expeditionen die unbekannten Regionen. Wenn sie durch afrikanische Urwälder drangen, hörten sie häufig ein dumpfes rhythmisches Dröhnen. Zunächst wußten sie die Geräusche nicht zu deuten. Schließlich bemerkten sie, daß die einheimischen Stämme durch Trommelsignale Nachrichten über die weißen Fremdlinge von Dorf zu Dorf verbreiteten.

Die Buschtrommel war ein einfaches, aber zweckmäßiges Fernmeldegerät. Viel weiter als man im Urwald und Busch sehen kann, hörte man ihren Schall. Auch die Ureinwohner Amerikas, die Indianer, übermittelten mit riesigen Trommeln Nachrichten. Im al-



Signaltrommel
der Tukano-Indianer Südamerikas

ten China benutzte man das Tamtam, ein großes Blechbecken. Es ist gleichfalls weit hörbar.

Schon bei solchen einfachen Verfahren wurde ein Grundprinzip der Nachrichtentechnik angewendet: Es war vereinbart, daß bestimmte Abfolgen von Signalen bestimmte Bedeutungen haben. So konnten die Menschen Worte nicht mehr nur durch Laute oder Schriftzeichen ausdrücken, sondern auch durch Kombinationen ganz einfacher Signale in festgelegten Rhythmen.

Forschungsreisende berichteten, wie erstaunlich genaue Informationen durch Urwaldtrommeln übermittelt wurden. Wenn sie in das nächste Dorf kamen, wußte der Stammeshäuptling bereits, welcher Weiße der Leiter der Expedition war. Mit Hilfe von Signalen mußte also eine Personenbeschreibung durchgegeben worden sein. Als eine Gruppe einmal kurz vor dem Verdurstsen war, weil die vermutete Wasserstelle trocken lag, kamen ihr Männer mit Wasserkrügen einen halben Tagesmarsch entgegen, um sie zu retten. Sie konnten nur durch die Trommeln von der Gefahr wissen, in der die Fremden schwebten.

Die Verknüpfung verschiedener Signalfolgen mit bestimmten Bedeutungen bildete auch die Voraussetzung für andere, im Altertum gebräuchliche Formen der Fernmeldetechnik. Wie der griechische Dichter Aischylos schrieb, wurde schon die Nachricht von der Eroberung der kleinasiatischen Stadt Troja um 1200 v. u. Z. durch Weitergabe von Feuerzeichen von Bergspitze zu Bergspitze in das 500 km entfernte Argos „telegrafiert“. Dies soll in der Nacht geschehen sein, weil dann Licht sehr weit sichtbar ist. Die alten Römer errichteten besondere Türme mit mehreren Zinnen. Zwischen manchen Zinnen wurden Fackeln entzündet, zwischen anderen nicht. Die wechselnden Anordnungen von Licht und Dunkelheit waren vereinbarte Signale.

Die Verfahren schneller Nachrichtenübermittlung dienten hauptsächlich militärischen Zwecken. Auch bei der Belagerung der griechischen Stadt Plataiai im Jahre 427 v. u. Z. war das der Fall. Es gelang jedoch den Belagerten, die Signale des Gegners zu entschlüsseln. Das versetzte die Eingeschlossenen in die Lage, durch Aussenden eigener Signale bei den Angreifern solche Verwirrung hervorzurufen, daß ihnen unbemerkt der Ausbruch gelang.

Da es viel Zeit in Anspruch nahm, durch Feuerzeichen Wörter

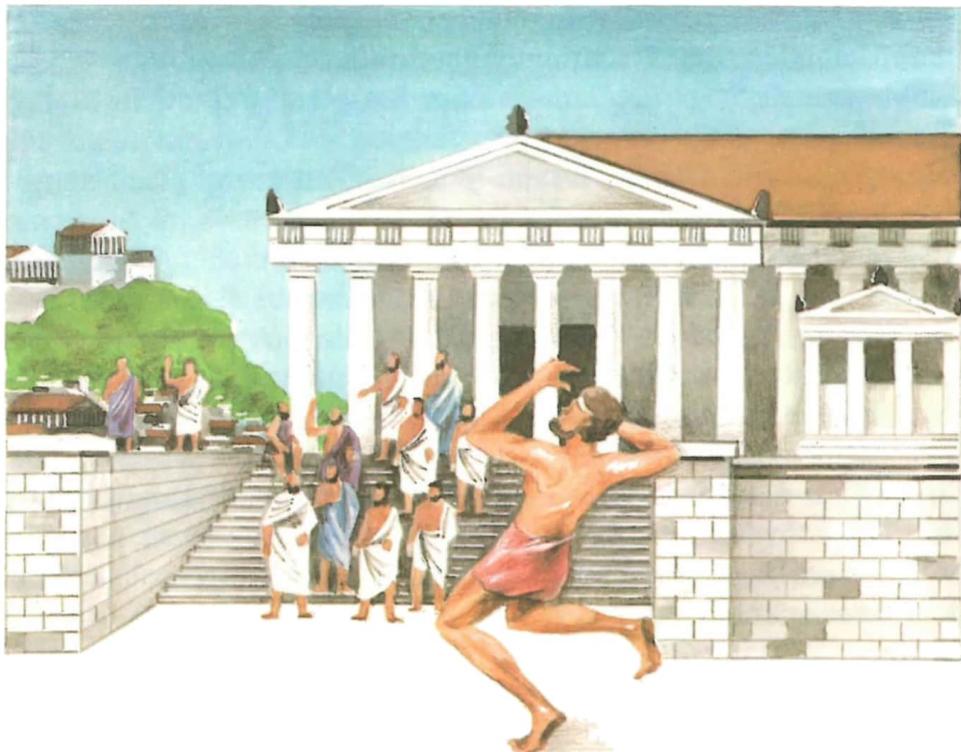
Buchstabe für Buchstabe durchzugeben, sann man nach schnelleren Methoden der Nachrichtenübermittlung. Bestimmte häufig vorkommende Nachrichten wie zum Beispiel: „Feindliche Reiter greifen an“ – „Wir brauchen Verstärkung“ – „Proviant schicken“ oder „Feind flieht“ schrieb man in Zeilen mit genau gleichen Abständen untereinander auf Tafeln. In jedem Signalturm befanden sich solche Tafeln und außerdem Gefäße gleicher Form und Größe. Sie waren mit Wasser gefüllt und hatten eine kleine Auslauföffnung. Auf dem Wasserspiegel lag ein Schwimmer, der mit einem Zeiger verbunden war. Das erste Feuerzeichen gab das Signal zum Öffnen des Abflußlochs, das zweite für das Verschließen. Je nach der inzwischen vergangenen Zeit sank der Wasserspiegel und mit ihm der Schwimmer und Zeiger auf eine bestimmte Zeile der Tafel. So ließ sich in kürzester Zeit ein ganzer Satz übermitteln. Da am Tage kleine Feuer über große Entfernnungen nicht deutlich zu erkennen sind, verwendete man auch Rauch- statt Feuersignale.

Alle beschriebenen Verfahren kann man zusammenfassend als optische Telegrafie bezeichnen, weil dabei Signale benutzt wurden, die über weite Strecken sichtbar waren.

Der erste Marathonlauf

Auch die langsamere Nachrichtenübermittlung durch Boten spielte eine große Rolle. Den Sieg der Athener über die Perser bei Marathon im Jahre 490 v. u. Z. meldete der Überlieferung nach ein Kuriер. Als der Bote die etwa 40 km lange Strecke bis Athen in schnelllem Lauf zurückgelegt und die Kunde überbracht hatte, soll er vor Erschöpfung tot zusammengebrochen sein.

Unser Wort *Post* leitet sich von dem lateinischen *posta* oder *posita* her, das soviel wie Standort bedeutet. Damit waren die Punkte der Beförderungsstrecke gemeint, wo die Boten das Pferd wechselten und ihre Nachtruhe verbrachten. Solche Poststationen gab es schon im alten Perserreich, in Abständen von 20 bis 40 km entlang den Staatsstraßen. Doch wurden durch diese Post nur dienstliche Mitteilungen befördert. Ähnliche Einrichtungen hatten das alte Ägypten, Indien und China. Ein hochentwickeltes System für die



Ein Schnellläufer meldete 490 v. u. Z. den Sieg über die Perser in der Schlacht von Marathon

Überbringung ähnlicher Nachrichten schufen die Römer. Unter ihrem Kaiser Augustus, der von 27 v. u. Z. bis 14 u. Z. regierte, wurde es noch wesentlich verbessert: Die Anwohner der Poststationen waren verpflichtet, anstelle sonstiger Abgaben an den Staat, Pferde und deren Futter sowie Unterkunft und Verpflegung für die staatlichen Briefboten zur Verfügung zu stellen. Die Boten mußten zu Fuß täglich ungefähr 30 km, zu Pferd 75 km zurücklegen. Für besonders dringende Nachrichten gab es später Eilboten, die am Tage mit einem sehr leichten Wagen eine Strecke bis zu 200 km überwanden. Für Sendungen nach dem damals von den Römern beherrschten Nordafrika standen schnellfahrende Segelschiffe bereit.

Persönliche Mitteilungen wurden im Altertum in der Regel durch einen privaten Boten überbracht. Den konnten sich nur reiche Sklavenhalter leisten. Andere Menschen mußten warten, bis jemand sowieso zu dem betreffenden Ort reiste und die „Post“ mit-

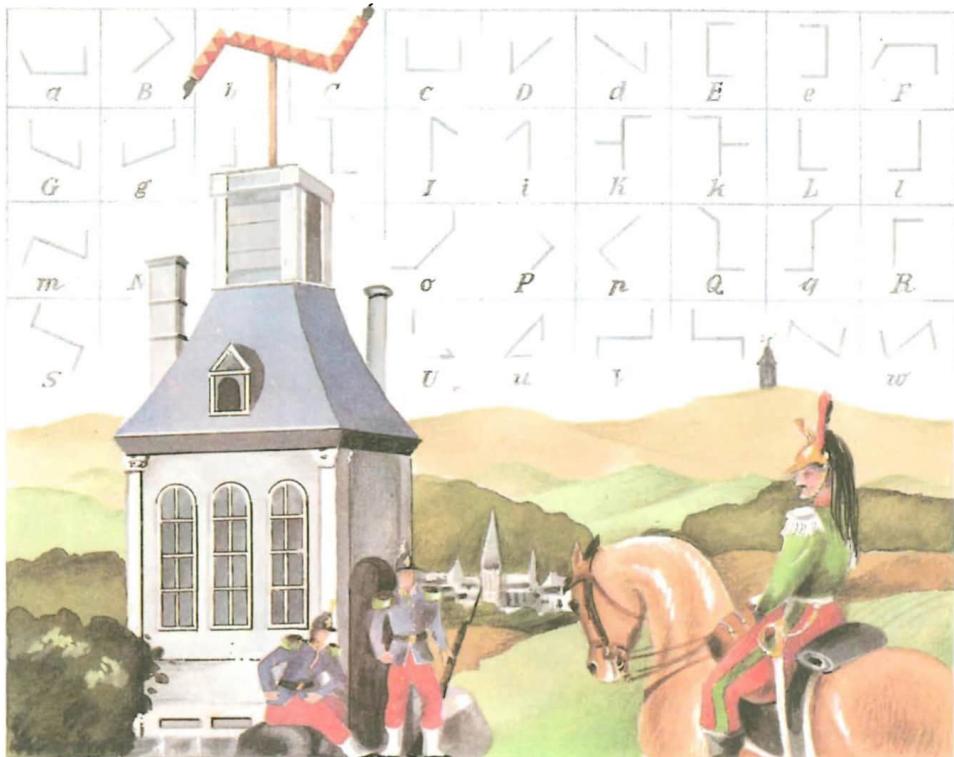
nahm. Sie bestand nicht immer aus einem Schriftstück. Häufig wurden Nachrichten nur mündlich weitergegeben. Handelte es sich aber um einen Brief und wollte man seinen Inhalt gegenüber dem Boten und anderen Unbefugten geheimhalten, so schrieb man ihn beispielsweise auf Wachstäfelchen. Mehrere davon wurden zusammengebunden und versiegelt. Da es aber auch damals schon Schnüffler gab, die sich darauf verstanden, Siegel zu erbrechen und wieder nachzuahmen, schrieben die Absender auf das Wachs manchmal nur einen belanglosen Text, während die eigentliche Mitteilung auf dem Holz stand, das die Wachsschicht des Schreibstaelchens trug.

Briefe auf der Kopfhaut

Damit der Empfänger der Nachricht sicher sein konnte, daß die überbrachte Post wirklich von dem genannten Absender stammte und keine Fälschung war, versahen sich die Briefpartner vorher mit zerbrochenen Stäben, deren Enden aneinanderpaßten. Der Absender und der Empfänger besaßen je eine Stabhälfte. Die des Absenders brachte der Bote mit. Paßte sie an die andere, dann galt der Brief als echt.

Eine ausgefallene Methode dachte sich der griechische Feldherr Histiaios aus. Als er eine geheime Nachricht in seine Heimat schicken wollte, schrieb er die Mitteilung auf den kahlgeschorenen Kopf eines Sklaven. Nachdem diesem das Haar erneut gewachsen war, schickte er ihn auf den Weg mit der Weisung, sich am Ziel das Haupthaar wieder entfernen zu lassen. So kam die Botschaft unberichtet an.

Wenden wir uns wieder der schnellen Nachrichtenübermittlung zu. Mehr als zwei Jahrtausende lang gab es dafür keine anderen Mittel als akustische oder optische Signale. Im Jahre 1793 gelang eine wesentliche Verbesserung. Damals konstruierte der Franzose Claude Chappe einen Mast, dessen Spitze einen beweglichen Querbalken trug, der zwei ebenfalls bewegliche Arme hatte. Diese drei Elemente konnten so zueinander in Stellung gebracht werden, daß sie viele verschiedene Signalbilder darstellen konnten. Buchstaben und Ziffern wurden so von Station zu Station übermittelt. Die er-



Optische Telegrafenstation in Frankreich

ste, 225 km lange Übertragungslinie dieser Art entstand 1794 zwischen den französischen Städten Paris und Lille. Chappe nannte seine Erfindung Tachygraf (Schnellschreiber). Ein Beamter des Kriegsministeriums führte dafür erstmals das Wort Telegraf ein. Es bedeutet Fernschreiber.

In der deutschen Sprache versteht man heute unter einem Fernschreiber aber ein anderes Nachrichtengerät, mit dem wir uns später beschäftigen werden.

Anfang des vorigen Jahrhunderts wurden viele optische Telegrafenlinien eingerichtet. Seit 1832 gab es eine solche Telegrafenverbindung auch von Berlin über Magdeburg nach Koblenz. Zu ihr gehörten 61 Stationen; sie standen – wo immer möglich – auf erhöhten Punkten des Geländes, damit die Signale weit zu sehen waren. Die von Berlin aus vierte Station lag auf dem Potsdamer Telegrafenberg, der danach bis heute benannt ist. Bei klarem Wetter dauerte die Übermittlung eines Telegramms zwischen den End-

punkten der Strecke 30 min. 1839 wurde eine Linie zwischen Petersburg, dem heutigen Leningrad, und Warschau eröffnet. Obwohl die optische Telegrafie auch in vielen anderen Ländern Verbreitung fand, hatte sie empfindliche Mängel. Bei Dunst und Nebel sowie während der Nacht war keine Nachrichtenübermittlung möglich. Zwar versuchte man, die Signalmaste nachts zu beleuchten. Da es aber noch keine sehr leuchtkräftigen Lampen gab, bewährte sich das nicht. Als Überbleibsel beziehungsweise Abwandlungen der optischen Telegrafien kann man die Eisenbahnsignale, die Flaggenzeichen der Marine, die Verkehrsregelung durch Handzeichen und die Lichtsignale der Ampeln betrachten.

Die Elektrizität greift ein

Unabhängig von Wetter und Sicht, von Tag und Nacht, noch dazu äußerst schnell, breitet sich Elektrizität in Metalldrähten aus. Der Gedanke lag nahe, dies für die schnelle Übermittlung von Nachrichten zu nutzen. Wie bei vielen Erfindungen gelang das nicht auf Anhieb, sondern nur schrittweise. 1753, also schon 40 Jahre vor Chappes optischem Telegrafen, wurde in einer englischen Zeitschrift ein elektrischer Telegraf beschrieben. Seine Funktion sollte darauf beruhen, daß sich ungleichnamige, also positive und negative elektrische Ladungen gegenseitig anziehen, gleichnamige dagegen abstoßen. Hängt man beispielsweise zwei Kugelchen aus Holz oder Mark an dünnen Drähten auf und führt ihnen gleichnamige Ladung zu, dann spreizen sie sich auseinander.

Von der Sende- zur Empfangsstation sollten 24 Leitungen verlegt werden, für jeden Buchstaben eine. Im Empfangsapparat befanden sich 24 Kugelpaare, und jedes war mit einer der Leitungen verbunden. Je nachdem durch welchen Draht Ladung übertragen wurde, spreizte sich ein Kugelpaar auseinander und signalisierte so einen Buchstaben. Das war recht umständlich und wegen der vielen Leitungen zu aufwendig. Außerdem konnte elektrische Energie damals nur in kleinen Mengen und auf recht mühsame Weise erzeugt werden. Trotzdem entstand nach diesem Prinzip 1774 in Genf eine Telegrafenanlage. Darüber hinaus erlangte die Erfindung keine praktische Bedeutung.

Telegrafieren mit Gasbläschen

1802 ersann der spanische Ingenieur F. Salva ein Verfahren, das auf der Zerlegung von Wasser durch elektrischen Strom beruht. Wasser, eine chemische Verbindung der Gase Wasserstoff und Sauerstoff, wird dabei in diese beiden Elemente (chemischen Grundstoffe) zerlegt. Wir können das in einem Versuch nachvollziehen. Dafür brauchen wir eine frische Flachbatterie und ein Glas Wasser. Mit Büroklammern befestigen wir am Minuspol und am Pluspol der Batterie jeweils das Ende eines dicken Drahtes. Die beiden anderen Enden hängen wir getrennt voneinander ins Wasser. Nach einiger Zeit perlen am Ende der im Wasser befindlichen Minusleitung winzige Gasbläschen auf. Sie sind das sichtbare Zeichen dafür, daß das Wasser in seine beiden Bestandteile zerlegt wird. Das Experiment gelingt unter Umständen besser, wenn wir an diesem Drahtende noch eine Schraube oder ein ähnliches Metallstück befestigen. Die Zerlegung des Wassers durch elektrischen Strom nennt man **Elektrolyse**.

Da für einen solchen elektrochemischen Telegrafen Strom von der Sende- zur Empfangsstation und wieder zurück floß, also ein Stromkreis geschlossen werden mußte, waren so viele Leiterpaare nötig wie es Buchstaben des Alphabets gibt. Eine solch aufwendige Telegrafenlinie wurde zwischen Madrid und Aranjuez errichtet. Auch sie bewährte sich nicht. 1809 verbesserte der Münchener Medizinprofessor und Naturwissenschaftler Samuel Thomas Sömmerring den elektrochemischen Telegrafen. Er fand ein Verfahren, die Anzahl der Drähte zu verringern. Außerdem endeten alle Leitungen im selben Gefäß, das mit angesäuertem Wasser gefüllt war. Doch auch dieser Telegraf wurde kein Erfolg. Napoleon bezeichnete ihn verächtlich als ein Produkt typisch deutscher Schwärmerei und verwies demgegenüber stolz auf seine gut funktionierenden optischen Telegrafen.

Tanzende Nadeln

Eine für die elektrische Telegrafie und zahlreiche andere Anwendungen der Elektrizität grundlegende Entdeckung gelang 1820 dem dänischen Physiker Hans Christian Oersted. Er bemerkte, daß um

einen stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld entsteht. Es vermag, wie er feststellte, die Nadel eines Kompasses abzulenken. Später kam eine andere wichtige Entdeckung hinzu: Elektrischer Strom lenkt nicht nur Magnetnadeln ab, man kann mit ihm auch Gegenstände aus Eisen und einigen anderen Werkstoffen magnetisieren, also selbst zu Magneten machen. Versehen wir beispielsweise eine große eiserne Kramme oder einen Stab mit vielen Drahtwicklungen und halten die Drahtenden an jeweils einen der Pole einer Batterie, so zieht die Kramme beziehungsweise der Stab Stecknadeln, kleine Nägel und ähnliche Gegenstände aus Eisen an. Kramme oder Stab bleiben aber nur so lange magnetisch, wie Strom durch die Wicklungen fließt. Daher nennt man diese Erscheinung *Elektromagnetismus*.

Die Ablenkarkeit von Magnetnadeln durch Stromfluß ermöglicht ebenfalls eine elektrische Übermittlung von Signalen. Wissenschaftler bauten entsprechende Vorrichtungen. In Petersburg experimentierte ab 1828 Pawel Schilling von Canstatt mit Nadeltelegrafen. Er verwendete nicht für jeden Buchstaben und jede Ziffer eine eigene Leitung, sondern beschränkte sich auf acht Leiterpaare.

Die Magnetnadeln seiner Telegrafen hingen an jeweils einem Seidenfaden, so daß sie besonders leicht abzulenken waren. Außerdem befand sich an jedem Faden eine leichte Papierscheibe, die auf der einen Seite schwarz und auf der anderen weiß war. Je nach Richtung der Ablenkung kehrte sie dem Betrachter die weiße oder schwarze Seite zu. 1835 schuf Schilling auf dem Gelände der Admiralität von Petersburg eine etwa 5,5 km lange Telegrafenlinie.

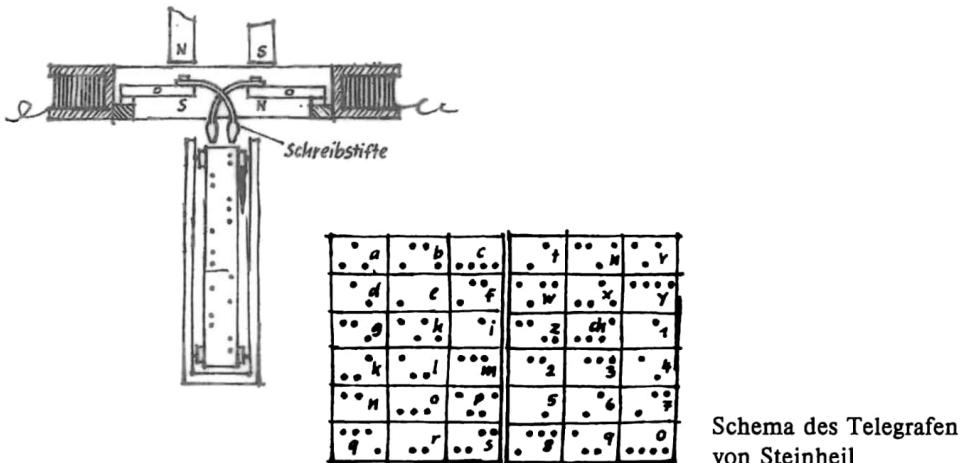
In Göttingen beschäftigten sich die beiden Professoren Carl Friedrich Gauß und Wilhelm Eduard Weber mit der Erforschung des Erdmagnetismus. Denn auch die Erdkugel ist ein riesiger Magnet. An zwei verschiedenen Stellen, im physikalischen Kabinett der Universität und in der etwas außerhalb der Stadt gelegenen Sternwarte, erfolgten zu gleichen Zeitpunkten magnetische Messungen. Um die Ergebnisse auszutauschen, mußte ein Bote den etwa 20 Minuten langen Fußweg zurücklegen. Das war lästig und mit Zeitverlust verbunden. Deshalb spannten die beiden Forscher 1833 über die Häuser hinweg zwei Drähte zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinett. Durch Stromflüsse wechselnder Richtung lenkten sie eine Magnetnadel ab und übermittelten

sich so nach einem verabredeten System die Meßergebnisse. Die Verbindung funktionierte ausgezeichnet. Nur ab und zu rissen die Drähte. Vielleicht hatte sie manchmal ein Göttinger Bürger mit der Zange durchtrennt. Viele Leute hielten das, was die Professoren trieben, nämlich für Teufelszeug. Andere befürchteten, daß die langen Drähte den Blitz anziehen.

Als später Eisenbahnstrecken gebaut wurden, schlug Gauß vor, auch Telegrafenverbindungen entlang diesen Linien zu errichten und dabei anstelle eines zweiten Drahtes die Schienen für die Rückleitung zu benutzen. Ein Schüler von Gauß, der Münchener Professor Carl August von Steinheil, entdeckte schließlich, daß die Schienen dafür nicht nötig sind, weil auch das Erdreich als Rückleitung verwendet werden kann. So kam man jetzt mit nur einem Draht aus.

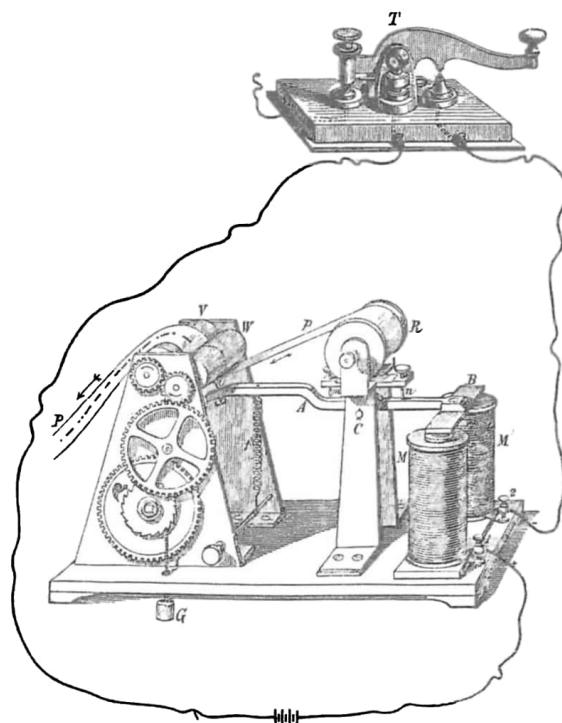
Magnete schreiben Punkte und Striche

Unpraktisch blieb, daß die Signale der Telegrafen nur durch Beobachten erfaßt werden konnten. Carl August von Steinheil sann auf Abhilfe. Er versah zwei Magnetstäbchen mit Schreibstiften. Durch elektrische Stromstöße wurden sie so bewegt, daß sie für einen Moment auf einen Papierstreifen drückten, der sich unter den Stiften mit gleichbleibender Geschwindigkeit hinwegbewegte, angetrieben durch ein Federwerk. So wurden nacheinander Punkte auf den Streifen geschrieben. Im Unterschied zum späteren Morsealphabet



bet verwendete Steinheil keine Striche, sondern nur Punkte, die aber auf dem Streifen in unterschiedlicher Höhe angeordnet waren. Jedem Buchstaben kam so eine bestimmte Anordnung von Punkten zu.

1832 kehrte der amerikanische Kunstmaler Samuel Morse nach einer seiner Studienreisen aus Europa nach Amerika zurück. Die Überfahrt dauerte damals noch ziemlich lange. Um den Passagieren die Zeit zu vertreiben, unternahm der mitreisende Bostoner Professor Charles T. Jackson verschiedene Experimente und erläuterte auch die vor noch nicht langer Zeit erfundenen elektromagnetischen Telegrafen. Morse interessierte sich sofort dafür und beschloß, selbst einen solchen Apparat zu bauen. Zu Hause angekommen, konstruierte er eine recht große und ungefüige Vorrichtung. Ein Elektromagnet wurde durch Stromstöße erregt und zog einen Anker an, der mit einem Schreibstift verbunden war. Als Anker bezeichnet man in der Elektrotechnik einen Eisenkörper, der von einem Magneten angezogen wird und dabei bestimmte Funktionen bewirkt. Zunächst zeichnete Morse mit diesem Gerät Zickzacklinien auf einen abrollenden Papierstreifen.



Telegrafenapparat von Morse

Der grob gebastelte Apparat wäre wahrscheinlich schnell der Vergessenheit anheimgefallen, wenn sich nicht drei weitere Erfinder – Leonhard Gale, Joseph Henry und Alfred Vail – für ihn interessiert und gemeinsam mit Morse verbessert hätten. Nun konnte man auch die Punkte und Striche des Morsealphabets aufzeichnen. Wie wir wissen, war sein Grundprinzip – wenn auch nicht in der endgültigen Form – schon früher gebräuchlich. Die für die Zeichenschreibung erforderlichen Stromflüsse erzeugte man jetzt durch kurzes oder etwas längeres Niederdrücken einer Taste. Sie schloß und öffnete abwechselnd einen elektrischen Kontakt. 1837 erfolgte auf einer 16 km langen Versuchsstrecke die Vorführung des Telegrafen. Die Behörden scheuteten jedoch zunächst das Geld für die Errichtung von Telegrafenlinien. Erst 1843 kam es zum Bau einer Verbindung zwischen Washington und Baltimore. Danach setzte sich der elektrische Telegraf schnell durch. Es entstanden viele Linien entlang den Eisenbahnstrecken.

Die Morsezeichen konnten nur durch dafür ausgebildete Telegrafisten gesendet und entschlüsselt, also wieder in für jedermann lesbaren Klartext übertragen werden. Einige Wissenschaftler, insbesondere in Europa, bauten hingegen Zeigertelegrafen, die auch Laien zu bedienen und abzulesen vermochten. Dabei wurden durch Einschalten des Stroms die Nadeln zweier genau gleicher Apparate in der Sende- und in der Empfangsstation so lange wie ein Uhrzeiger bewegt, bis sie auf einen Buchstaben wiesen. Ähnlich wie die Ziffern bei der Uhr waren auf einer Scheibe rundum die Buchstaben angeordnet.

Diese Zeigertelegrafen erwiesen sich jedoch als sehr fehleranfällig. Häufig stand der Zeiger beim Sender beispielsweise schon auf dem R, während er im Empfänger erst das Q oder einen noch weiter zurückliegenden Buchstaben des Alphabets erreicht hatte. Der deutsche Techniker Werner von Siemens beseitigte diese Fehlerquelle später und schuf einen Telegrafen, bei dem die Zeiger durch viele kurze Stromstöße schrittweise von Buchstabe zu Buchstabe zeitgleich vorrückten. Doch dauerte das Signalisieren der Schriftzeichen auf diese Weise viel länger als beim Morsetelegraf. Dieser konnte daher nicht verdrängt werden.

Inzwischen waren die Telegrafisten dazu übergegangen, die Morsezeichen zu hören und nicht erst vom Papierstreifen abzulesen.

Das Morsealphabet

a	.-	m	--	y	-...-
ä	.-.-	n	-.	z	-...-
b	-...	o	---	0	-----
c	-...-	ö	----	1	.-----
ch	----	p	---	2	-----
d	-..	q	----	3	-----
e		r	.-.	4-
f	...-.	s	...	5	.....
g	-..	t	-	6	-.....
h		u	...-	7	-....
i	..	ü	----	8	-....
j	-...-	v	....	9	-....
k	-..-	w	.-.		
l	-...	x	----		

Punkt	.....	Bruchstrich	-....
Komma	-....-	Anfangszeichen	-...-.
Apostroph	.....-	Schlußzeichen	.-.-.
Doppelpunkt	-----	Verstanden-
Bindestrich	-.....	Irrung-
Klammer	-....-	Aufforderung	
Fragezeichen	.....	zum Senden	-.-
Unterstreichung	.....-	Warten	-....
Anführungszeichen	.....	
Auslassungszeichen	.....	
Doppelstrich	-....		
Trennung	.....	

Sie schrieben die Telegramme nach dem Gehör in Klartext nieder. Für das Hören der Zeichen war ab 1850 ein sogenannter Klopfer gebräuchlich. Das war ein Anker, der durch die Stromflüsse in Bewegung versetzt wurde; die kurzen und langen Klopfzeichen ließen sich deutlich unterscheiden. Später machte man die Morsezeichen durch kurze und längere Pfeiftöne hörbar.

Nachdem das Grundprinzip der elektrischen Telegrafie praxis-

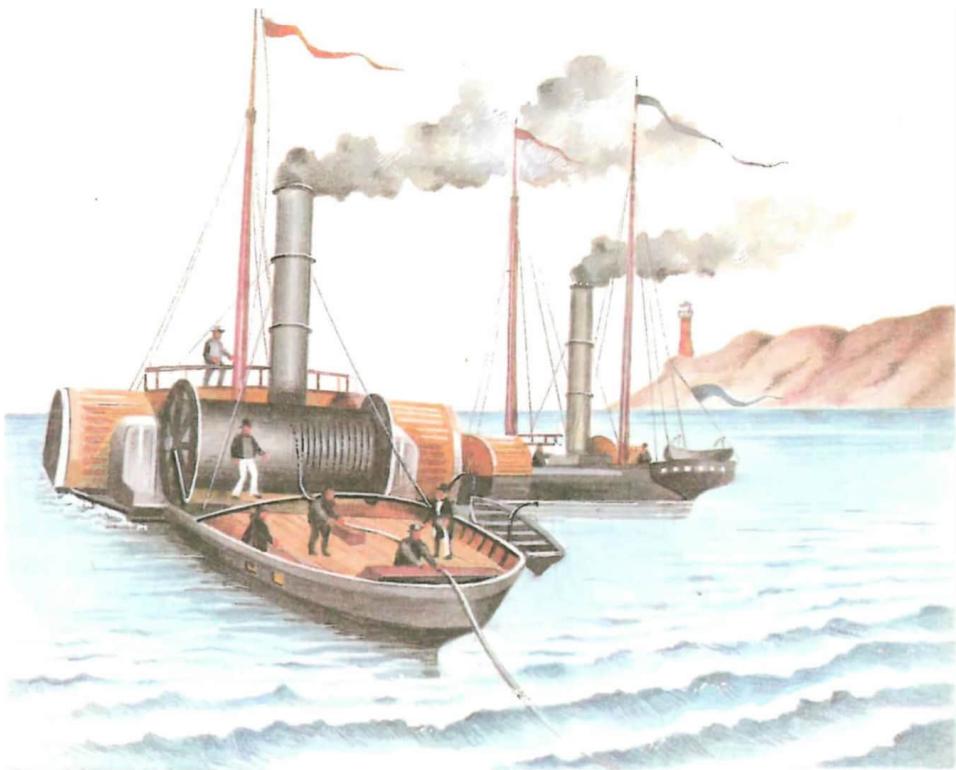
reif entwickelt war, richteten sich die weiteren Verbesserungen vor allem darauf, die Geschwindigkeit der Zeichenübermittlung immer weiter zu steigern, um so über eine Leitung möglichst viele Telegramme durchgeben zu können. Dafür wurden Vorrichtungen konstruiert, bei denen das Öffnen und Schließen des Kontakts nicht mehr von Hand durch Telegrafisten, sondern mit Hilfe einer Maschine erfolgte. Sie wurde über einen Lochstreifen gesteuert. Das ist ein schmaler Papierstreifen, auf dem die einzelnen Zeichen durch verschiedene Anordnungen kleiner Löcher dargestellt, codiert sind. Er war freilich erst mit dem dafür erforderlichen Lochmuster zu versehen. Dabei kam es nicht unbedingt auf größte Schnelligkeit an. Entscheidend war, daß dann, wenn die Signale über die Leitung liefen, alles so schnell wie nur möglich ging, um die Verbindung bis zum höchstmöglichen Maße auszunutzen.

Lochstreifengesteuerte Maschinentelegrafen senden bis zu 600 Buchstaben oder Ziffern je Minute.

Kabel über den Atlantik

Die Morsetelegrafie führte in wenigen Jahren dazu, daß Nachrichten innerhalb desselben Erdteils mit einer vorher nie bekannten Schnelligkeit verbreitet werden konnten. Das Neueste aus Amerika traf in Europa aber erst ein, wenn es inzwischen bereits etwa zwei Wochen alt war; denn so lange dauerte die Überfahrt mit Schiffen. Rascher konnten Nachrichten von einem Kontinent zum anderen nur durch Verlegen eines Kabels quer über den Atlantischen Ozean gelangen. Doch erwies sich dieses Vorhaben als sehr schwierig. Beim ersten Versuch rollten die Kabel so schnell von Bord der Schiffe, daß diese dabei in Gefahr gerieten, beschädigt zu werden. Man mußte die teuren Kabel kappen, abschneiden. Im Sommer 1858 trafen sich erneut zwei Schiffe in der Mitte des Atlantischen Ozeans. Von dort aus fuhren sie in entgegengesetzte Richtungen nach Nordamerika beziehungsweise Europa und versenkten dabei Kabel ins Meer. Diesmal gelang das Unternehmen. Doch das Kabel hielt nicht lange. Erst ab 1866 konnten dauerhafte transatlantische Kabel verlegt werden.

In die heutigen Überseekabel sind in Abständen von 30 bis 50 km wasserdicht eingeschlossene Verstärker mit eingebaut. Sie



Spezialschiffe für die Verlegung von Kabeln durch den Atlantischen Ozean, 19. Jh.

werden durch Leitungen, die sich ebenfalls im Kabel befinden, mit Strom versorgt. Da sich elektrische Signale bei der Ausbreitung über lange Strecken abschwächen, müssen sie zwischendurch immer wieder verstärkt werden. Über das Kabel sind nicht nur Telegramme, sondern auch Telefongespräche zwischen den Kontinenten in beiden Richtungen möglich.

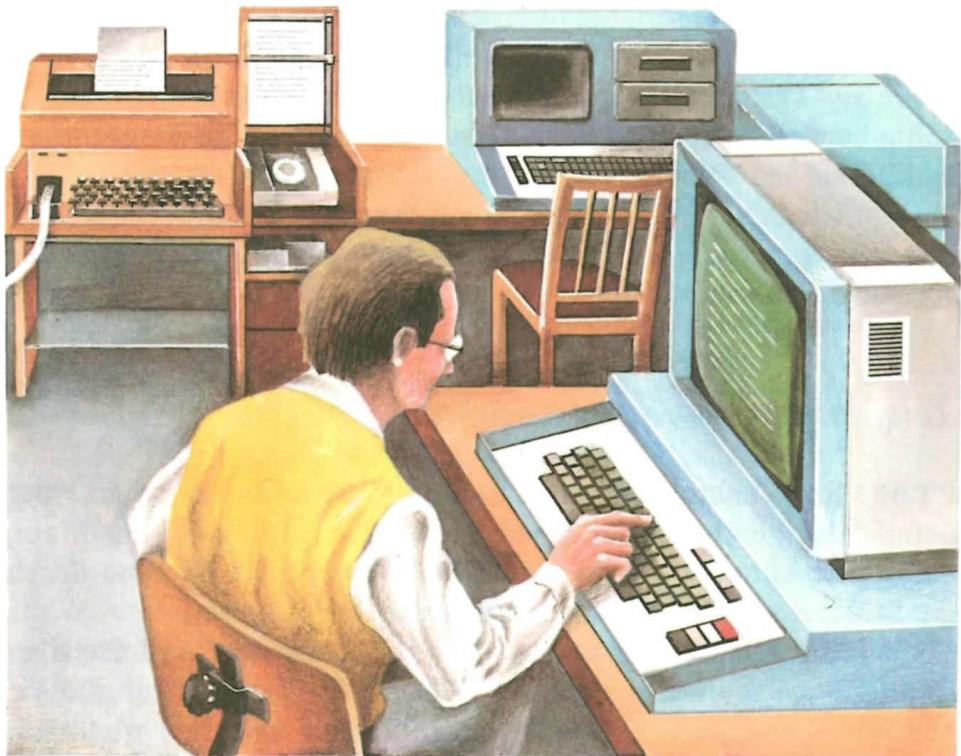
Wenn wir heute ein Telegramm aus einem anderen Ortsteil oder einer weit entfernten Stadt unseres Landes bekommen, dann hat dafür allerdings kein Telegrafist und auch kein Maschinentelegraf mehr Morsezeichen gesendet. Das deutsche Wort Fernschreiber bezeichnet inzwischen ein Gerät, das statt ihrer direkt lesbare Buchstaben, Ziffern und Satzzeichen ausdrückt. Dabei wird auf die Groß- und Kleinschreibung von Wörtern verzichtet. Alle Fernschreiben und Telegramme sind also in Kleinbuchstaben geschrieben. Zahlen werden zur Sicherheit gegen mögliche Übertragungsfehler wiederholt.

Ferngesteuerte Schreibmaschinen

Damit der empfangende Fernschreiber die gleichen Buchstaben, Ziffern und Zeichen schreibt, wie sie in den sendenden mittels der verschiedenen Tasten eingegeben werden, müssen für jedes Zeichen unterschiedliche elektrische Signale gebildet werden. Das entspricht dem Grundprinzip der Morsetelegrafie. Allerdings verwendet man beim Fernschreiben nicht die Morsezeichen, sondern ein weiterentwickeltes internationales Telegrafenalphabet. Die elektrischen Signale haben die Form von kürzeren und längeren Stromflüssen mit dazwischenliegenden Pausen bestimmter Dauer. Sie werden im sendenden Gerät auf eine komplizierte Weise erzeugt, die mit wenigen Worten nicht zu erklären ist. In der empfangenden Maschine werden die elektrischen Signale durch eine entsprechende Vorrichtung wieder entschlüsselt und dabei das Drucken des betreffenden Buchstabens und so weiter ausgelöst.

Äußerlich ähneln die Fernschreibgeräte einer Schreibmaschine. Wie diese haben sie Tasten, Typenhebel, einen beweglichen Wagen, um dessen Walze das Papier läuft, auf das die Zeichen geschrieben werden. Doch ist das Papier nicht in Bogen geschnitten, sondern in ganzer Länge aufgerollt. Das Weiterdrehen der Walze um eine Zeilenbreite nach dem Vollenden einer Zeile sowie der Rücklauf des Wagens zum nächsten Zeilenanfang erfolgen ebenfalls auf entsprechende elektrische Signale hin automatisch. Moderne Fernschreibmaschinen gibt es seit etwa 1930. Um 1932 begann der Selbstwählbetrieb für das Herstellen der Verbindung zwischen Sender und Empfänger. Dieses Nachrichtensystem wird Telex genannt.

Die bisher geschilderten Fernschreiber funktionieren elektromechanisch. Das bedeutet, Schließen und Öffnen der Kontakte für den Stromfluß erfolgen durch bewegte Teile. Künftig kommen in zunehmendem Maße elektronische Fernschreibmaschinen zur Anwendung. Dabei werden die Stromflüsse durch elektronische Schaltungen aus Halbleiterbauelementen erzeugt. Mit solchen Fernschreibgeräten können noch mehr verschiedene Signale und dementsprechend unterschiedliche Zeichen übermittelt und ausgedruckt werden.



Nachrichtenredakteur am Bildschirmgerät

„Geisterschrift“ auf Bildschirmen

Auch Typenhebel und Druckwerk entfallen bei manchen modernen Nachrichtengeräten. So erhalten zum Beispiel zentrale Nachrichtendienste die Meldungen aus ihren Bezirksredaktionen nicht mehr durch einen Fernschreiber auf Papier ausgedruckt, sondern auf einem Bildschirmgerät angezeigt. Es hat eine Bildröhre wie ein Fernsehempfänger. Auf ihm erscheinen die Texte. Für die Bearbeitung der Meldungen werden die Texte von dem Redakteur nicht zu Papier gebracht. Er kann mittels entsprechender Tasten den Text gleich auf dem Bildschirm bearbeiten, also ergänzende Sätze einfügen, manche Teile der Meldung streichen, Sätze umstellen, Wörter ändern und so weiter. Mit solchen Geräten werden also durch das Betätigen von Tasten Wörter und Sätze zeilenweise auf den Bildschirm statt auf Papier geschrieben. Sie bleiben dort sichtbar, so lange man es wünscht.

Der zentrale Nachrichtendienst leitet die bearbeiteten Meldungen an die Zeitungsredaktionen weiter. Dabei lassen sich von einer Stelle aus Fernschreibverbindungen zu vielen Redaktionen gleichzeitig herstellen. In allen Zeitungen klappern also die Fernschreibmaschinen zur selben Zeit und drucken den gleichen Text aus.

Damit haben wir der Entwicklung der Nachrichtentechnik zeitlich weit vorgegriffen. Blenden wir deshalb zurück in die Mitte des vorigen Jahrhunderts.

Telefonieren mit Stricknadel und Holzohr

Philipp Reis, Lehrer für Mathematik, Physik und Chemie an einer Schule der kleinen Stadt Friedrichsdorf bei Frankfurt am Main, hatte eine kühne Idee: Er wollte die menschliche Stimme durch Draht übertragen. Wie kam er darauf?

Im Jahre 1837 entdeckte der amerikanische Arzt und Physiker Charles Page „galvanische Musik“. Damit war ein leises brummendes oder singendes Geräusch gemeint, das entsteht, wenn ein Eisenstab mit vielen Windungen isolierten Drahtes, also mit einer Spule umgeben wird und durch diese ein Strom fließt. Wird der Strom viele Male in der Sekunde ein- und ausgeschaltet oder umgepolt, so daß er abwechselnd in die eine und in die andere Richtung fließt, verursacht dieser Vorgang ein Brummen.

Wie wir bereits wissen, erzeugt die stromdurchflossene Spule dabei Elektromagnetismus. Es entsteht also ein magnetisches Kraftfeld, das sich im Rhythmus des Ein- und Ausschaltens des Stroms aufbaut und wieder zusammenfällt. Erfolgt eine dauernde schnelle Umpolung, dann wechselt das Magnetfeld ebenso rasch seine Richtung. In beiden Fällen wird der Eisenstab durch die Magnetisierung geringfügig verformt und dadurch in winzige Hin- und Herbewegungen versetzt. Solche schnellen Bewegungen um eine Mittelpunktslage bezeichnet man als mechanische Schwingungen. Auf ihnen beruht all das, was wir als Schall hören, also Töne, Klänge und Geräusche.

Was mechanische Schwingungen sind, können wir uns am Beispiel des Schaukelns veranschaulichen. Dabei schwingen wir von einer Mittelpunktslage aus bis zu einem bestimmten Punkt nach



Darstellung einer mechanischen Schwingung. Die Kugel schwingt von der Mittelpunktslage nach links, von dort aus über die Mittelpunktslage hinaus nach rechts und dann wieder zurück zur Mittelpunktslage. Einen solchen Bewegungszyklus nennt man **Schwingungsperiode**. Der Abstand zwischen der Mittelpunktslage und einem Endpunkt der Bewegung heißt **Amplitude**, die Anzahl der Schwingungen je Sekunde **Frequenz**

links, von diesem in entgegengesetzter Richtung über die Mittelpunktslage hinaus nach rechts, dann wieder nach links und so fort in ständigem Wechsel. Die Bewegungsfolge von der Mittelpunktslage zu dem einen Endpunkt, von diesem zum entgegengesetzten Endpunkt und zurück bis zur Mittelpunktslage wird zusammenfassend als eine **Schwingungsperiode** bezeichnet. Die Anzahl der Schwingungsperioden, die innerhalb einer Sekunde aufeinanderfolgen, heißt **Frequenz**. Sie wird in der Einheit Hertz (Kurzzeichen: Hz) angegeben.

Beim Schaukeln werden wir es kaum auf 1 Hz bringen. Die Frequenzen der mechanischen Schwingungen des hörbaren Schalls sind sehr viel größer. Sie betragen zwischen 16 und etwa 20 000 Hz. Doch ist die Schwingungsweite, also der Abstand zwischen der Mittelpunktslage und den Endpunkten der Bewegung, bei den Schallschwingungen winzig klein. Meist ist sie so klein, daß wir an dem Gegenstand, der in Schallschwingungen versetzt wird, mit bloßem Auge keine Bewegungen erkennen, zumal sie ja äußerst schnell aufeinanderfolgen.

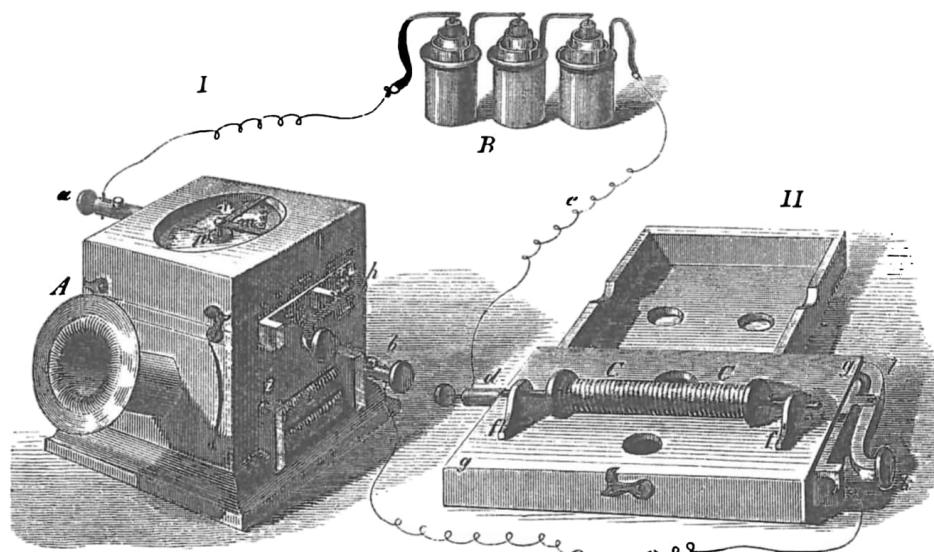
Auch unsere Stimmorgane geraten, wenn wir sprechen oder singen, in mechanische Schwingungen. Sie stoßen hierbei Gasteilchen der umgebenden Luft zu ebenso schnellen Hin- und Herbewegungen an. Dieses Schwingen breitet sich rundum durch die Luft aus, weil jedes Teilchen seine Nachbarn anstößt, diese wieder ihre

Nachbarn und so fort. Schließlich übertragen die Luftteilchen ihre Schwingungen auch auf das Trommelfell genannte Häutchen im Ohr. Von hier breiten sich mechanische Schwingungen weiter bis in das Innere des Ohrs aus. Im Zusammenwirken mit dem Nervensystem entstehen dabei Gehörempfindungen.

Das Pferd frißt keinen Gurkensalat

Philipp Reis baute ein großes hölzernes Modell der menschlichen Ohrmuschel und versah sie anstelle des Trommelfells mit einer Membran, einem Häutchen aus Schweinedünndarm. Darauf klebte er ein Stückchen Platinblech. Platin ist ein Edelmetall, das eine besonders hohe elektrische Leitfähigkeit hat. Das Blech berührte locker eine Metallspitze. Im Rhythmus der Schallschwingungen entstand so abwechselnd Berührung und Nichtberührung – elektrotechnisch ausgedrückt: Kontakt und Unterbrechung – zwischen dem Platinblech und der Metallspitze. Dadurch wurde der Stromkreis abwechselnd geschlossen und unterbrochen, der Stromfluß also in viele kurze Stromstöße zerhackt. Diese Vorrichtung nannte Reis den Geber.

In dem als Hörer verwendeten Apparat befand sich eine Spule, die einen Eisenstab – Reis benutzte dafür eine Stricknadel – um-



Telefon von Philipp Reis, 1861

gab. Die Stromstöße gelangten über eine Leitung in diese Spule und erzeugten folglich Elektromagnetismus, durch den die Stricknadel in schnell aufeinanderfolgende mechanische Schallschwingungen geriet. So konnte man Worte, die in das Holzohr gesprochen wurden, wieder hören. Befanden sich Geber und Hörer in verschiedenen Räumen, dann war eine Übertragung der menschlichen Stimme von einem zum anderen Ort möglich. Diesen einfachen Vorläufer des Telefons baute Reis 1859. Bald merkte er, daß eine getreue Nachbildung der Ohrmuschel nicht nötig ist, sondern ein Holzkästchen mit schwingender Membran genügt. 1861 verfügte er über eine verbesserte Ausführung; in der Friedrichsdorfer Schule stellte er mit ihr eine Fernsprechverbindung vom Physikraum über den Spielplatz hinweg zu einem Klassenzimmer her.

Die anwesenden gelehrten Herren wollten zunächst nicht glauben, daß es mit rechten Dingen zugegangen. Da die in den Geber gesprochenen Worte aus einem Buch vorgelesen wurden, verdächtigten sie Reis, er habe den Text auswendig gelernt und würde ihn nur deshalb verstehen. Um das zu prüfen, kam jemand auf die Idee, unsinnige Sätze wie: „Die Sonne ist aus Kupfer“ und „Das Pferd frißt keinen Gurkensalat“ in den Geber zu sprechen. Erst als diese unmöglich zu erratenden Sätze ebenfalls verstanden wurden, waren die Zweifler von der Echtheit der Sache überzeugt.

Nur eine physikalische Spielerei?

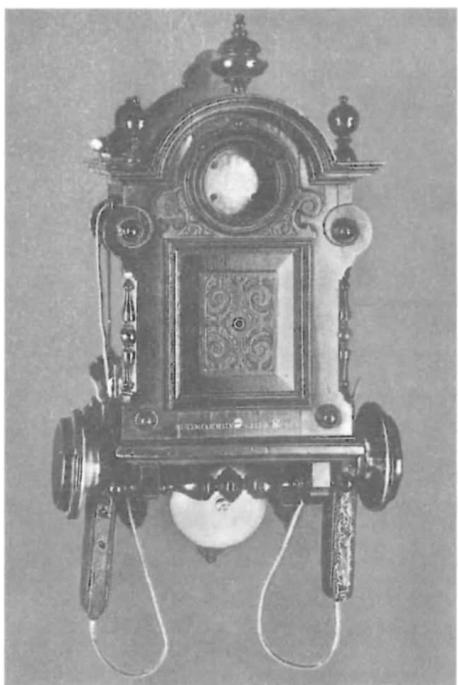
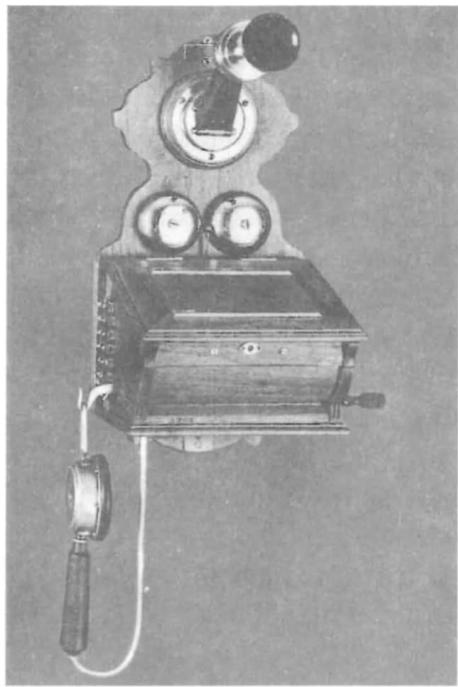
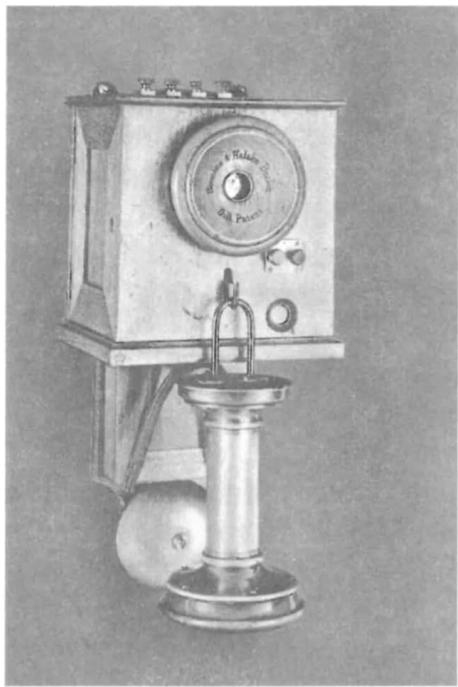
Obwohl Philipp Reis viel Beifall erntete und seine Erfindung in Zeitschriften beschrieb, galt sie lediglich als interessante physikalische Spielerei. Praxisreif war sein Telefon zwar noch nicht, doch es fand sich auch niemand, der die Bedeutung richtig einschätzte und bereit war, Reis bei der Weiterentwicklung zu unterstützen. Dabei war er ein leidenschaftlicher Bastler und erfand noch manches andere als diese Vorform des Telefons, beispielsweise ein Dreirad. Es wurde mit einer Handkurbel angetrieben und mit den Füßen gelenkt. Mit ihm radelte Reis in viel kürzerer Zeit, als er zum Laufen gebraucht hätte, täglich zwischen der Friedrichsdorfer Schule und seiner Wohnung in Gelnhausen hin und her, bis ihm der Herr Direktor das mit der Begründung verbot, eine solche ungewöhnliche Art der Fortbewegung sei eines Lehrers unwürdig. Die Verwirkli-

chung seiner Erwartung – „Man wird die menschliche Stimme gerauso über das Meer senden können wie die Schrift des Schreibtelegrafen“ – erlebte Reis nicht mehr. Er starb 1874 nach langer Krankheit im Alter von erst 40 Jahren.

Alexander Graham Bell und Elisha Gray bastelten in den USA ebenfalls an Telefonen. Ob sie den Apparat von Reis kannten, weiß man nicht. Beide meldeten 1876 Patente auf ihre Fernsprecher an und machten sich die Rechte an der Erfindung gegenseitig streitig. Bell siegte in den Prozessen, ob zu Recht oder nur, weil er die besseren Anwälte hatte, ist umstritten. Seine Telefone fanden jedenfalls in Amerika bald Verbreitung. 1877 erhielt auch der deutsche Generalpostmeister Heinrich Stephan zwei solcher Apparate. Da er für technische Neuerungen sehr aufgeschlossen war, begann er sofort mit der Einrichtung von Fernsprechverbindungen. Vorerst sah er darin hauptsächlich ein Mittel, den Telegrafendienst zu vereinfachen: Wenn jedes Postamt ein Telefon bekäme, dann könnten Telegramme durchgesprochen statt durch Morsezeichen übermittelt werden.

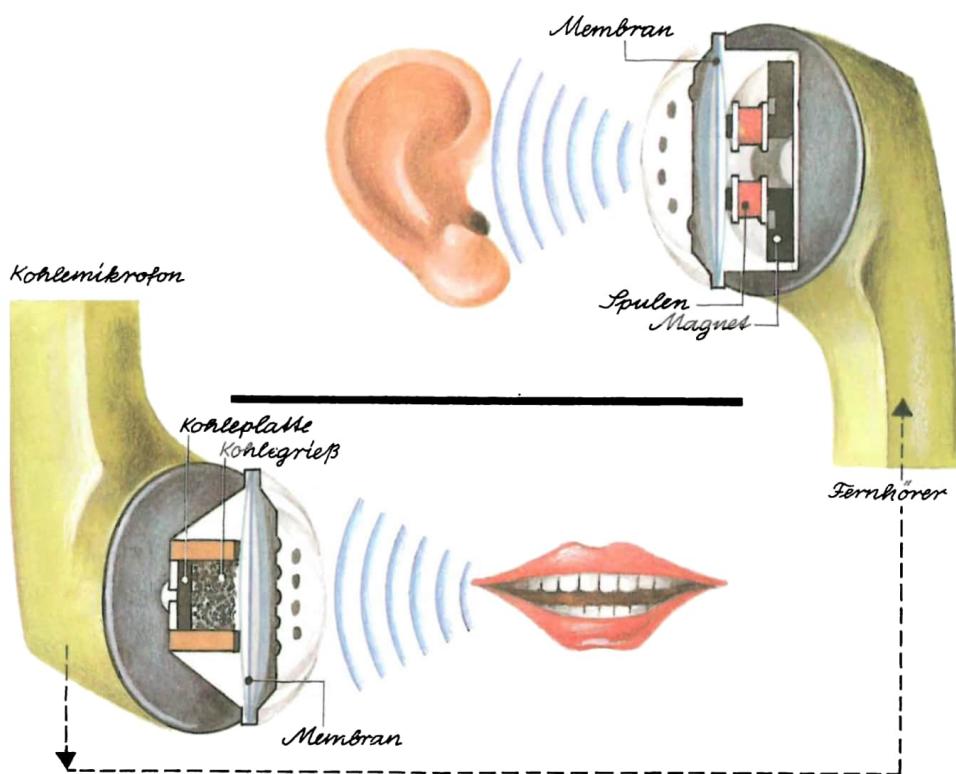
Bells Telefon war als Mikrofon *und* Hörer zu benutzen, je nachdem, ob man es vor den Mund oder ans Ohr hielt. Bald ging man zu Apparaten über, bei denen der Geber in einen Holzkasten eingebaut war, der an der Wand hing. In diesen wurde hineingespro-





Alte Fernsprechapparate. In den beiden oberen Bildern ist der Hakenumschalter deutlich zu erkennen

chen. Der Hörer hing bei Nichtgebrauch an einem Haken, der zugleich als Umschalter diente. Solange der Hörer darauf lag, war die Leitung mit einer elektrischen Klingel verbunden. In der Fachsprache der Fernsprechtechnik heißt diese Klingel Wecker. Er läutete, wenn jemand anrief. Nahm der Angerufene den Hörer ab, wurde die Leitung vom Wecker getrennt und die Verbindung für das Telefonieren hergestellt. Das war eine recht gute Lösung des zuvor schwierigen Problems, wie man angerufen werden kann. Bei den heutigen Tisch-Fernsprechern erfüllt die Gabel die Funktion des Haken-Umschalters, auf welcher der Handapparat liegt, wenn wir das Telefon nicht benutzen.



Schema des Fernhörers und des Kohlemikrofons

Elektrische Verwandlungskünste

Die Apparate von Reis und Bell sind längst Museumsstücke. An die Stelle des Gebers ist das Kohlemikrofon getreten. Es ist am unteren Ende des Handapparats angeordnet und enthält ein dünnes Plättchen, eine Membran aus gepreßter Hartkohle. Sie ist am Rande fest eingespannt. In der Mitte berührt sie einen weichen Filz, so daß sie beim Auftreffen der Schallwellen hin- und herschwingen kann. Unter der Membran befindet sich in einer kleinen Kammer grießförmige Kohle oder eine Anzahl Kohlekörnchen. Den Boden der Kammer bildet ein festes Kohleklötzchen.

Wenn wir den Handapparat abnehmen, fließt elektrischer Strom von der Membran durch den Kohlegrieß beziehungsweise die Körnchen zum Kohleklötzchen. Der Grieß oder die Körnchen setzen dem Stromfluß jedoch einen Widerstand entgegen. Er wird etwas geringer, wenn sie durch die nach innen schwingende Membran fester gegeneinandergedrückt werden, und größer, wenn sie – während die Membran zurückschwingt – wieder lockerer aufeinanderliegen. Auf diese Weise erfolgt eine Umwandlung der Schallschwingungen in Schwankungen der Stromstärke, und zwar im Rhythmus der Schallfrequenz. In den Stromkreis ist auch ein Übertrager, eine Art kleiner Transformator (Spannungswandler), geschaltet. Mit ihm gewinnt man aus den Stromstärkeschwankungen elektrische Spannungsschwankungen. Diese breiten sich durch die Fernsprechleitung bis zum Apparat des anderen Teilnehmers aus.

Im oberen Teil des Handapparats befindet sich der Fernhörer, ein kleiner Lautsprecher. Er wandelt die Spannungsschwankungen wieder in Schall um. Der Fernhörer enthält einen Dauermagneten, auch Permanentmagnet genannt; er ist von selbst magnetisch. Außerdem sind die Polschuhe, die Enden des Magneten, mit Spulen umgeben. Die Spannungsschwankungen werden den Spulen zugeführt und erzeugen zusätzlich Elektromagnetismus. Jedesmal wenn bei der wechselnden Stromrichtung ein Elektromagnetismus entsteht, der die gleiche Richtung hat wie das Dauermagnetfeld, wird die Anziehungskraft etwas verstärkt.

Dicht vor den Polschuhen befindet sich eine Membran, ein Metallplättchen, das leicht hin- und herschwingen kann. Tritt die stärkere Anziehungskraft auf, wird die Membran dadurch ein winziges

Stück weiter in Richtung zu den Polschuhen angezogen. Danach schwingt sie in die Ausgangslage zurück. Sie bewegt sich also im Rhythmus der Schallfrequenz und erzeugt dadurch den gleichen Schall, der auf die Membran des Mikrofons beim anderen Gesprächspartner trifft.

Die Funktionsweise der technischen Einrichtungen, durch welche die Leitungsverbindungen zwischen den Apparaten der einzelnen Fernsprechteilnehmer hergestellt wird, ist sehr kompliziert. Anfangs war es ganz einfach: Jeder hatte zu jedem anderen Teilnehmer, mit dem er sprechen wollte, eine direkte Leitung. Dadurch entstand aber bald ein unerträgliches Gewirr von Drähten über Straßen und Dächern. Als das Telefon stärkere Verbreitung fand, wurden Vermittlungssämter erforderlich. Das erste der Welt nahm am 25. Januar 1878 in den USA seinen Betrieb auf, das erste in Deutschland am 12. Januar 1881 in Berlin.

Jetzt benötigte jeder Teilnehmer nur noch eine Leitung zur Vermittlungsstelle. Über diese konnte er mit jedem anderen Teilnehmer verbunden werden. Das geschah von Hand durch Einsticken von Stöpseln in Buchsen. Als die Anzahl der Fernsprechteilnehmer ständig weiter anstieg, reichte in größeren Städten eine Vermittlungsstelle nicht mehr aus. Es kamen neue hinzu. Da sie ebenfalls untereinander durch Leitungen verbunden waren, konnten auch Gespräche zwischen Teilnehmern verschiedener Ämter vermittelt werden.

Drehscheibe steuert Automaten

Das Stöpseln war umständlich und zeitraubend. Deshalb richtete man später – in Deutschland ab 1900 – in immer mehr Städten den Selbstwahlverkehr ein. In neuerer Zeit wurde er in zunehmendem Maße auch auf den Fern- und Auslandsverkehr erweitert. Wenn wir an der mit den zehn Löchern versehenen Fingerscheibe des Nummerschalters drehen, werden auf elektromechanische Weise Schritt für Schritt die Verbindungen zwischen den Abschnitten der Leitungsstrecke hergestellt. Elektromechanisch bedeutet: Elektrizität beziehungsweise Elektromagnetismus setzen Teile in Bewegung, die Kontakte schließen oder öffnen. Die Schaltanlagen dafür befinden sich in den Vermittlungsstellen des Fernsprech-Lei-

tungsnetzes. So entsteht eine leitende Verbindung bis zu dem angewählten Teilnehmer.

Der Nummernschalter des Fernsprechapparats erzeugt also Stromstöße, welche die Schaltanlagen steuern. Wenn er nach dem Drehen der Wähl scheibe mit gleichbleibender Geschwindigkeit in seine Ausgangsstellung zurückläuft, unterbricht er nämlich in gleichmäßigen Zeitabständen einen Stromfluß und teilt ihn dadurch in eine Folge von Stromstößen.

Unter dem Wort Leitung dürfen wir uns heute nicht mehr in jedem Falle ein Paar isolierter Drähte vorstellen. Besonders beim Telefonieren mit Teilnehmern in entfernten Orten werden große Teile der Strecke drahtlos überbrückt, die Spannungsschwankungen also nicht durch Drähte geleitet, sondern mittels Radiowellen übertragen. Darauf kommen wir später zurück.

Manche Telefone haben heute bereits anstelle des drehbaren Nummernschalters Tasten. Vorerst dienen sie aber meist nur dazu, den Wählvorgang bequemer zu gestalten. Das Drücken der Tasten bewirkt, daß in den Apparat eingebaute elektronische Schaltungen die gleichen Steuerimpulse erzeugen wie ein Nummernschalter. In Zukunft wird sich das ändern. Die Tasten lösen dann die Aussendung elektrischer Spannungsschwankungen verschiedener Frequenzen aus. Für die Steuerung durch solche Frequenzen müssen die meisten Vermittlungsstellen aber erst noch umgerüstet werden. Der frequenzgesteuerte Wählvorgang hat unter anderem den Vorteil, daß er schneller abläuft und daher die Leitungswege nur kürzere Zeit beansprucht.

Die Tastenwahl ist nur eine von mehreren Annehmlichkeiten künftiger Fernsprechapparate. Weitere werden folgen und sind bei manchen Telefonen schon jetzt verwirklicht. Dazu gehört die automatische Wiederholung des Wählens, falls der Fernsprecher des Teilnehmers besetzt ist. Die gewählte Nummer wird dabei eingespeichert. Es gibt Apparate, in die sich ungefähr einhundert Rufnummern einspeichern lassen. Um einen dieser Teilnehmer anzuwählen, braucht man nicht jedesmal die ganze Nummer einzutasten, sondern nur die zweistellige Kennziffer, unter der sie gespeichert ist. Solche Verbesserungen wurden erst durch die schon erwähnten integrierten Schaltungen möglich, die viele komplizierte Funktionen erfüllen können.



Zwei moderne Tastenwahl-Fernsprechapparate und ein Lautfernfernsprecher mit eingebautem Lautsprecher (unten)

Es gibt auch schon Telefone mit einem wahlweise an- und abschaltbaren Lautsprecher. Er ist entweder in den Apparat fest eingebaut oder getrennt davon angeordnet. Dadurch können andere Personen im Raum die Worte des Teilnehmers mithören. Einige Apparatetypen haben außer dem Mikrofon des Handapparats noch ein im Gehäuse eingebautes Mikrofon, so daß man den Handapparat auch aufgelegt lassen kann und beide Hände beispielsweise zum Schreiben frei hat.

Das Kohlemikrofon ist einfach, billig und robust. Es gibt ausreichend hohe elektrische Spannungen ab, ermöglicht allerdings keine so gute Sprachverständlichkeit wie beispielsweise der UKW-Rundfunk. Längst gibt es auch bessere Mikrofone. Sie erzeugen allerdings nur so geringe Spannungen, daß bereits im Fernsprechapparat eine Verstärkung erforderlich ist. Dank Halbleiter- und Mikroelektronik können jedoch Mikrofone gebaut werden, die einschließlich des Verstärkers nicht größer als ein herkömmliches Mikrofon sind.

Da beim Telefonieren Konsonanten manchmal nicht eindeutig verstanden werden, können Fehler bei der Durchgabe von Eigennamen, zum Beispiel Familien-, Orts- und Straßennamen, entstehen. Daher empfiehlt es sich, solche Wörter zu buchstabieren, den Namen Hiller zum Beispiel so: *Heinrich – Ida – zwomal Ludwig – Emil – Richard*. (Zur besseren Unterscheidung von der Drei sagt man am Telefon *zwo* statt *zwei*.) Unzweckmäßig wäre es, zum Buchstabieren beliebige Wörter mit dem betreffenden Anfangsbuchstaben zu verwenden. Deshalb wurde ein einheitliches Buchstabier-Alphabet aus solchen Wörtern zusammengestellt, die normalerweise deutlich verstanden werden. Es lautet:

A Anton	G Gustav	O Otto	U Ulrich
Ä Ärger	H Heinrich	Ö Ökonom	Ü Übermut
B Berta	I Ida	P Paula	V Viktor
C Cäsar	J Julius	Q Quelle	W Wilhelm
Ch Charlotte	K Kaufmann	R Richard	X Xanthippe
D Dora	L Ludwig	S Samuel	Y Ypsilon
E Emil	M Martha	Sch Schule	Z Zacharias
F Friedrich	N Nordpol	T Theodor	

Briefe durch den Draht

In einigen Ländern sind bereits Faksimilegeräte in Gebrauch. Mit ihnen lassen sich Strichvorlagen – Briefe, Dokumente und Zeichnungen – durch das Telefon übertragen. Strichvorlagen bestehen aus schwarzen Linien, Buchstaben, Ziffern oder anderen Zeichen auf weißem Grund; sie weisen keine Halbtöne auf, also keine helleren oder dunkleren Abstufungen von Grau. Absender und Empfänger benötigen für dieses Fernkopieren genannte Verfahren je ein Faksimilegerät, das man an den Fernsprecher anschließt.

Das Dokument wird in das Gerät eingelegt und am Fernsprecher die Rufnummer des Empfängers gewählt. Wie Bilder durch den Draht oder durch Funk übertragen werden, ist in einem späteren Kapitel erläutert. Hier sei nur gesagt, daß die Helligkeitswerte der einzelnen Stellen der Vorlage nacheinander in elektrische Signale umgewandelt und übermittelt werden. Das Empfangsgerät erzeugt dann – gesteuert durch diese Signale – an den entsprechenden Stellen des dort eingelegten Papiers Schwärzungen. Beim Faksimilegerät geschieht dies durch einen Tintenschreiber. Die Übertragung einer Seite von etwa 20 cm mal 30 cm dauert nur wenige Minuten. Es entsteht also keine ungewöhnlich lange Belegung der Leitungswege. Da Faksimilegeräte automatisch arbeiten, können durch Fernkopieren Schriftstücke und Zeichnungen selbst dann übertragen werden, wenn der Empfänger nicht anwesend ist oder schläft. Für die Korrespondenz zwischen Dienststellen sind deshalb auch die Nachtstunden zu nutzen, in denen das Fernsprechnetz wenig ausgelastet ist.

Kommt das Fernsehtelefon?

Fernkopieren ist nicht gleichbedeutend mit dem Fernsehtelefon, denn bewegte Bilder lassen sich mit dem Faksimilegerät nicht übertragen. Versuche, das Bildtelefon einzuführen, gab es schon Mitte der 30er Jahre. Von Berlin nach Leipzig, später auch nach Hamburg, Nürnberg, München und Wien wurden damals entsprechende Verbindungen geschaffen. Aber sie hatten keinen rechten Nutzen. Man mußte bestimmte Telefonzellen aufsuchen, von denen es in großen Städten nur eine oder zwei gab. Außerdem war

das Bild auf dem Fernsehschirm viel kleiner als bei unseren heutigen Fernsehempfängern.

Vor einigen Jahren fand in den USA eine Gerichtsverhandlung über Bildtelefon statt. Drei Richter in Washington sahen und hörten die Ausführungen von Rechtsanwälten in New York. Dadurch wurden die Reisekosten für die Anwälte eingespart. Sicher ließen sich manche Dienstreisen durch Bildtelefon-Konferenzschaltungen erübrigen. Aber das hätte auch eine Kehrseite: Erstens sind die erforderlichen Geräte sehr teuer, zweitens werden die Leitungswege der Post durch ein einziges Bildtelefon-Gespräch mindestens 250mal stärker belegt als durch ein normales Gespräch. Anders ausgedrückt: Anstelle eines Bildgesprächs wären wenigstens 250 gewöhnliche Telefonate gleichzeitig möglich. Da außerdem kein echtes Bedürfnis danach besteht, den Gesprächspartner zu sehen, ja dies in manchen Fällen sogar als störend empfunden würde, dürfte das Bildtelefon keine Aussicht auf breite Verwirklichung haben.



Fernsehsprechkabine von 1936

Winzige Fünkchen im dunklen Labor

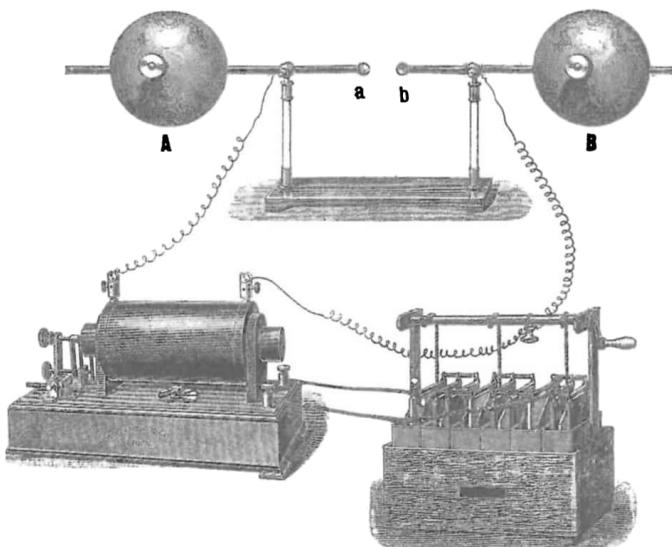
Es war im Herbst 1886. Heinrich Hertz, Physikprofessor in Karlsruhe, schloß sich seit Wochen in einen verdunkelten Raum ein und experimentierte dort. An einer Stelle des Raumes hatte er einen Sender aufgebaut. Hertz nannte ihn Oszillator, das bedeutet: Schwingungserzeuger. Er war mit einer Vorrichtung verbunden, die

einer heutigen UKW-Antenne ähnlich sah. An einer anderen Stelle ordnete er einen nicht vollständig geschlossenen Drahtring an. Dieses Gebilde, von Hertz Resonator genannt, war ein äußerst einfacher Empfänger für Radiowellen. Zwischen Oszillator und Resonator bestand keine Drahtverbindung.

Hertz hoffte, daß dann, wenn der Oszillator in Tätigkeit ist, am offenen Ende des Drahttrings Fünkchen überspringen. Sie würden klein und so schwach sein, daß sie nur zu sehen wären, wenn man seine Augen längere Zeit an die Dunkelheit gewöhnt hätte. Mit äußerster Aufmerksamkeit starnte Hertz in die Finsternis. Nach einigen Verbesserungen des Versuchsaufbaus kamen die erwarteten Fünkchen tatsächlich zustande.

Diese Experimente bildeten den Grundstein für die Entwicklung des Rundfunks. Hertz selbst dachte nicht daran, etwas zu erfinden. Er wollte nur feststellen, ob eine von dem britischen Physiker Michael Faraday begründete und von dessen Landsmann James Clerk Maxwell präzisierte Theorie richtig ist. Danach sollte es unsichtbare elektromagnetische Wellen geben, die sich durch den Raum ausbreiten.

Elektromagnetische Wellen sind physikalische Vorgänge, bei denen sich Stärke und Richtung eines elektrischen und magnetischen



Mit diesen Geräten experimentierte Heinrich Hertz beim Nachweis der elektromagnetischen Wellen

Feldes zeitlich und räumlich periodisch ändern. Das Wort Feld ist hierbei nicht im landwirtschaftlichen Sinne aufzufassen. Als ein magnetisches Feld bezeichnet man zum Beispiel den Raum um einen Magneten, in dem die magnetische Kraft wirksam ist. Eine periodische Änderung bedeutet, daß Stärke und Richtung des elektrischen und magnetischen Feldes in bestimmten Zeitabständen wechseln.

Es erfolgt also zuerst ein Anstieg der elektrischen Feldstärke in der einen Richtung bis zu einem bestimmten Wert, danach ein Abfall auf die Feldstärke Null, gefolgt von einem Anstieg in der umgekehrten Richtung bis zu einem bestimmten Wert, dann ein Abfall auf Null. Nun beginnt das gleiche Spiel von neuem, und es wiederholt sich in endloser Folge. Entsprechendes gilt für das Anwachsen und Abfallen des magnetischen Feldes von abwechselnder Richtung. Auf- und Abbau des elektrischen und magnetischen Feldes sind miteinander verknüpft.

Auch das sichtbare Licht bildet einen winzigen Ausschnitt aus dem weiten Bereich elektromagnetischer Wellen. Ein Merkmal, in dem sich Wellen unterscheiden, ist ihre Wellenlänge. Licht hat äußerst kurze Wellenlängen von etwa 400 bis 750 Nanometer (Milliardstelmeter = Millionstelmillimeter). Hertz erzeugte bei seinen Experimenten elektromagnetische Wellen von ungefähr 1 m Wellenlänge. Der heute für die Nachrichtentechnik im weitesten Sinne benutzte Bereich zwischen 10 km und 1 mm Wellenlänge wird unter der Bezeichnung Hertzsche Wellen zusammengefaßt.

Heinrich Hertz überprüfte noch einige andere Ähnlichkeiten der unsichtbaren elektromagnetischen Wellen mit dem sichtbaren Licht. Damit war für ihn die Angelegenheit erledigt. Bald diskutierten jedoch andere Wissenschaftler, die elektromagnetischen Wellen für die Nachrichtentechnik zu nutzen. Denn wenn sie auf ein geeignetes Gebilde treffen, das Hertz bei seinen Versuchen den Resonator nannte und wir heute als Antenne bezeichnen, rufen sie – unter bestimmten Voraussetzungen – in diesem elektrische Schwingungen hervor, die sich in schwachen elektrischen Spannungen und Strömen äußern.

Da sich die elektromagnetischen Wellen drahtlos durch den Raum ausbreiten, prophezeite der britische Physiker William Crookes: „Lichtstrahlen dringen nicht durch eine Mauer, auch nicht

durch Londoner Nebel ... Aber elektrische Wellen von 1 m Länge oder mehr werden solche Stoffe leicht durchsetzen. Es ergibt sich die fesselnde Möglichkeit einer Telegrafie ohne Drähte.“

Damit sollte er recht behalten.

Es begann mit dem Gewittermelder

In den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts experimentierten der russische Physiker Alexander Stepanowitsch Popow und sein Mitarbeiter Pjotr Nikolajewitsch Rybkin mit dem Ziel, eine Methode der drahtlosen Nachrichtenübermittlung zu finden. Sie erreichten einen Empfang elektromagnetischer Radiowellen zunächst über nur 20 bis 30 m. Sie benutzten einen verbesserten Empfänger und entdeckten, daß die Wellen ohne erhöhte Sendeleistung über wesentlich größere Entferungen zu empfangen sind, wenn man das Gerät an einen langen Draht, eine Antenne, anschloß.

Bei einem Gewitter bemerkten sie, daß die mit dem Empfänger verbundene elektrische Klingel anschlug, wenn es in der näheren Umgebung blitzte. Bei einem Gewitterblitz entstehen nämlich außer dem Licht auch elektromagnetische Schwingungen des Radiowellenbereichs. In unserem Rundfunkempfänger hören wir sie als Knacken. So gab es bereits eine erste praktische Anwendung des Geräts als Gewittermelder. Popow verbesserte ihn später, wobei ein Schreibhebel jeden Blitz als Zacke in einer fortlaufenden Linie aufzeichnete. Heute registrieren große Wetterstationen mit wesentlich verfeinerten Instrumenten und Antennen Gewitter, die sich Tausende von Kilometern entfernt über dem Atlantik oder anderen weit entfernten Regionen ereignen.

Am 24. März 1896 demonstrierte Popow in Petersburg zum ersten Mal die drahtlose Übertragung von Morsezeichen. Dieses Funktelegramm enthielt die Worte „Heinrich Hertz“ – eine Ehrung für den Entdecker der Radiowellen. 1897 überbrückte Popow bereits 20 bis 30 km. Im Jahre 1899 bestand die drahtlose Telegrafie ihre erste größere Bewährungsprobe. Als ein russisches Schiff im Finnischen Meerbusen auf Grund gelaufen war, gingen über fast 50 km Entfernung 440 Funksprüche hin und her. Bedeutende Initiativen für die Entwicklung der drahtlosen Funktechnik leistete auch der Italiener Guglielmo Marconi.

Ein s flog über den Atlantik

Das besondere Interesse der Hochseeschiffahrt an der drahtlosen Telegrafie ist verständlich. Waren Schiffe nach Verlassen des Hafens doch völlig auf sich selbst gestellt. Sie konnten bei Seenot keine Hilfe herbeirufen und nicht einmal mitteilen, wann und wo sie untergingen. Doch die Entfernung, über welche die Funkzeichen zu empfangen waren, blieb vorerst recht begrenzt. Da faßte Guglielmo Marconi den Plan, mit Radiowellen große Entfernungen, ja den ganzen Atlantischen Ozean zu überbrücken. Diesseits und jenseits des Ozeans wurden im Abstand von 3 500 km Funkstationen mit riesigen Antennen aufgebaut. Am 1. November 1901 sollte versucht werden, Marconis Idee zu verwirklichen. Aber ein Sturm zerriß die Antennen. Besseres Wetter ließ lange auf sich warten. Inzwischen war Marconi mit einem Schiff nach Amerika gefahren, zur Gegenstation. Am 12. Dezember streifte er sich – so hatte er es vor seiner Abreise aus Europa vereinbart – Kopfhörer über und lauschte gespannt. Unentwegt hörte er ein Prasseln und Knacken, wie es durch elektrische Vorgänge in der Atmosphäre und durch technische Störquellen hervorgerufen wird. Es kamen ihm schon Bedenken, ob er aus diesem Wirrwarr von Nebengeräuschen Morsezeichen heraushören könnte. Doch dann ertönten zur verabredeten Minute deutlich nacheinander drei Zeichen: kurz-kurz-kurz, das s des Morsealphabets.

Drahtlose Telegrafie war nicht nur für Funksprüche von und zu Schiffen nützlich, sondern ebenso für Nachrichtenverbindungen über Land. Man konnte die teuren Kabel einsparen. Immer mehr Funkstationen entstanden. Das Wort Funk hat übrigens wirklich etwas mit dem sicht- und hörbaren elektrischen Funken zu tun. Schon Heinrich Hertz hatte ja einen Funkeninduktor als Spannungsquelle benutzt. In der Anfangszeit der drahtlosen Telegrafie wurden Radiowellen durch große Funkenüberschläge erzeugt. Spötter sagten damals, das Knallen der Funken sei weiter zu hören als die dadurch erzeugten elektromagnetischen Wellen zu empfangen wären.

Die Funktelegrafie hatte gegenüber der drahtgebundenen nicht nur Vorteile. Zunächst wurden sehr lange Wellen benutzt, weil sie sich bei Tag und Nacht etwa gleich gut ausbreiten. Dieser Wellen-

längenbereich ist aber durch Vorgänge in der Atmosphäre stark gestört. Die Funker hatten häufig Mühe, die Morsezeichen aus den Störungen herauszuhören. Auf dem Papierstreifen erzeugten die Störungen ebenfalls Pünktchen. Es bedurfte noch vieler Verbesserungen. Vor allem mußten Möglichkeiten gefunden werden, um sowohl sehr starke Funkwellen – also solche mit hohen Sendeleistungen – zu erzeugen als auch empfangene Signale, die nach der Ausbreitung über weite Entfernung sehr abgeschwächt eintrafen, wieder zu verstärken.

Gitterspannungen steuern Elektronen

Eine Lösung des Problems ermöglichte die Verstärker-Elektronenröhre. Der Österreicher Robert von Lieben und der Amerikaner Lee de Forest schufen – unabhängig voneinander – dieses wichtige Bauelement der Elektronik. Die ersten brauchbaren Verstärkerröhren brachte von Lieben 1910/11 heraus. Sie steigerten nicht nur die Leistungsfähigkeit der drahtlosen, sondern auch die der drahtgebundenen Nachrichtentechnik. Durch Verstärker in den Zwischenstationen der Leitungsstrecke konnten größere Entfernung überbrückt werden. So gab es beispielsweise seit 1915 Fernsprechverbindungen über mehr als 4 000 km zwischen der Ost- und der Westküste Nordamerikas.

Das Grundprinzip der Verstärkerröhre besteht darin, daß mit sehr schwachen elektrischen Spannungen ein Stromfluß gesteuert wird. In dem luftleer gepumpten Glaskolben der Röhre befindet sich ein Katode genanntes Blech, das durch elektrischen Strom stark erhitzt wird. Dabei sendet es winzige Teilchen, Elektronen, aus. Jedes Elektron trägt eine bestimmte, gleich große Menge negativer elektrischer Ladung. Der Katode gegenüber liegt ein Anode genanntes Metallteil, das an positive elektrische Spannung angeschlossen ist.

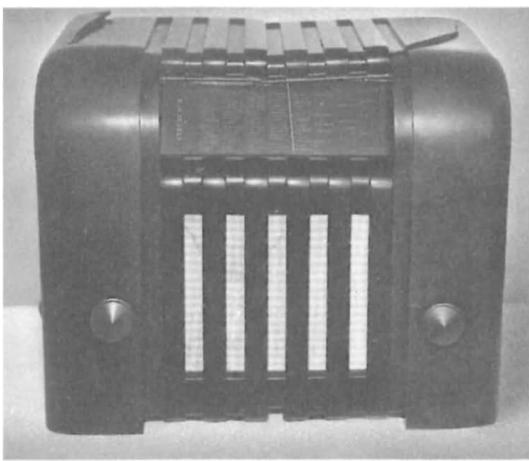
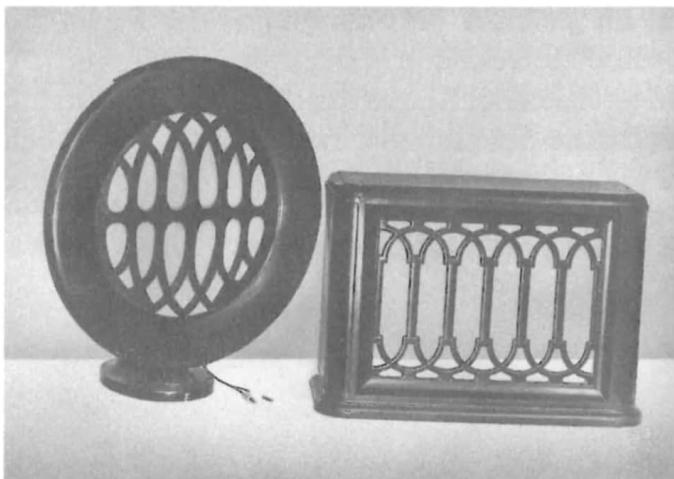
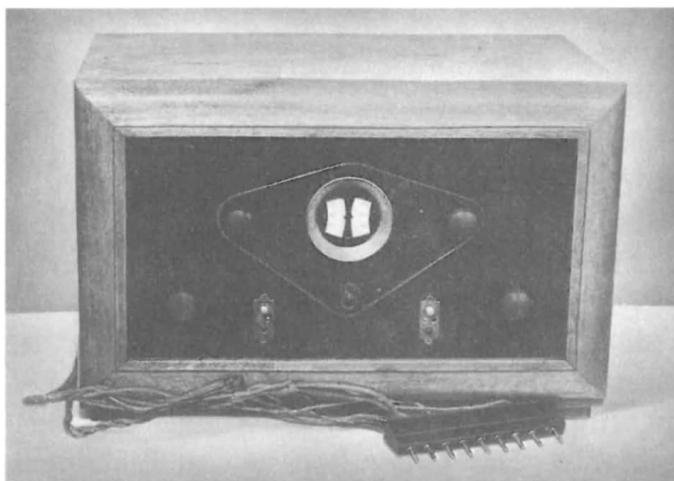
Negative und positive, also ungleichnamige elektrische Ladungen ziehen sich gegenseitig an, gleichnamige hingegen stoßen einander ab. Die negativen Elektronen streben daher zur positiven Anode. Zwischen Katode und Anode ist jedoch ein kleines Metallgitter angeordnet. Ihm werden die zu verstärkenden schwachen elektrischen Spannungen zugeführt. Außerdem liegt am Gitter

ständig eine negative elektrische Spannung an. Sie wird jedesmal etwas erhöht, wenn die zugeführten schwachen elektrischen Schwingungen ein negatives Vorzeichen haben. Bei elektrischen Schwingungen wechseln positive und negative Spannungen einander ständig ab. Dies wird grafisch durch eine Kurve (siehe Bild) dargestellt. Solange sich die schwarze Linie über der geraden Linie bewegt, herrscht positive, während sie sich unter ihr bewegt, negative Spannung.

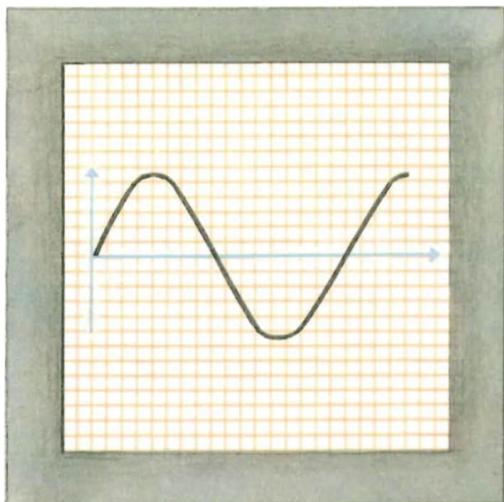
Immer wenn die ständig vorgegebene negative Spannung des Gitters durch die negative Spannung der schwachen elektrischen Schwingungen erhöht wird, werden die von der Katode kommenden Elektronen abgebremst. Das Gitter hemmt den Elektronenstrom aber nicht gleichmäßig, sondern im Rhythmus der elektrischen Schwingungen. Im gleichen Takt wird daher der Stromfluß durch die Verstärkerröhre abwechselnd stärker und schwächer.

Fließt dieser Strom wechselnder Stärke durch einen Widerstand, dann erhält man elektrische Spannungsschwankungen. Sie haben die gleiche Frequenz wie die elektrischen Schwingungen, sind aber





Alte Radios aus dem ersten Jahrzehnt des Rundfunks



Grafische Darstellung
einer elektrischen Schwingung

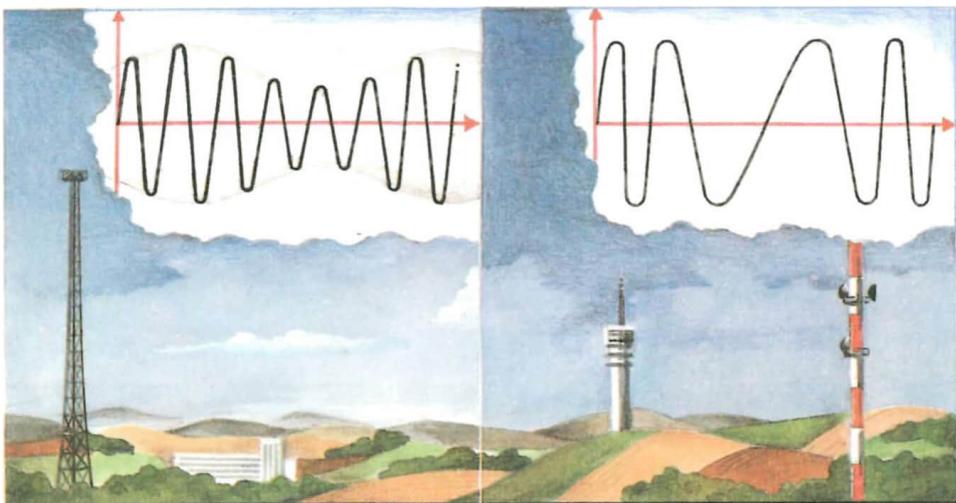
wesentlich größer als die der schwachen Schwingungen, die dem Steuergitter zugeführt wurden. Diese Verstärkung kann stufenweise mehrmals nacheinander wiederholt werden. Auf diese Weise erhält man immer höhere Spannungen. In den heutigen Verstärkerschaltungen verwendet man im allgemeinen anstelle von Elektronenröhren Transistoren genannte Halbleiterbauelemente.

Ohne die Verstärkerröhre wäre die Entwicklung des Rundfunks nicht möglich gewesen. Anfangs beschränkte man sich allerdings darauf, Telefongespräche drahtlos durch Radiowellen zu übertragen. Doch auch Musik lässt sich durch Funkwellen übermitteln.

In Deutschland begann der öffentliche Rundfunk-Sendebetrieb am 29. Oktober 1923 in Berlin, in einigen anderen Ländern schon früher.

Musik huckepack

Erinnern wir uns: Das Mikrofon wandelt Schallschwingungen in elektrische Schwingungen um. Elektromagnetische Schwingungen des Bereichs der Schallfrequenzen (16 bis 20 000 Hz) lassen sich aber nicht in Form von Radiowellen drahtlos ausstrahlen. Erstens entstünde ein unentwirrbares Durcheinander, wenn alle Stationen elektromagnetische Wellen dieses Frequenzbereiches senden würden. Zum anderen entsprächen diesen relativ niedrigen Frequenzen extrem große Wellenlängen. Man muß die elektrischen Schwin-



Grafische Darstellung der Amplituden- und der Frequenzmodulation

gungen, in welche die Schallfrequenzen der Musik und der Sprache umgewandelt sind, vielmehr Radiowellen aufprägen, die wesentlich höhere Frequenzen (und kürzere Wellenlängen) haben. Elektrische Schwingungen mit den niedrigen Frequenzen des Schalls wollen wir deshalb von jetzt an als Nieder- oder Tonfrequenz, die der Radiowellen dagegen als Hoch- oder Trägerfrequenz bezeichnen, denn diese tragen die Tonfrequenz gewissermaßen huckepack vom Sender zum Empfänger. Für Nieder- und für Hochfrequenz sind in der Technik die Abkürzungen NF beziehungsweise HF gebräuchlich. Jeder Rundfunkempfänger gliedert sich in einen HF- und einen NF-Teil.

Die Aufprägung der NF auf die HF heißt in der Fachsprache Modulation. Sie ist auf verschiedene Weise möglich. Bei Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern wird die Amplitude (Schwingungsweite) der HF im Rhythmus der NF verändert. Dies ist die Amplitudenmodulation, kurz AM. In der grafischen Darstellung elektromagnetischer Schwingungen (siehe Bild auf Seite 45) entspricht die Amplitude dem Abstand zwischen der Null-Linie und dem höchsten beziehungsweise tiefsten Punkt des Wellenzuges. Beim Ultrakurzwellen(UKW)-Rundfunk erfolgt eine Modulation der Trägerfrequenz im Rhythmus der Tonfrequenz. Dies wird als Frequenzmodulation, kurz FM, bezeichnet.

Jeder Sender hat eine bestimmte Trägerfrequenz. Dadurch können viele Sender verschiedene Programme ausstrahlen, ohne daß ein Durcheinander entsteht. Beim Empfang stimmen wir nämlich unser Rundfunkgerät auf die Trägerfrequenz des gewünschten Senders ab, dadurch hören wir nur diesen und zur gleichen Zeit keinen anderen – falls die Trennschärfe des Geräts ausreicht.

Im Empfänger wird die NF von der HF gewissermaßen wieder „abgeladen“. Dieser Vorgang heißt Demodulation. Die NF wird nach Verstärkung über einen Lautsprecher, der in seiner prinzipiellen Funktion dem Fernhörer des Telefons ähnelt, in Schall umgewandelt. Die Lautsprecher von Radios sind allerdings für eine wesentlich bessere Klangwiedergabe konstruiert als der einfache Telefon-Fernhörer.

UKW – Welle des guten Tons

Amplitudenmodulierte Lang-, Mittel- und Kurzwellensender übertragen nur Tonfrequenzen bis 4 500 Hertz. Der für unser Ohr hörbare Schall reicht aber bis zu viel höheren Frequenzen. Diese spielen für die Klangfarbe eine wichtige Rolle. So können wir genau unterscheiden, von welchem Instrument ein Ton gleicher Höhe herrührt, beispielsweise von einer Flöte, einer Violine oder einem Klavier. Um eine deutliche Wiedergabe solcher klanglichen Feinheiten der Musik und auch der Sprache zu erreichen, wurde seit ungefähr der Mitte unseres Jahrhunderts der frequenzmodulierte UKW-Rundfunk eingeführt. Er überträgt Tonfrequenzen bis zu 15 000 Hz.

Wollte man auch im Mittel-, Lang- und Kurzwellenbereich so hohe Tonfrequenzen übertragen, dann müßten die Abstände zwischen den Trägerfrequenzen der Sender größer sein, als es jetzt der Fall ist. Die Folge wäre, daß in allen diesen Wellenbereichen weniger Sender ihre Programme ausstrahlen könnten. Das Wort Abstand bedeutet hierbei nicht eine räumliche Entfernung, sondern die unterschiedliche Größe der Trägerfrequenzen. Den Bereich der Hochfrequenz, den ein Sender überstreicht, bezeichnet man auch als Kanal. Auf der Skale unseres Radios sind im UKW-Hörfunkbereich 42, bei manchen Apparaten auch bereits 55 solcher Kanäle verzeichnet.

Zwischen der Frequenz und der Wellenlänge elektromagnetischer Schwingungen besteht eine feste Beziehung nach der Formel $\lambda = \frac{c}{f}$ oder $f = \frac{c}{\lambda}$. Der griechische Buchstabe λ (Lambda) bedeutet die Wellenlängen in m, c die Lichtgeschwindigkeit von 300 000 000 m/s und f die Frequenz in Hz. Nach dieser Formel können wir für jede Frequenz die Wellenlänge errechnen und umgekehrt.

Von der Wellenlänge hängt die Reichweite der Radiowellen ab. Langwellen haben bei Tag und Nacht in der Regel große Reichweiten. Bei den Mittelwellen nimmt sie in der Dunkelheit zu. Sehr weiten, weltumspannenden Empfang ermöglichen schon bei verhältnismäßig geringen Sendeleistungen die Kurzwellen. Allerdings ist ihre Ausbreitung je nach den verschiedenen Frequenzen von der Jahres- und der Tageszeit abhängig. Kurzwellen werden nämlich von hohen Schichten der Erdatmosphäre, der Ionosphäre – ähnlich wie Licht von einem Spiegel – reflektiert, also zurückgeworfen, und breiten sich im Zickzack zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche rund um den Erdball aus.

Die Ursache für die unterschiedlich weite Ausbreitung der Kurzwellen während der verschiedenen Tages- und Jahreszeiten sind Vorgänge in der Sonne. Sie beeinflussen die elektrischen Eigenschaften der Ionosphäre in starkem Maße. Bei sehr heftigen Strahlungsausbrüchen kommt es zu Störungen der Wellenausbreitung bis hin zur völligen Unterbrechung aller Kurzwellen-Funkverbindungen. Auch zwischen den Jahren hoher oder geringer Sonnenaktivität schwankt die Qualität des Kurzwellen-Fernempfangs.

Zunächst wußten die öffentlichen Sendeanstalten mit dem Kurzwellenbereich nichts anzufangen. Deshalb wurde er – wie wir bereits wissen – den Funkamateuren überlassen. Diese entdeckten dann die großen Reichweiten. Seitdem spielen Kurzwellen für den weltweiten Nachrichtenverkehr eine bedeutende Rolle.

Warum braucht man Fernsehtürme?

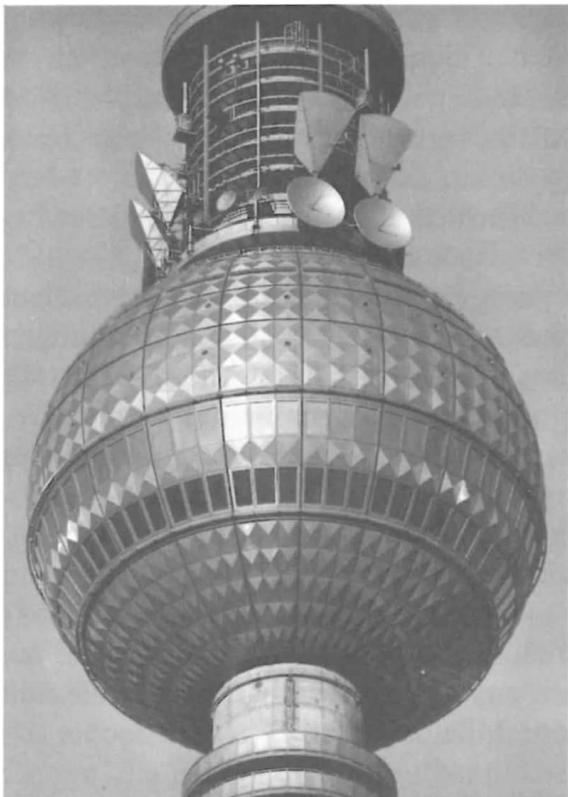
Ultrakurzwellen werden von der Ionosphäre nicht reflektiert, sondern durchstoßen sie und breiten sich in den Weltraum aus. Daher haben UKW-Sender in Richtung der Erdoberfläche eine nur begrenzte Reichweite. Zwar erstreckt sie sich etwas über den Horizont hinaus, der von der Sende-Antenne aus zu überblicken ist, aber sie reicht beispielsweise nicht von Berlin bis Leipzig oder Jena. Sie ist bei gleicher Sendeleistung jedoch um so größer, je höher die Antenne des Senders steht. Wir können von einem höheren Berg aus ja auch weiter sehen als von einem niedrigeren. Die Ausbreitung von Ultrakurzwellen ist nämlich der des Lichtes ähnlich. UKW- und Fernsehsender, die ebenfalls im UKW-Bereich arbeiten, werden deshalb nach Möglichkeit auf hohen Punkten des Geländes errichtet. Wo keine vorhanden sind, baut man UKW- und Fernsehtürme.

Zur Versorgung mit UKW-Hörfunk- und Fernsehprogrammen werden in einem Land mehrere Sender benötigt. Aber nicht jeder von ihnen strahlt ständig ein eigenes Programm aus, sondern viele senden dasselbe. Das Programm – Musik-, Nachrichten- und andere Sendungen – wird in einem Studio produziert und von dort aus zu den einzelnen Sendern weitergeleitet. Diese strahlen es für die Rundfunkhörer und Fernsehzuschauer innerhalb ihrer Reichweite aus. Wie die Übermittlung des Programms vom Studio zu den verschiedenen Sendern erfolgt, davon mehr in dem Kapitel „Gespräche durch gläserne Spinnweben“.

Was ist Stereofonie?

Die jüngste Verbesserung des Hörfunks ist die Zweikanal-Stereofonie. Bei einer gewöhnlichen, monofonen Rundfunkübertragung können wir nicht unterscheiden, welche Instrumente links, in der Mitte oder rechts im Orchesterraum stehen. Selbst wenn der Ton von mehreren im Raum verteilten Mikrofonen aufgenommen wird, fließen ihre Schallsignale zusammen, werden also nicht getrennt voneinander übertragen. Bei der Stereofonie erfolgt die Aufnahme des Tons über je ein links und rechts angeordnetes Mikrofon beziehungsweise über zwei entsprechende Mikrofongruppen. Links- und





Fernsehturm der Hauptstadt der
DDR Berlin

Richtfunkantennen

Rechts-Ton werden zwar über denselben UKW-Sender, durch komplizierte technische Verfahren jedoch trotzdem getrennt voneinander übertragen und über zwei Lautsprecher gesondert wiedergegeben.

Der Sinn der Stereofonie beschränkt sich aber nicht allein darauf, die Richtungen herauszuhören, aus denen die einzelnen Instrumente oder Stimmen ertönen. Vielmehr soll im ganzen ein beseres Hörerlebnis erzielt werden. Dafür müssen die gedachten Verbindungslien zwischen dem Punkt, von dem aus wir zuhören, und den Aufstellorten der beiden Lautsprecher-Boxen ein etwa gleichseitiges oder zumindest gleichschenkliges Dreieck bilden, dessen Grundlinie die Strecke zwischen den beiden Boxen ist.

Gelegentlich werden Hörspiele und Musikdarbietungen in sogenannter kopfbezogener Stereofonie gesendet, auch als Kunstkopf-Stereofonie bezeichnet. Die Schallaufnahme erfolgt dabei durch zwei Mikrofone, die in einem dem menschlichen Schädel nachgebildeten Kunstkopf an den Stellen angeordnet sind, an denen sich

die Ohren befinden. Diese Technik gibt die räumlichen Beziehungen zwischen den verschiedenen Schallquellen sowie den Widerhall von den Wänden der Räume, in denen Musik aufgeführt wird oder andere Sendungen stattfinden, noch deutlicher wieder. Solchen Übertragungen müssen wir zur Zeit noch mit Kopfhörern lauschen, wenn wir einen unverfälschten Raumeindruck – wie er bei der Aufnahme herrschte – empfinden wollen.

Der für die Aufnahme verwendete Kunstkopf wurde inzwischen in der Weise verbessert, daß auch ein Abhören solcher Sendungen über Lautsprecher möglich ist, die in Stereo-Anordnung aufgestellt sind. Wir haben dann zumindest den Eindruck einer Stereo-Wiedergabe, allerdings nicht das Empfinden, in den Raum einbezogen zu sein, in dem die Sendung aufgenommen wurde. Das Heraushören der Richtungen, aus denen die Klänge und Geräusche ertönen, ist dann auf die Strecke zwischen den beiden Lautsprecher-Boxen beschränkt.

Wenden wir uns aber noch einmal der Fernsprechtechnik zu. Denn auch für sie erwachsen aus den Fortschritten der modernen Funktechnik wesentliche neue Möglichkeiten.

Gespräche durch gläserne Spinnweben

Die Nachrichtentechniker geben sich schon lange nicht mehr damit zufrieden, über weite Strecken durch ein Leiterpaar lediglich ein Ferngespräch zu übertragen. Der Bedarf an Nachrichtenverbindungen von Ort zu Ort und von Land zu Land ist heute so groß, daß man neue, leistungsfähigere Verfahren erfinden mußte. Für Telefongespräche reicht es aus, Tonfrequenzen zwischen 300 Hz und 3 400 Hz zu übertragen. Das entspricht einem Frequenzbereich oder, wie man auch sagt, einer Bandbreite von $3\,100\,Hz = 3,1\,kHz$ (Kilohertz; 1 kHz = 1 000 Hz). Bereits durch eine normale Fernsprechleitung sind jedoch elektrische Signale mit einer größeren Bandbreite als 3,1 kHz übertragbar. Deshalb können mehrere Fernsprechkanäle nebeneinandergelegt und so mehrere Gespräche durch dieselbe Leitung übertragen werden, wenn das Trägerfrequenz-Verfahren zur Anwendung kommt, das uns vom Rundfunk inzwischen geläufig ist. Dem Frequenzband jedes Fern-

sprechkanals werden dabei die Tonfrequenz-Signale der verschiedenen Gespräche aufmoduliert.

Da zwischen den einzelnen Kanälen ein gewisser Frequenzabstand erforderlich ist, hat man sich international auf eine Bandbreite von 4 kHz je Fernsprechkanal geeinigt. An einem Beispiel veranschaulicht: Gespräch 1 läuft über 64 bis 67 kHz, Gespräch 2 über 68 bis 71 kHz, Gespräch 3 über 72 bis 75 kHz und so fort. In der Empfangsstation werden aus dem gesamten übertragenen sehr breiten Frequenzbereich die einzelnen Kanäle wieder herausgefiltert und deren Tonfrequenz-Signale getrennt voneinander den verschiedenen Fernsprechteilnehmern zugeführt. Dieses Verfahren heißt Frequenzmultiplex-Übertragung.

Sonderbare Kabel

Normale oder von ihnen nur wenig abgewandelte Fernsprechleitungen lassen allerdings keine sehr großen Frequenz-Bandbreiten und mithin auch nicht viele Ferngespräche nebeneinander hindurch. Es gibt jedoch Kabel, die wesentlich größere Bandbreiten übertragen können. Sie heißen daher Breitbandkabel. Ihre am meisten verwendete Form ist das Koaxialkabel, wie es ähnlich auch als Verbindung zwischen der Antenne und dem Fernsehempfänger benutzt wird. In seiner Mitte befindet sich ein Leiter aus Kupfer. Er ist auf der gesamten Länge von einem schlauchförmigen Kupferleiter umhüllt. Der Abstand zwischen diesem Außenleiter und dem in der Mitte ist überall gleich. Das gewährleisten Abstandsscheiben oder Wendel aus nichtleitendem Material. Der Außenleiter ist ebenfalls von einem Isolierstoff umhüllt.

Durch solche Kabel sind Bandbreiten übertragbar, in denen bis zu 2700 Fernsprechkanäle nebeneinander Platz finden. Durch Breitbandkabel können auch Fernseh- und UKW-Hörfunkprogramme aus dem Studio zu den Sendern übertragen werden. Dabei beansprucht allerdings ein einziges Fernsehprogramm die Frequenz-Bandbreite sehr vieler Ferngespräche, so daß sich die Anzahl der für den Telefonverkehr freibleibenden Kanäle stark verringert. Für das Kabelfernsehen, das – wie der Name sagt – nicht drahtlos über eine Antenne, sondern durch Kabel empfangen wird, müssen solche Breitbandkabel bis in die Häuser verlegt werden.

Die in vielen Wohnungen vorhandenen Fernsprechleitungen genügen dafür nicht.

Über Hohlleiter, auch Wellenleiter genannt, wären sogar 50 000 bis 100 000 Ferngespräche gleichzeitig übertragbar. Hohlleiter sind Rohre aus Leitermaterial. Bei der praktischen Anwendung gibt es jedoch noch Schwierigkeiten. Ihr Durchmesser muß über die ganze Länge auf Bruchteile eines Millimeters genau gleichbleiben. Die Kabel dürfen nicht stark gekrümmmt werden. Ferner ergeben sich Probleme an den Stellen, wo zwei Enden aneinandergrenzen und zu verbinden sind.

Außer dem Frequenzmultiplex- gibt es noch das Zeitmultiplex-Verfahren, bei dem die einzelnen Kanäle gewissermaßen zeitlich ineinander geschachtelt werden. Dabei erfolgt eine andere Form der Modulation, Pulscodemodulation (kurz PCM) genannt. Sie und auch das Zeitmultiplex-Verfahren sind in Kürze nicht leicht verständlich zu beschreiben. Am Ende des Buches ist jedoch weiterführende Literatur angegeben, die auch darüber Auskunft gibt.

Die Palette der Wellenbereiche

Die Anwendung dieser Verfahren ist nicht auf die kabelgebundene Nachrichtentechnik beschränkt, sondern erstreckt sich ebenso auf die drahtlose Übertragung durch Funk. Dafür werden noch höhere Frequenzbereiche beziehungsweise kürzere Wellenlängen benutzt als für den öffentlichen Fernseh- und UKW-Hörfunk, nämlich Dezimeterwellen (1 Dezimeter [Kurzzeichen: dm] = 1/10 m = 10 cm). Der Dezimeterwellenbereich rechnet von 100 bis 10 cm Wellenlänge beziehungsweise 300 bis 3 000 Megahertz (Kurzzeichen: MHz; 1 MHz = 1 000 000 Hz = 1 000 kHz). Frequenzen ab 1 000 MHz werden auch in Gigahertz (Kurzzeichen: GHz) ausgedrückt (1 GHz = 1 000 000 000 Hz = 1 000 MHz).

Hohlspiegel für Funkstrahlen

Die Ausbreitungseigenschaften der Dezimeterwellen sind denen des Lichts sehr ähnlich. Sie können deshalb wie das Licht eines Scheinwerfers durch einen hohlspiegelförmigen Reflektor zu einem engen Strahl gebündelt und genau in eine bestimmte Richtung ge-

Tabelle der Frequenzbereiche

Bezeichnung	Frequenzbereich	Wellenlänge
Längstwellen	<100 kHz	>3 000 m
Langwellen	100···300 kHz	3 000···1 000 m
Mittelwellen	300···1 500 kHz	1 000···200 m
Grenzwellen	1,5···3 MHz	200···100 m
Kurzwellen	3···30 MHz	100···10 m
Ultrakurzwellen	30···300 MHz	10···1 m
Dezimeterwellen	300···3 000 MHz	100···10 cm
Zentimeterwellen	3···30 GHz	10···1 cm
Millimeterwellen	>30 GHz	<1 cm

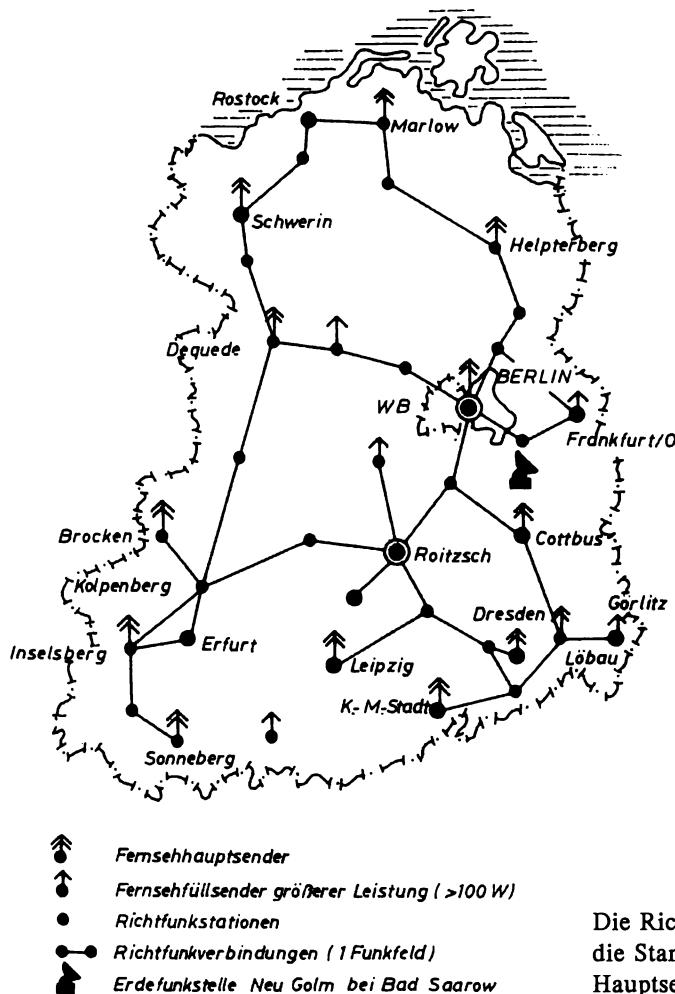
strahlt werden. Deshalb spricht man von Richtfunk. Der schüssel-förmige Reflektor der Antenne richtet den Funkstrahl auf die nächste Station der Richtfunkstrecke. Hinter dem Reflektor und außerhalb des Strahls sind die Dezimeterwellen nicht zu empfan-gen. Da sie ähnlich den Ultrakurzwellen keine großen Reichweiten haben, sind zahlreiche Richtfunkstellen erforderlich. Sie bilden zu-sammen das Richtfunknetz.

Über dieses Richtfunknetz werden von Station zu Station Fern-ge-spräche, Fernschreiben und sonstige Daten sowie auch die Mo-dulationen von UKW-Hörfunk- und Fernsehprogrammen weiterge geben. Das ist einem Stafettenlauf vergleichbar, bei dem die einzelnen Läufer den Stab nach Zurücklegen ihrer Strecke jeweils dem nächsten Läufer überreichen. Bei Hörfunk- und Fernseh-Äußenreportagen strahlt der dafür eingesetzte Übertragungswa-gen – wenn es die örtlichen Verhältnisse erlauben – die Ton- und Bildsignale ebenfalls über eine kleine Hohlspiegelantenne zur nächstgelegenen Richtfunkstelle. Über das Richtfunknetz gelangen sie dann zu den Sendern, von denen die Fernsehzuschauer bezie-hungsweise UKW-Hörer das Programm über ihre Antennen emp-fangen.

Das Bild auf Seite 56 zeigt schematisch die Richtfunk-Haupt-strecken der DDR. Außerdem sind die Fernseh-Hauptsender sowie die Erdefunkstelle für die Verbindung mit Nachrichtensatelliten

im Weltraum eingezeichnet. Alle technisch hochentwickelten Länder haben heute Richtfunknetze. Über sie erfolgt auch der internationale Austausch von Hörfunk- und Fernsehfunk-Programmen wie beispielsweise bei Intervisionssendungen.

Das Wort Fernseh-Hauptsender deutet bereits an, daß es noch andere Sendestellen gibt. Sie sind wegen der lichtähnlichen Ausbreitungseigenschaften der für das Fernsehen benutzten Meter- und Dezimeterwellen erforderlich. In einem rings von Bergen umgebenen Talkessel ist deshalb selbst dann kein Empfang möglich, wenn sich ein Hauptsender, geographisch betrachtet, in der Nähe befindet. Denn das Tal liegt in seinem Funkschatten. Um die Bewohner mit Fernsehsendungen zu versorgen, wird an einer Stelle,

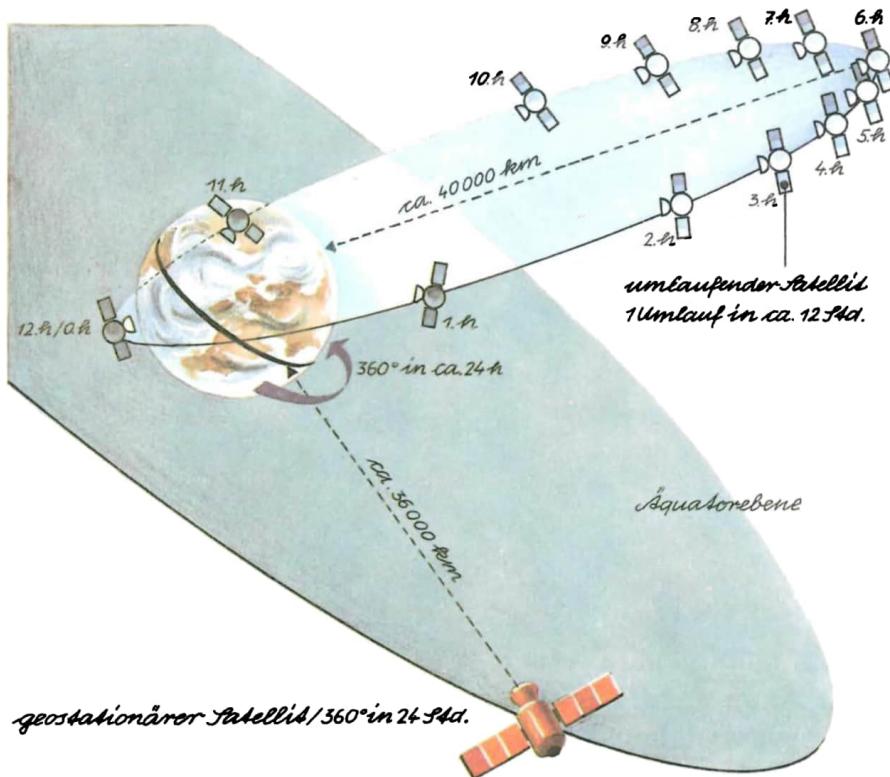


Die Richtfunk-Hauptstrecken und die Standorte der Fernseh-Hauptsender der DDR

von der aus der Hauptsender zu empfangen und auch das ganze Tal zu überblicken ist, eine automatisch arbeitende Einrichtung aufgebaut. Sie empfängt das Programm von dem ihr zugeordneten Muttersender, setzt es in einen anderen Fernsehkanal um und strahlt es auf diesem in das Tal.

Funkstationen im Weltall

Für Nachrichtenverbindungen sowie für die Übermittlung von Hörfunk- und Fernsehprogrammen über sehr große Entferнungen, so auch über Ozeane hinweg, werden heute Satelliten benutzt. Auf



Schema der Bahn geostationärer und umlaufender Nachrichtensatelliten. Die Zeitangaben im erdfernen Teil des umlaufenden Satelliten lassen erkennen, daß seine Bahngeschwindigkeit dort wesentlich niedriger ist als im erdnahen Teil. Dadurch befindet er sich sehr lange Zeit über dem Horizont der Sowjetunion



Eine Bodenstation des sowjetischen Orbita-Satelliten-Fernsehens in Kemerowo

einer Kreisbahn in etwa 36 000 km Höhe benötigt ein künstlicher Erdsatellit für einen Umlauf dieselbe Zeit, in der die Erde einmal um ihre Achse rotiert, also 24 Stunden. Liegt seine Bahn über dem Äquator, dann scheint er ständig über demselben Punkt der Erde stillzustehen. Daher kann er wie eine feststehende Richtfunkstation dienen. Er bekommt von einer Station auf der Erde Funkwellen zu-

gestrahlte, setzt sie in ein anderes Frequenzband um, verstärkt sie und strahlt sie zu einem weit entfernten anderen Ort der Erde. Das ermöglicht Übertragungen von Kontinent zu Kontinent.

Die Erdefunkstellen sind mit besonders leistungsfähigen Empfangsantennen und Verstärkern ausgerüstet. Das ist nötig, weil die Funksignale infolge der großen Strecken, die sie überwinden, sehr geschwächt auf der Erde eintreffen. Von der Erdefunkstelle aus werden sie in das irdische Richtfunknetz weitergegeben. Im Prinzip können Fernseh- und Hörfunkprogramme von Nachrichtensatelliten durch die Fernsehzuschauer und Radiohörer auch direkt empfangen werden. Sie benötigten dafür allerdings eine Spezialantenne mit hohlspiegelförmigem Reflektor sowie ein Zusatzgerät zu ihren Empfängern.

Nachrichten reisen mit dem Laserstrahl

Kehren wir noch einmal zur leitungsgebundenen Übertragung zurück. Wenn dafür extrem kurze elektromagnetische Wellen, nämlich Lichtwellen, benutzt werden, dann ist die Fortleitung der Signale durch Glasfasern möglich. Dieser Technologie wird für die Zukunft große Bedeutung beigemessen. Sichtbares Licht hat Wellenlängen von etwa 400 bis 750 Nanometer (Kurzzeichen: nm; 1 nm = 1 Milliardstelmeter = 1 Millionstelmillimeter). Die Frequenzen des Lichts betragen daher Hunderttausende Gigahertz. Somit umfaßt der Wellenlängenbereich des Lichts ein noch wesentlich breiteres Frequenzband, in dem auch entsprechend mehr Nachrichtenkanäle Platz finden.

Bei der leitungsgebundenen Übertragung mit Licht wird kein gewöhnliches, sondern Laserlicht verwendet. Es läßt sich schärfer bündeln und ist intensiver als normales Licht. Daher legt es sehr weite Strecken mit nur geringer Abschwächung zurück. Anfangs dachte man daran, Laserstrahlen, die mit Tonfrequenzen von Ferngesprächen moduliert sind, wie Licht mittels Scheinwerfern durch die Luft übertragen zu können. Das erwies sich jedoch als recht störanfällig durch Dunst, Nebel und andere widrige Wettererscheinungen.

Schickt man das Laserlicht jedoch durch gläserne Lichtwellenleiter, so ist das Verfahren sehr leistungsfähig. Außerdem lassen sich

gegenüber elektrisch leitenden Kabeln große Mengen Material einsparen: 1 g Glas kann 10 kg Kupfer ersetzen.

Das Glas muß allerdings sehr hochwertig sein. Die Durchmesser der Glasfasern rechnen nach Mikrometern (Tausendstelmillimetern; Kurzzeichen: μm). Die günstigsten Eigenschaften für die Fortleitung des Lichts haben sie nämlich dann, wenn ihr Durchmesser den Wellenlängen des Lichts nahekommt. Zum Schutz gegen Beschädigung werden die empfindlichen Fasern mit Umhüllungen versehen. Glasfaserkabel sind biegsam. Für die Nachrichtenverbreitung über solche Lichtwellenleiter sind optoelektronische Bauelemente erforderlich; sie verknüpfen optische Vorgänge (des Lichts) mit elektrischen. Ein solches Halbleiterbauelement ist zum Beispiel die Fotodiode. Bei Bestrahlung mit Licht werden in ihr elektrische Ladungen freigesetzt.

In mehreren Ländern sind versuchsweise Leitungsstrecken bis zu 40 km Länge in Betrieb, auf denen jeweils 15 000 Telefongespräche oder mehrere Fernsehprogramme durch Glasfaserkabel übertragen werden können. Seit 1981 gibt es eine Lichtwellenleiter-Verbindung zwischen dem Zentrum der DDR-Hauptstadt und Berlin-Schöneweide. Sie ersetzt herkömmliche Kabel mit einem Kupferanteil von 50 000 kg.

Bilder durch den Draht geschickt

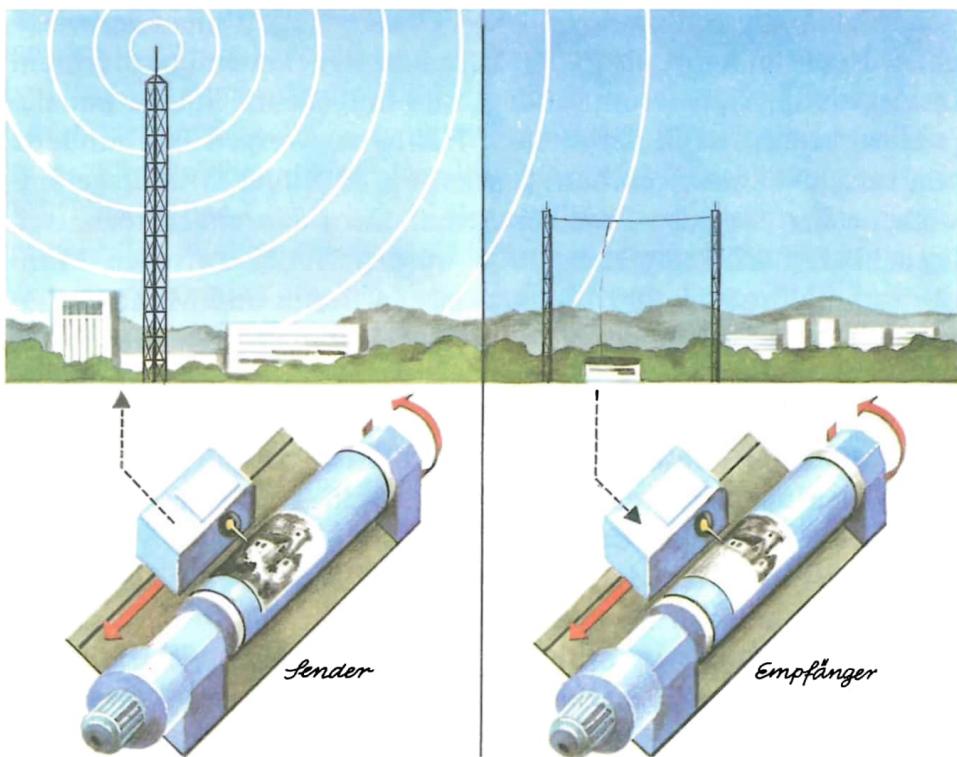
Kaum funktionierten die ersten Morsetelegrafen, da schlug 1843 der englische Uhrmacher Alexander Bain ein Verfahren vor, auch Bilder durch Drahtleitungen zu übertragen. Er hatte folgendes Grundprinzip gefunden: Das Bild wird in Zeilen, und die Zeilen werden in Punkte zerlegt. Das ähnelt dem Lesen einer Buchseite. So wie unser Blick nacheinander Zeile für Zeile über die Seite gleitet, tastet eine Vorrichtung das Bild ab. Die Bildzeilen entsprechen dabei den Druckzeilen, die Bildpunkte den Buchstaben, Satzzeichen und Wortzwischenräumen. Je nach der Helligkeit der Bildpunkte werden unterschiedliche elektrische Signale erzeugt und zur Empfangsstation übertragen. Dort steuern sie eine Vorrichtung, die im selben Rhythmus, in dem das Bild beim Sender abgetastet wird, hellere oder dunklere Punkte auf Papier zeichnet.

So richtig dieses Prinzip ist – es ließ sich damals nicht verwirklichen. Noch fehlte es an fotoelektrischen Bauelementen, die Licht in elektrische Signale umwandeln und umgekehrt. Solche Bauelemente wurden erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von verschiedenen Forschern geschaffen. Auf ihrer Grundlage entwickelte der deutsche Physiker Arthur Korn den ersten technisch brauchbaren Bildtelegrafien. 1904 wurden Bilder zwischen München und Nürnberg, 1907 auch zwischen Berlin und München sowie von Paris nach London und umgekehrt übertragen. Nach dem ersten Weltkrieg ging man außerdem zur drahtlosen Übertragung, also zum Bildfunk, über. Ab 1929 entstanden kontinentale und interkontinentale Bildfunklinien. Jetzt konnten beispielsweise Fotos aktueller Ereignisse in Amerika innerhalb kürzester Zeit nach Europa übermittelt werden.

Das zu übertragende Bild spannt man in der Sendestation auf eine Walze, die mit 30 oder 60 Umdrehungen je Minute rotiert. Aus einem Abtastkopf tritt ein feiner Lichtstrahl aus, der auf dem Bild einen winzigen Lichtfleck erzeugt. Je heller oder dunkler die Stelle des Bildes ist, auf die er trifft, desto mehr beziehungsweise weniger Licht wird von der Oberfläche des Papiers reflektiert, zurückgeworfen.



Die starke Vergrößerung eines Teils dieses Bildes aus einer Zeitung zeigt, daß solche Abbildungen aus kleinen Pünktchen zusammengesetzt sind. Wenn die Pünktchen sehr dicht nebeneinander liegen, bemerkt sie unser Auge nicht, sondern sieht geschlossene Flächen unterschiedlich starker Schwärzung. Erst durch eine Lupe betrachtet werden sie sichtbar



Schema des Bildfunks

Dieses Licht gelangt in ein fotoelektrisches Bauelement, das entsprechend unterschiedliche elektrische Signale bildet. Der Abtastkopf bewegt sich während der Umdrehung der Walze langsam parallel zur Walzenachse. Zusammen mit deren Rotation resultiert daraus eine schraubenlinienförmige Bewegung des Lichtstrahls über die gesamte Bildfläche.

In der Empfangsstation ist ein Blatt Fotopapier auf eine gleich große Walze gespannt. Diese dreht sich mit derselben Geschwindigkeit wie die Walze in der Sendestation. Außerdem bewegt sich eine Vorrichtung, aus der ebenfalls ein sehr feiner Lichtstrahl austritt, mit der gleichen Geschwindigkeit wie der Abtastkopf der Sendestation in Richtung der Walzenachse. Auch dieser Lichtstrahl wandert daher schraubenlinienförmig über das Fotopapier. Seine Helligkeit verändert sich dabei entsprechend den elektrischen Signalen aus der Sendestation. Dadurch zeichnet er die gleichen Hel-

ligkeiten der Bildpunkte, die beim Sender abgetastet wurden, Zeile für Zeile auf das Fotomaterial. Nach dem Entwickeln und Fixieren ist das Bild sichtbar.

Die langsame Schwester des Fernsehens

Bildtelegrafie hat nichts mit dem Fernsehen zu tun. Ein grundlegender Unterschied besteht in der Geschwindigkeit der Bildabtastung und -wiederaufzeichnung. Sie ist bei der Bildtelegrafie und dem Bildfunk sehr gering; die Übertragung eines Bildes dauert Minuten. Daher können nur stehende Bilder übermittelt werden, keine bewegten wie beim Fernsehen.

Die Anwendung des Bildfunks ist inzwischen nicht mehr auf Fotos beschränkt. Heute können beispielsweise ganze Zeitungsseiten mit Text und Bildern von einer zentralen Redaktion zu Druckereien in den Bezirken übertragen werden. In den Empfangsgeräten entstehen auf einem Spezialfilm Fotos der Zeitungsseiten. Nach einem modernen Verfahren lassen sich hiervon Druckplatten anfertigen, mit denen das Zeitungspapier zu bedrucken ist. Früher mußte man entweder alle Zeitungen am selben Ort drucken und dann in die verschiedenen Bezirke transportieren oder wenigstens Matern der Druckplatten zu den örtlichen Druckereien bringen. Das verursachte hohe Kosten und Zeitverlust.

Auch die Meteorologischen Dienste der einzelnen Länder tauschen Wetterkarten durch Bildfunk aus. Da diese keine Halbtöne (Graustufen) enthalten, sondern nur aus schwarzen Linien, Zahlen und Zeichen auf weißem Grund bestehen, ist kein Fotopapier oder Film nötig, die erst entwickelt werden müssen. Die elektrischen Signale erzeugen bei diesem Verfahren Fünkchen, die auf ein Spezialpapier überschlagen und es an den betreffenden Stellen schwärzen. Die Übertragung einer großen Wetterkarte von 56 cm mal 46 cm dauert weniger als 10 Minuten.

Die drahtgebundene Übertragung von Briefen und anderen Dokumenten durch Fernsprechleitungen mit Hilfe von Faksimilegeräten erwähnten wir bereits im Abschnitt „Briefe durch den Draht“.



So stellte man sich
schon 1884 das
Fernsehen vor

Fernsehen durch flitzende Löcher

In Zukunftsromanen wurde schon vor mehr als einhundert Jahren vom Fernsehen fabuliert. So schrieb der Franzose Albert Robida in seinem 1884 erschienenen Buch „Das 20. Jahrhundert“, daß man künftig zu Hause an der Wand ein Ballett sehen könne, das in einem weit entfernten Theater aufgeführt wird. Ein Bild aus dieser Zeit zeigt rechts unten im Vordergrund auch bereits einen trompetenförmigen Lautsprecher, aus dem die Musik ertönen sollte.

Es wurden damals aber nicht nur phantastische Geschichten erzählt, sondern auch einige grundlegende technische Vorstellungen.

gen darüber entwickelt, wie Fernsehen zu verwirklichen sei, so von dem Franzosen Constantin Senlecq und dem Deutschen Paul Nipkow. Dieser studierte damals in Berlin. Eine Anekdote besagt, seine Studienkollegen hätten ihn einmal scherhaft aufgefordert, endlich etwas zu erfinden, damit sie zu den Vorlesungen nicht mehr in die Universität gehen müßten, sondern sie zu Hause hören und sehen könnten.

Eine Idee am Weihnachtsabend

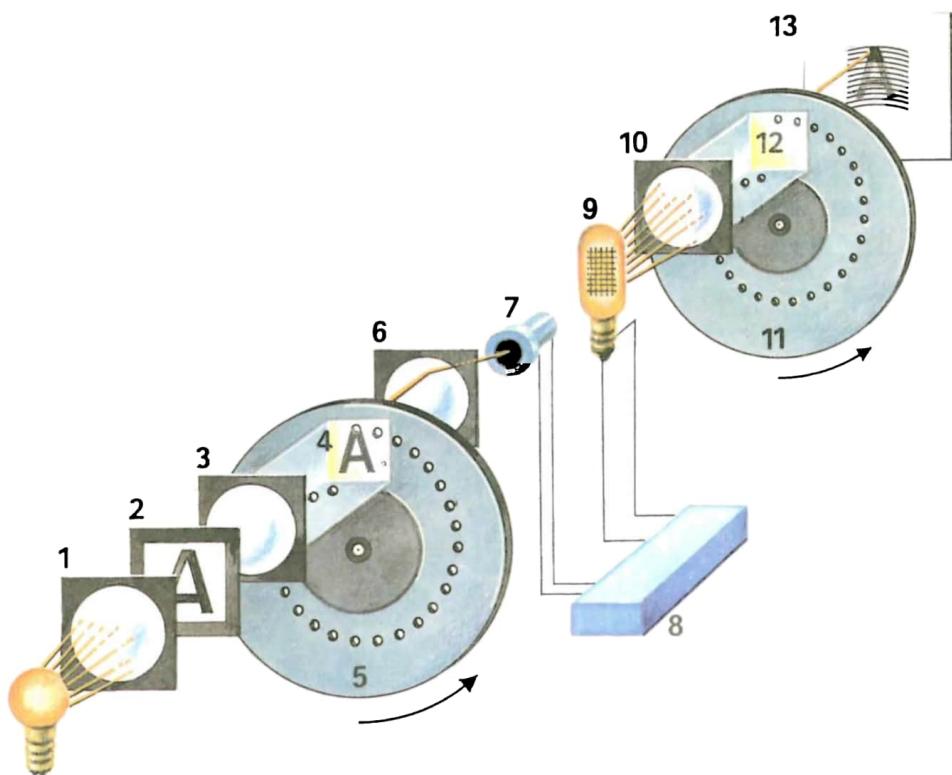
Wir wissen nicht, was Paul Nipkow wirklich bewog, über das Fernsehen nachzudenken. Jedenfalls fand er am Weihnachtsabend des Jahres 1883, als er einsam in seiner Studentenbude saß, ein Verfahren, Bilder sehr schnell zeilen- und punktweise abzutasten und wiederzugeben. Dies ist eine Voraussetzung für die Übertragung bewegter Bilder. Wenn unseren Augen in jeder Sekunde schnell hintereinander sehr viele einzelne stehende Bilder dargeboten werden, dann nehmen wir sie nämlich als ein ununterbrochen gesehnes Bild wahr. Unsere Augen können einem sehr raschen Wechsel



Wunschtraum von 1883
über das Studieren
durch Fernsehen

von Einzelbildern nicht folgen. Wenn sich außerdem Personen oder Dinge von Bild zu Bild an etwas anderen Stellen befinden, dann scheint uns, als bewegten sie sich. Das Sehen bewegter Bilder im Fernsehen beruht auf dem gleichen Grundprinzip. Doch 1883 gab es noch nicht einmal das Kino.

Nipkow erfand an jenem Abend eine Kreisscheibe, die in spiralförmiger Anordnung kleine Löcher hat. Wenn sie sich schnell dreht, huschen die Löcher über das abzutastende Bild und zerlegen es gewissermaßen in Zeilen. Jede Zeile können wir uns nochmals aus einzelnen Bildpunkten zusammengesetzt denken, die in einer Linie nebeneinanderliegen.



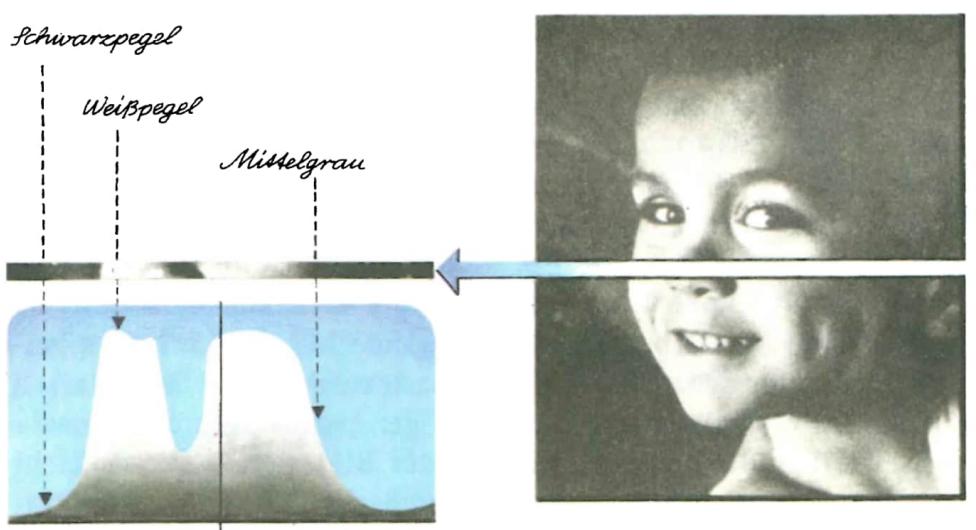
Schema des Fernsehens mit Nipkowscheiben (Erläuterung im Text)

Nipkowscheibe, Fotozelle, Glimmlampe

Wie mit der Nipkowscheibe Fernsehbilder aufzunehmen und wiederzugeben sind, zeigt schematisch das nebenstehende Bild. Die Kondensorlinse (1) richtet das Licht einer Lampe auf das abzutastende Bild (2), in diesem Falle ein Diapositiv, ein durchsichtiges Foto. Es wird mit dem Licht durchstrahlt. Ein weiteres Linsensystem, die Projektionsoptik (3), entwirft ein Abbild (4) des Dias auf die rotierende Lochscheibe (5). Bei ihrer Umdrehung huschen die Löcher zeilen- und punktweise über das Abbild (4), tasten es also ab. Dabei lassen die Löcher einmal mehr, einmal weniger Licht hindurch, je nachdem, wie hell die einzelnen Stellen des Bildes sind. Dieses Licht von wechselnder Helligkeit wird durch die hinter der Nipkowscheibe (5) angeordnete Kondensorlinse (6) auf die Fotozelle (7) gerichtet. Dies ist ein Bauelement, das Licht in elektrische Spannungen umwandelt. Je mehr Licht auf die Fotozelle einwirkt, desto höhere elektrische Spannungen entstehen. Folglich erzeugt die Fotozelle entsprechend dem Wechsel der Helligkeiten der einzelnen Bildstellen nacheinander unterschiedlich große Spannungen.

Das veranschaulicht das Bild auf Seite 68. Darin ist aus dem zu übertragenden Foto eine Bildzeile herausgeschnitten, in der nacheinander dunkle, mittelhelle und helle Stellen – Bildpunkte – folgen. Die Zeile ist neben dem Foto nochmals gesondert dargestellt. Darunter zeigt eine Grafik die Kurve der elektrischen Spannungen, in welche die Fotozelle die unterschiedlich hellen Bildpunkte umwandelt. An den schwarzen, lichtlosen Bildstellen verläuft die Spannungskurve auf der geraden Null-Linie. Sie erhebt sich über diese um so mehr, je heller die betreffenden Stellen der Bildzeile sind.

Nochmals zurück zum vorher erläuterten Bild (Seite 66)! Die von der Fotozelle (7) abgegebenen schwachen elektrischen Spannungen werden dem Verstärker (8) und danach der Flächenglimmlampe (9) des Fernsehempfängers zugeleitet. Sie unterscheidet sich von einer Glühlampe unter anderem dadurch, daß sie ihre Helligkeit sehr schnell verändern kann. Sie wandelt die Schwankungen der von der Fotozelle erzeugten Spannungen in Licht um, das entsprechend den Helligkeiten der einzelnen im Sender abgetasteten Bildstellen ebenfalls seine Helligkeit ändert. Dieses Licht wird mit der Kon-



Spannungsverlauf bei der Abtastung einer Bildzeile

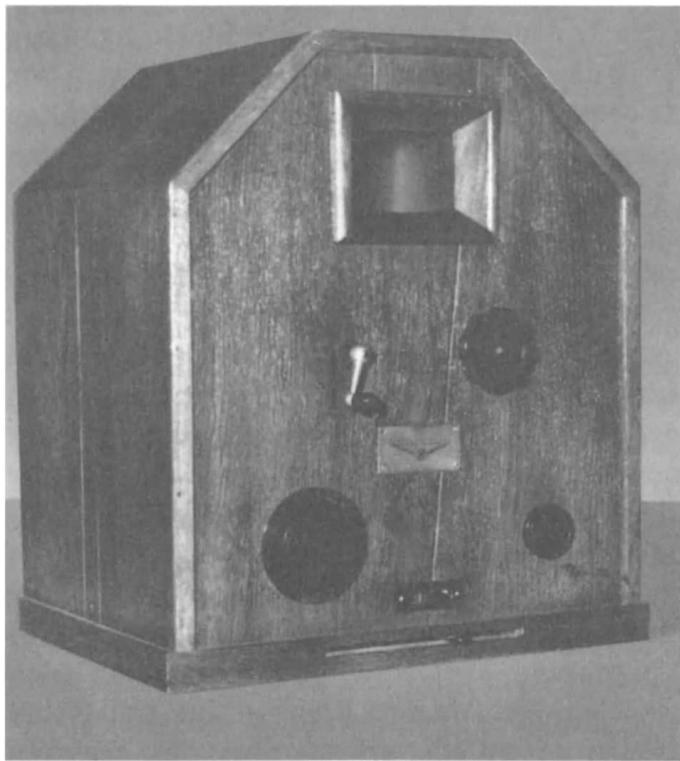
densorlinse (10) auf die Nipkowscheibe (11) des Fernsehempfängers gerichtet. Sie rotiert in genauem Gleichlauf mit der Lochscheibe (5) des Senders.

Die Löcher in der Scheibe des Empfängers lassen in jedem Moment das Licht der Glimmlampe nur an einer bestimmten Stelle durch. Genaugenommen sieht der Betrachter also nur einzelne Lichtpunktchen wechselnder Helligkeit zeilenweise von links nach rechts huschen. Und weil das äußerst schnell geschieht, nehmen wir die flitzenden Lichtpunktchen als ein vollständiges Bild (13) wahr. Da sich die Lochscheiben im Sender und Empfänger im Gleichlauf drehen, erscheinen an jeder Stelle des Bildfeldes (12) der Nipkowscheibe (11) Lichtpunktchen von derselben Helligkeit, wie sie durch die Nipkowscheibe (5) von dem Dia (2) abgetastet werden.

Nipkow erhielt 1884 ein Patent auf sein elektrisches Teleskop, wie er es nannte. Wenn man so will, war das Fernsehen also viel früher erfunden als das Radio – allerdings nur auf dem Papier. Für die Verwirklichung fehlten noch viele technische Voraussetzungen. Nipkow hat daher den Bau von Fernsehgeräten nicht versucht. Er wurde Eisenbahningenieur. Erst in den 20er Jahren unseres Jahrhunderts konnten verschiedene Forscher die Entwicklung der Fernsehtechnik ernsthaft in Angriff nehmen. Solche Experimente er-

folgten unter anderen 1924 im Physikalischen Institut der Universität Leipzig. 1928 begannen in Berlin Versuchssendungen. Dabei wurde das Bild in 30 Zeilen und etwa 1200 Bildpunkte zerlegt. Unser heutiges Fernsehbild besteht aus 625 Zeilen und etwa 520 800 Bildpunkten. Je größer die Anzahl der Zeilen und Punkte, desto schärfer ist das Bild und desto größer kann es sein, ohne daß es unscharf wirkt.

Die Bildgröße betrug bei den ersten Fernsehempfängern mit Nipkowscheibe nur 3 cm mal 4 cm. Durch eine Lupe sah man das Bild auf 6 cm mal 8 cm vergrößert. Da lediglich $12\frac{1}{2}$ Bilder je Sekunde übertragen wurden, flimmerten sie; ein flimmerfreies Bild entsteht erst bei etwa 50 Bildern je Sekunde. Später gelang es, die Zeilenanzahl auf 180 und sogar 441 zu erhöhen, doch blieben der Verbesserung der Bildqualität durch die mechanische Bildabtastung und -wiedergabe mit rotierenden Lochscheiben Grenzen gesetzt. Um eine gute Bildschärfe zu erreichen, mußten sich die Scheiben äußerst schnell und dabei gleichmäßig drehen. Es wurde



Nipkow-
Fernsehempfänger

eine Bildabtastvorrichtung gebaut, in der die Nipkowscheibe 10 500 Umdrehungen je Minute vollführte und – wie erwähnt – das Bild in 441 Zeilen zerlegte. Aber das war eine so riesige (und teure) Maschine, wie man sie nur im Studio des Senders aufstellen konnte, nicht jedoch für den Fernsehempfang im Wohnzimmer. Mit der Lochscheibe war das Fernsehen in eine technische Sackgasse geraten. Es mußte ein Ausweg gefunden werden.

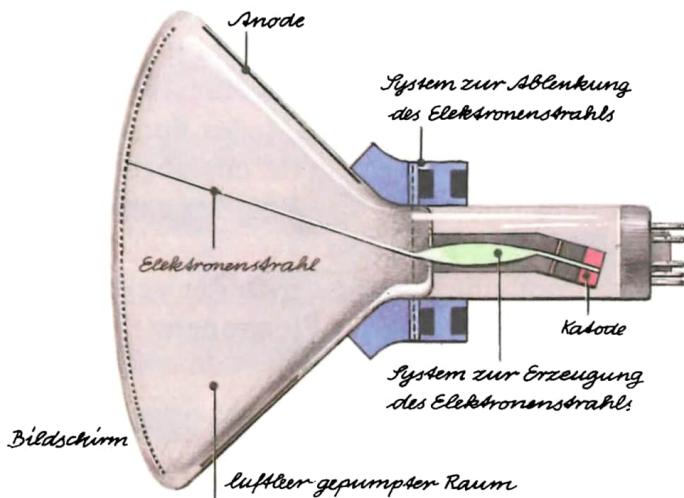
Gelenkte Elektronensalven

Einer von jenen, die nach einer Lösung des Problems suchten, war der junge Physiker Manfred von Ardenne. 1928 begann er mit seinen Experimenten. Er war damals erst 21 Jahre alt. Am 14. Dezember 1930 gelang in seinem Labor erstmals die Bildabtastung und -wiedergabe nach einem gänzlich neuen Verfahren. An die Stelle der schnell rotierenden Scheibe mit Löchern war ein Elektronenstrahl getreten. Er kann viel schneller und genauer zeilenweise Punkt für Punkt über das Bildfeld bewegt werden.

Der Elektronenstrahl ist eine Salve aus unvorstellbar vielen Elektronen. Wir kennen die Teilchen bereits von der Elektronenröhre her. Aber während sie in dieser eine Art Wolke bilden, die sich von der Katode zur Anode bewegt, sind sie in der Elektronenstrahlröhre, auch Katodenstrahlröhre genannt, zu einem scharfgebündelten Strahl ausgerichtet. Eine solche Röhre hatte übrigens schon 1897 der deutsche Physiker Karl Ferdinand Braun erfunden.

Der Elektronenstrahl läßt sich durch elektrische oder magnetische Kraftfelder horizontal (waagerecht) und vertikal (senkrecht) ablenken. Wenn er auf eine Schicht aus Leuchtstoff trifft, sendet sie an dieser Stelle Licht aus. Eine derartige Schicht befindet sich an der Innenseite der großen Vorderfläche des Glaskolbens der Röhre. Es ist jene grau oder etwas milchig aussehende Schicht, die wir den Bildschirm des Fernsehempfängers nennen.

Der Elektronenstrahl wird in dem hinteren schmalen Teil der Röhre, dem Röhrenhals, erzeugt. Da Elektronen negative Ladung tragen, werden sie durch eine Anode, an der sehr hohe positive Spannung von vielen tausend Volt liegt, in Richtung auf den Leuchtstoffschirm beschleunigt. Die von Braun erfundene Röhre mußte für das Fernsehen wesentlich verbessert werden. Manfred



Schema der Fernseh-Bildröhre

von Ardenne gelang es, eine Röhre zu schaffen, die einen 200mal helleren Lichtfleck ergab, der außerdem viel kleiner, also enger umgrenzt war.

Je eine von diesen neuartigen Elektronenstrahlröhren wurde jetzt für die Bildabtastung der Sendevorrichtung und für die Bildwiedergabe im Empfänger benutzt. Auf der Senderseite diente der von dem Strahl erzeugte Lichtpunkt der Leuchtstoffschicht gewissermaßen als Lampe. Bei seinem blitzschnellen zeilenweisen Hin- und Herwandern durchstrahlte er nacheinander alle Stellen eines Diapositivs, das sich vor dem Leuchtschirm der Röhre befand. Das Licht, welches durch das Dia gelangte, traf anschließend auf eine Fotozelle. Sie wandelte es in elektrische Spannungen um. Da helle Stellen des Dias mehr Licht durchlassen als dunkle, entstanden je nach den Helligkeiten der verschiedenen Bildpunkte wieder unterschiedlich hohe elektrische Spannungen. Sie dienten als Bildsignale und wurden nach Verstärkung in das Empfangsgerät eingeleitet.

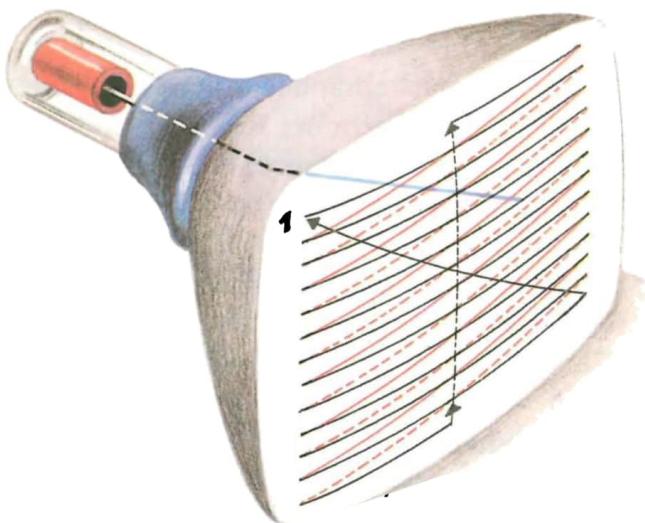
In diesem wanderte im gleichen Rhythmus wie in der Bildabtaströhre ebenfalls ein Elektronenstrahl über den Bildschirm einer Elektronenstrahlröhre. Die Intensität des Strahls wurde dabei, entsprechend den unterschiedlichen Spannungen, welche die Fotozelle erzeugte, verändert. (Intensität bedeutet hier die Anzahl der

Elektronen, die je Zeiteinheit auf den Bildschirm prallen. Je mehr Elektronen auftreffen, desto heller leuchtet er auf und umgekehrt.) Dadurch erzeugte der Strahl einmal hellere und einmal dunklere Lichtpunkte auf dem Bildschirm. Die Helligkeit jedes Punktes entsprach dabei derjenigen der betreffenden Stelle des abgetasteten Dias. Somit erschien auf dem Bildschirm der Empfängerröhre das gleiche Bild.

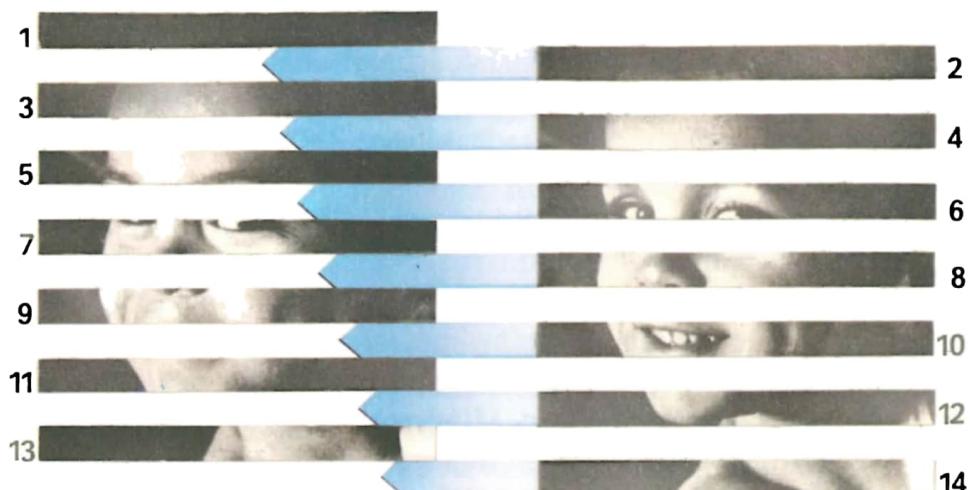
Dieses Prinzip der Bildschreibung durch einen zeilenweise abgelenkten und in seiner Intensität veränderten Elektronenstrahl wird bis heute in unseren Fernsehgeräten angewendet.

Der Trick mit dem Zeilensprung

Um den Eindruck bewegter Gegenstände zu erreichen, genügen etwa 25 Bilder je Sekunde. Um das Flimmern zu unterdrücken, sind – wie wir bereits wissen – jedoch etwa 50 Bilder in der Sekunde erforderlich. Ein technischer Trick hilft, das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Betrachten wir dazu das Bild! Die Linien deuten die Zeilen an, welche der Elektronenstrahl bei seinem Wandern über den Bildschirm schreibt. Da 625 Zeilen auf einer so kleinen Bildfläche nicht darstellbar sind, wurden hier nur 12 gezeichnet.



Schema des Zeilensprung-Verfahrens



In Zeilen zerschnittenes Bild

Der Strahl beginnt seinen Weg am linken Ende der Zeile 1, läuft bis zu ihrem rechten Ende, springt wieder nach links, aber nicht zum Anfang der 2., sondern zu dem der 3. Zeile. Die 2. Zeile wird vorerst ausgelassen. So geht es weiter. Alle geradzahligen Zeilen werden übersprungen, bis der Strahl die 11. Zeile geschrieben hat. Dann wandert er unter die 12., von da zurück zur Bildmitte, jetzt nach oben bis über die 1. Zeile, nach rechts und nun erst zur 2., 4., 6. und zu allen weiteren geradzahligen Zeilen. Während der Rückläufe des Strahls, die als gestrichelte Linien gezeichnet sind, wird er – wie man sagt – dunkelgetastet, erzeugt also keine Lichtpunkte, keine Zeilen.

Die ungeradzahligen Zeilen ergeben zusammen ein Halbbild, ebenso alle geradzahligen. Demnach werden je Sekunde 50 Halbbilder = 25 Vollbilder erzeugt. Würden 50 Vollbilder gesendet, dann wäre die doppelte Anzahl Bildsignale je Sekunde erforderlich. Jeder Sender beanspruchte dann eine zweimal so große Frequenz-Bandbreite. Folglich könnten in dem zur Verfügung stehenden Frequenzbereich nur halb so viele Sender betrieben werden. Im Bild oben ist die Aufteilung des Fernsehbildes in zwei Halbbilder nochmals durch ein in Streifen geschnittenes Foto schematisch veranschaulicht.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Elektronenstrahl die Zeilen schreibt, können wir uns kaum vorstellen. 25mal in jeder Se-

kunde erfolgt nämlich ein voller Durchlauf des Strahls über alle 625 Zeilen des Bildes! Weil das so schnell geschieht, merken wir nicht, daß lediglich ein flitzender Lichtpunkt zuerst die ungeradzahligen und danach die geradzahligen Zeilen schreibt. Unser Auge läßt sich also täuschen.

Die Zusammensetzung des Bildes aus Zeilen erkennen wir allerdings, wenn wir den Bildschirm aus unmittelbarer Nähe betrachten. Von einem Abstand an, der das Vier- bis Fünffache der Bildschirmdiagonale beträgt, verschwimmen für unsere Augen die einzelnen Zeilen ineinander. Scharf erscheint uns das Bild also nur, wenn wir einen gewissen Mindestabstand einhalten. Damit sind die Fernsehtechniker noch nicht endgültig zufrieden. Es gibt Vorschläge, die Bildschärfe durch Vergrößerung der Zeilenzahl auf etwa das Doppelte – 1 100 bis 1 400 – zu erhöhen. Dabei wird auch ein für unser Sehen gewohntes Verhältnis der Bildbreite zur Höhe von 5:3, statt wie bisher 4:3, angestrebt. Die größere Zeilenzahl würde aber eine höhere Frequenz-Bandbreite der Fernsehsender erfordern und einige weitere Probleme bringen.

Daß Fernsehen nur möglich ist, weil sich unsere Augen täuschen lassen, zeigt sich noch auf andere Weise. In vielen Bildern sehen wir deutlich auch schwarze Stellen. In Wirklichkeit ist der Bildschirm aber an keiner Stelle dunkler als wir ihn sehen, wenn das Gerät ausgeschaltet ist. Denn der Elektronenstrahl kann in der Leuchtstoffschicht nur helles und weniger helles oder gar kein



Fernsehempfänger in einer öffentlichen „Fernsehstube“ der 30er Jahre

Licht erzeugen, niemals aber Schwarz. Lediglich durch den Kontrast solcher Stellen, an denen er kein Leuchten hervorruft, gegenüber solchen, die er aufleuchten läßt, erscheinen uns die ersteren schwarz.

Kehren wir aber noch einmal zur Technik der Bildabtastung beim Sender zurück! Während die Bildaufzeichnung mit dem Elektronenstrahl sehr bald in die Praxis übernommen wurde – schon 1932 gab es solche Empfänger –, behielt man die mechanische Bildabtastung mit der Nipkowscheibe noch einige Zeit bei. Denn der vom Elektronenstrahl erzeugte blitzschnell wandernde Lichtfleck, als „flying spot“ (fliegender Punkt) bezeichnet, eignet sich zwar hervorragend für die Abtastung von Diapositiven und Filmen, also von Bildern, die zu *durchleuchten* sind. Dagegen ist das Verfahren für die Abtastung von Personen und Gegenständen, die mit dem Strahl beleuchtet werden müßten, kaum geeignet. Für solche Fernsehaufnahmen mußte man deshalb zunächst weiter die Nipkowscheibe benutzen. Das erzwang Techniken, die aus heutiger Sicht recht seltsam anmuten.

Dunkelzelle oder Schwitzkasten

Bei dem einen Verfahren befanden sich die Fernsehsprecherin oder die Schauspieler in einer dunklen und sehr kleinen Kabine. Nur der feine Lichtstrahl, den die Löcher der Nipkowscheibe hindurchließen, huschte über die Szene. Die Darsteller mußten zum Beispiel das Kunststück beherrschen, im Dunkeln ein Glas Wein einzugießen, ohne etwas danebenzuschütten. Das von den Personen und Gegenständen reflektierte Licht wurde von mehreren in der Kabine angeordneten, elektrisch parallelgeschalteten Fotozellen empfangen.

Eine andere Methode bestand darin, die Schauspieler in der engen Kabine mit Scheinwerfern grell zu beleuchten. Doch die mit dem Licht verbundene Hitze drohte die Schminke auf den Gesichtern der Akteure zu schmelzen. Die Überfülle von Licht war erforderlich, weil davon nur jeweils ein winziger Teil durch die feinen Löcher der Nipkowscheibe aus der Kabine auf die Fotozelle gelangte. Ein Linsensystem entwarf dabei nämlich ein Abbild der Szene, die sich in der Kabine abspielte, auf die außen vor ihr ange-

ordnete rotierende Lochscheibe. Hinter dieser war die Fotozelle angeordnet.

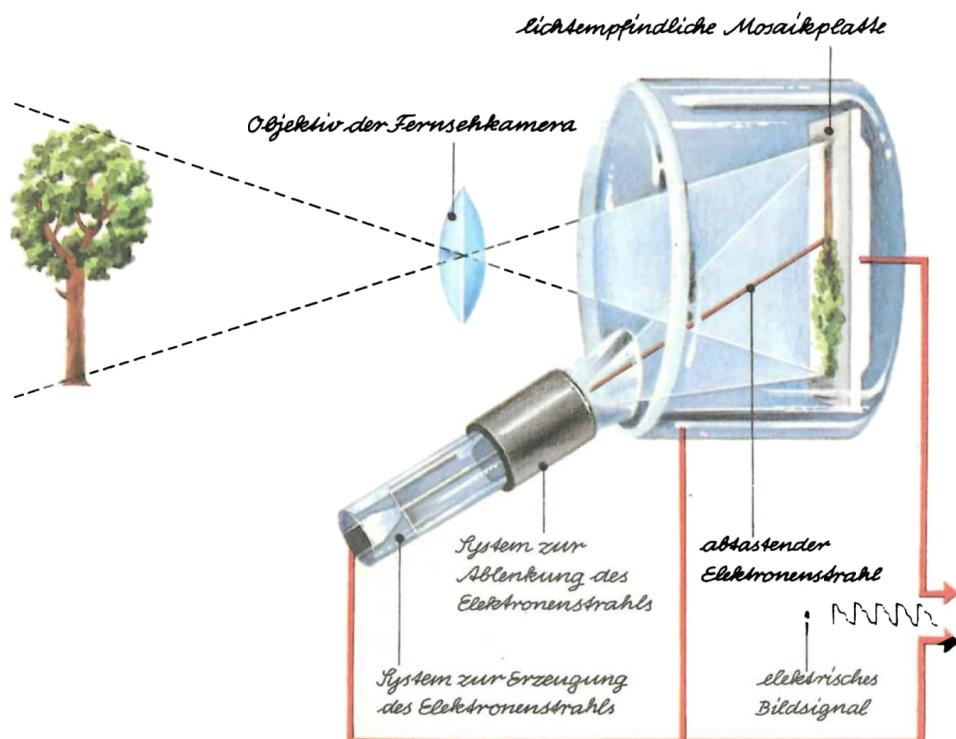
Schließlich fand man einen Ausweg, bei dem die Darsteller weder geblendet wurden und ins Schwitzen kamen noch im Dunkeln saßen: Die Beleuchtung der Kabine erfolgte mit 50 Blitzen je Sekunde. Jeder Blitz leuchtete nur etwa $\frac{1}{1000}$ s, und zwar stets während der Zeit, in welcher der Bildwechsel stattfand. Dem Auge erschienen die vielen Lichtblitze wie Dauerlicht. Die Bildabtastung wurde aber nicht gestört, da die Blitze stets in die Abtastpausen fielen.

Nach wie vor bestand jedoch der Nachteil, daß Personen und Gegenstände nur aus großer Nähe in einer kleinen Kabine aufgenommen werden konnten. Für Fernsehreportagen im Freien oder in großen Räumen mußten die Ereignisse erst gefilmt und dann in der bereits geschilderten Weise vom Filmstreifen abgetastet werden. Dafür kam ab 1934 ein spezieller Fernseh-Aufnahmewagen zum Einsatz. Auf seinem Dach stand die Filmkamera. Der belichtete Streifen lief durch einen lichtdichten Schacht des Daches unmittelbar in eine Maschine, in der er entwickelt und fixiert wurde. Noch naß gelangte er anschließend in die Abtastvorrichtung mit Nipkowscheibe und Fotozelle. Die Bildsignale wurden über Spezialkabel zum Sender übertragen. Da die Verarbeitung des Films äußerst schnell erfolgte, soll zwischen dem tatsächlichen Geschehen und seiner Wiedergabe auf den Bildschirmen der Fernsehgeräte nur eine geringe zeitliche Verzögerung bis herab zu 15 s entstanden sein. Es gab damals allerdings erst sehr wenige Besitzer von Fernsehempfängern; viele von ihnen waren Ingenieure, die an der Weiterentwicklung der Technik arbeiteten, also gewissermaßen dienstlich fernsahen.

Das elektronische Auge

Eine befriedigende Bildaufnahmetechnik ermöglichte erst die Ikonoskop genannte spezielle Elektronenstrahlröhre. Sie wurde von dem in den USA lebenden russischen Physiker Wladimir Kosma Zworykin erfunden. 1934 gab es die ersten Informationen über betriebsfähige Bildaufnahmeröhren dieses Typs. 1934/35 hat man erstmals Fernsehkameras mit einer solchen Röhre gebaut. Sie lö-

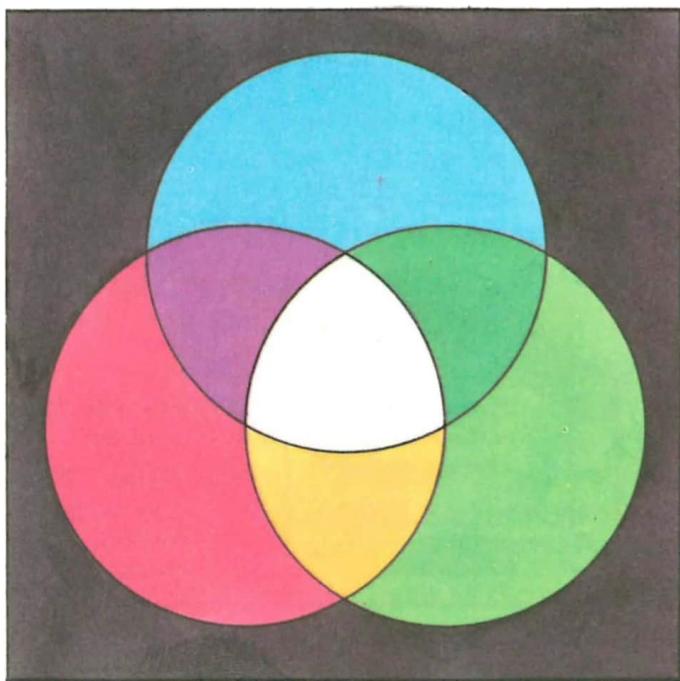
sten das oben geschilderte Zwischenfilm-Verfahren aber nicht schlagartig ab. Statt des Leuchtstoffschirms enthält das Ikonoskop eine Speicherplatte. Das vom Objektiv der Fernsehkamera erzeugte Bild wird auf diese Platte entworfen. Sie trägt ein Mosaik von Millionen winziger Fotozellen aus Caesiumsilberoxid, die elektrisch voneinander isoliert, also durch nichtleitfähiges Material getrennt sind. Die dünne Platte selbst besteht aus Glimmer, der ebenfalls nicht elektrisch leitet. Auf der Rückseite hat sie einen metallischen, also elektrisch leitenden Belag. Mit diesem zusammen bilden die Caesiumsilberoxid-Körnchen ebenso viele winzige Kondensatoren. Das sind Bauelemente, die sich elektrisch aufladen lassen und die Ladung so lange speichern können, bis sie wieder entladen werden. Die Speicherplatte fungiert somit als ein Mosaik von Fotozellen und Kondensatoren. Diese werden durch einen elektrischen Effekt, der beim Auftreffen von Licht in den Fotozellen stattfindet, aufgeladen. Die Aufladung ist um so stärker, je hel-



Schema des Ikonoskops, einer Bildaufnahmeröhre

ler das Licht, welches auf die betreffenden Caesiumsilberoxid-Körnchen trifft. Dadurch wird das aus Lichtpunktchen unterschiedlicher Helligkeit bestehende Bild in ein „Ladungsbild“, in ein Mosaik aus verschiedenen stark geladenen Kondensatoren umgewandelt.

Über die Speicherplatte wandert zeilenweise der Elektronenstrahl. Dabei entlädt er nacheinander die einzelnen Kondensatoren. Über einen Widerstand entstehen dadurch schwache elektrische Spannungen, die, je nach den Helligkeiten der einzelnen Bildstellen, verschieden groß sind. Sie bilden die elektrischen Bildsignale, die nach Verstärkung vom Sender drahtlos übertragen werden. In den Bildröhren der Fernsehempfänger steuern diese Signale die Intensität des bildschreibenden Elektronenstrahls und erzeugen dadurch auf den Leuchtstoffschirmen das gleiche Bild, das von der Speicherplatte der Fernsehkamera abgetastet wird. Vom Sender zusätzlich ausgesandte Signale steuern die Elektronenstrahlen in den Bildröhren sämtlicher Empfänger so, daß sie im selben Rhythmus über die Bildschirme wandern wie der abtastende Strahl über die Speicherplatte des Ikonoskops.



Schema der additiven Farbmischung

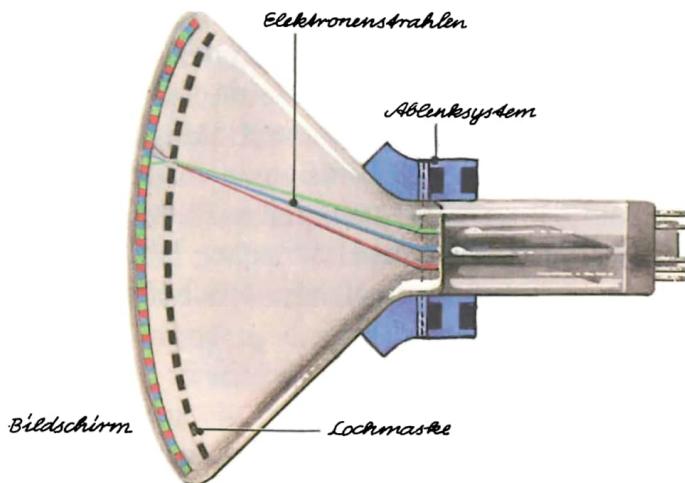
Inzwischen ist diese Bildaufnahmeröhre längst durch wesentlich verbesserte ersetzt, die weit lichtempfindlicher sind. Das Grundprinzip blieb jedoch gleich: Das Bild wird auf eine fotoelektrisch wirksame Platte entworfen, mit deren Hilfe durch Abtastung mit einem Elektronenstrahl die elektrischen Bildsignale entstehen. Bei den heutigen, Vidicon und Plumbicon genannten Bildaufnahmeröhren bewirkt das Licht Änderungen des elektrischen Widerstands der Mosaikbausteine, die sich auf der Speicherplatte befinden.

Drei Strahlen und 400 000 „Astlöcher“

Für das Farbfernsehen kommt der Technik der Umstand zu Hilfe, daß man aus nur drei Grundfarben – Rot, Grün und Blau – alle anderen Farben ermischen kann. Das zeigt unser Bild. Darin sind je ein roter, grüner und blauer Kreis teilweise übereinandergedruckt. Wo Rot plus Grün gemischt sind, entsteht Gelb. Blau plus Rot ergeben Purpur, Blau plus Grün Blaugrün. Im Druck wird das nicht so deutlich wie beim Übereinanderprojizieren reinen roten, grünen und blauen Lichts auf eine weiße Kino-Bildwand. Alle drei Grundfarben übereinandergestrahlt ergeben Weiß oder, richtiger gesagt, farbloses Licht. Weil bei diesem Verfahren die drei Grundfarben gewissermaßen addiert werden, bezeichnet man es als additive Farbmischung. (Es gibt auch eine subtraktive Farbmischung; sie wird im Kino angewendet.)

Hinter dem Objektiv der Farbfernsehkamera ist ein Farbteiler angeordnet. Er besteht aus besonderen Spiegeln oder Prismen. Sie zerlegen und filtern das Licht in seine roten, grünen und blauen Anteile und führen diese drei speziellen Bildaufnahmeröhren zu. Die Bildaufnahmeröhren ergeben für jede der drei Grundfarben elektrische Bildsignale, die auf eine komplizierte Weise verarbeitet und vom Sender drahtlos übertragen werden.

Die Bildröhre des Farbfernsehempfängers erzeugt drei Elektronenstrahlen und lenkt sie über den Bildschirm. Er ist mosaikartig mit Tüpfelchen drei verschiedener Arten von Leuchtstoffen versehen. Jeweils eine Sorte Leuchtstoff sendet beim Auftreffen des Strahls rotes, grünes oder blaues Licht aus. Da die einzelnen Leuchtstoff-Tüpfelchen ganz winzig sind und jeweils ein rotes, grünes und blaues in regelmäßiger Anordnung sehr dicht beieinander-

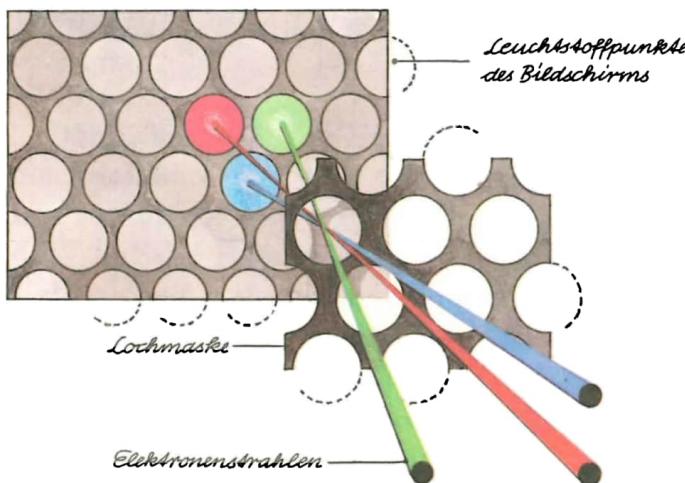


Schema der Farbbildröhre

liegen, sehen wir sie aus dem üblichen Betrachtungsabstand nicht als getrennte Farbpünktchen. Wie beim Übereinanderprojizieren roten, grünen und blauen Lichts verschmilzt ihr Licht vielmehr zu den vielen anderen Farbtönen.

Jeder der drei Elektronenstrahlen darf aber stets nur auf solche Leuchtstoff-Tüpfelchen treffen, welche die Farbe erzeugen, deren Bildsignale er enthält. Dies wird durch eine – vom Zuschauer aus gesehen – hinter dem Leuchtstoff-Mosaik befindliche Maske erreicht. Sie hat viele winzige Löcher. Bei einem Typ von Farbbildröhren sind sie kreisförmig, bei einem moderneren Typ schlitzförmig. Warum jeder Elektronenstrahl mit Hilfe der Maske nur auf seine Sorte Leuchtstoff-Tüpfelchen treffen kann, veranschaulicht uns ein Vergleich.

Lattenzäune haben Astlöcher. Wenn wir uns dicht vor ein solches Loch stellen, können wir ein hinter dem Zaun aufgestelltes Bild vollständig sehen. Blicken wir jedoch aus einiger Entfernung hindurch, dann ist nur ein bestimmter Ausschnitt des Bildes sichtbar. Reihen sich drei Kinder nebeneinander auf und schauen so von etwas verschiedenen Stellen aus durch dasselbe Astloch, dann sieht jedes Kind einen anderen Ausschnitt des Bildes. Auch die drei Elektronenstrahlen der Farbbildröhre verlaufen nicht parallel zueinander, sondern sind gegeneinander geneigt. Das ist mit den



Schema der Lochmaske einer Farbbildröhre

verschiedenen Blickrichtungen der drei Kinder vergleichbar. Folglich kann jeder Strahl nur auf eine bestimmte Stelle des Leuchtschirms treffen, nämlich auf eine solche, an der das Leuchtstoff-Tupfelchen angeordnet ist, welches Licht derjenigen Farbe erzeugt, deren Bildsignale der Strahl enthält. Die Maske der Farbbildröhre hat 400 000 solcher „Astlöcher“. Jedes lässt die drei Elektronenstrahlen jeweils nur auf die richtigen Stellen des Leuchtstoff-Mosaiks treffen. Der Bildschirm besteht aus $3 \cdot 400\,000 = 1\,200\,000$ Leuchtstoff-Tupfelchen.

Weiterführende Literatur

Damit sind wir am Ende des langen Weges, auf dem wir die Nachrichtentechnik von der Urwalttrommel bis zum Farbfernsehen verfolgten. Hier konnte nur ein grober Überblick geboten werden. Auf die Beschreibung vieler technischer Details wurde verzichtet. Wer mehr als nur die hier geschilderten Grundprinzipien kennenlernen möchte, dem sei – aufbauend auf die im Physikunterricht zu erwerbenden Kenntnisse – die Lektüre weiterführender Literatur empfohlen. Hier einige Buchtitel:

Walter Conrad, Forscher, Funker, Ingenieure (179 S., VEB Fachbuchverlag)

Walter Conrad, Roboter in unserer Hand (143 S., Der Kinderbuchverlag)

Walter Conrad, Streifzüge durch die HF-Technik. Reihe Bau- steine des Wissens (287 S., Urania-Verlag)

Walter Conrad, Elektronik – gestern heute morgen (198 S., VEB Verlag Technik)

Walter Conrad, Kommunikation 2000. akzent-Band 65 (126 S., Urania-Verlag)

Wolfgang Glaser, Elektronik woher – wohin (243 S., VEB Fachbuchverlag)

Lothar König, Rundfunk und Fernsehen selbst erlebt (383 S., Urania-Verlag)

Karl-Heinz Rumpf, Trommeln Telefone Transistoren (174 S., VEB Verlag Technik)

Heinz Sternberg, ... ich verbinde. Ein Buch vom Fernsprecher (142 S., Urania Verlag)

Norbert Wass, radio fernsehen fono (246 S., VEB Verlag Technik)

ISBN 3-358-00182-2



1. Auflage 1987

© Der Kinderbuchverlag Berlin – DDR 1987

Lizenz-Nr. 304-270/116/87

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig,

Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit III/18/97

LSV 7821

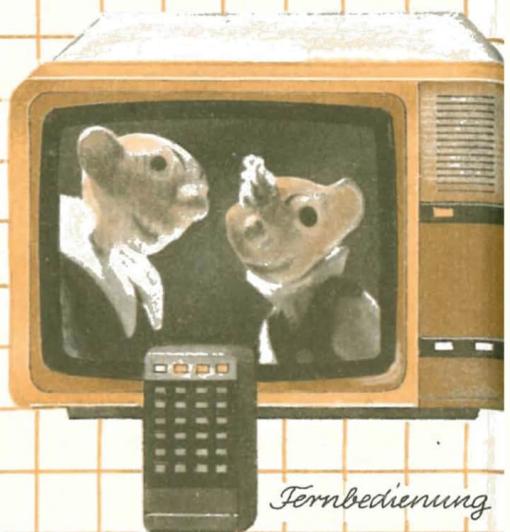
Für Leser von 12 Jahren an

Bestell-Nr. 632 669 8

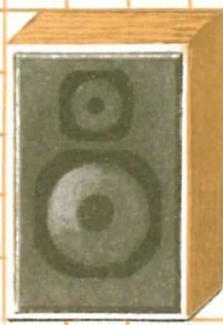
00840



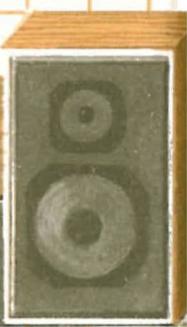
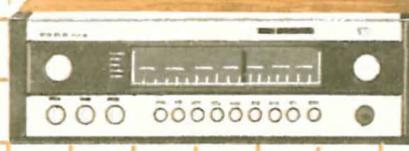
Fernsprecher



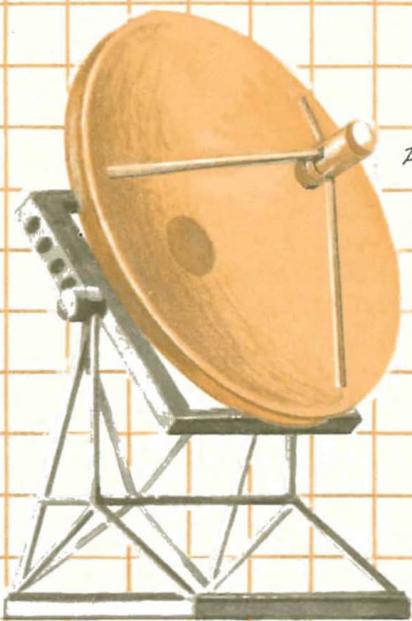
Fernbedienung



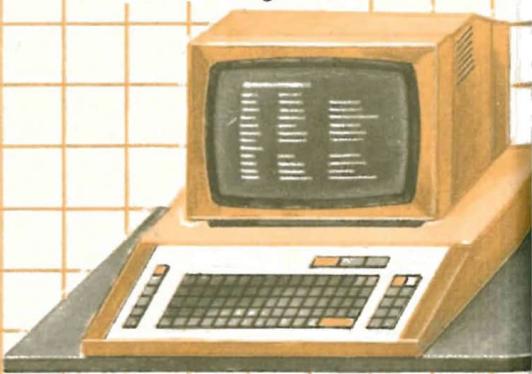
Stereo-Rundfunkgerät



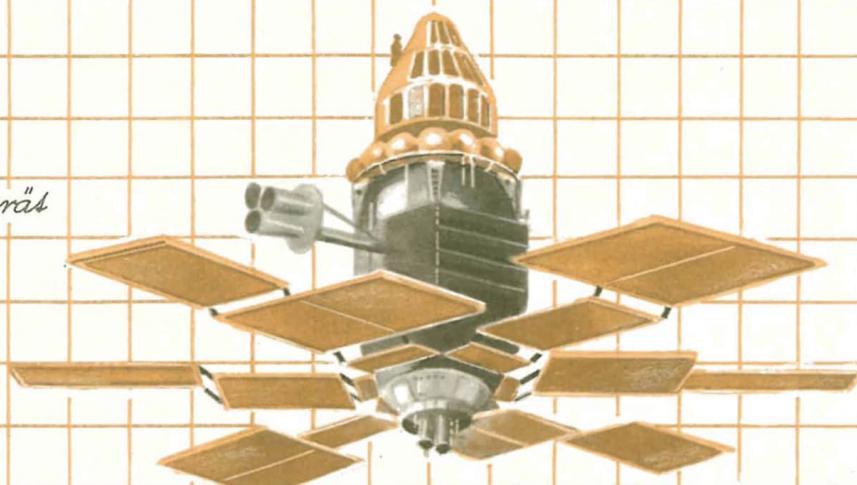
Parabolantenne



Bildschirmgerät

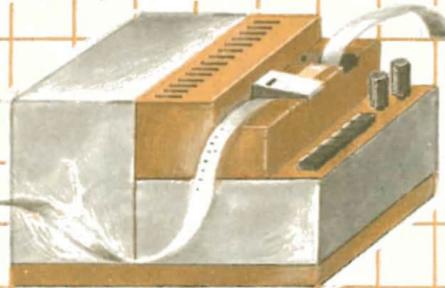


Fernsehgerät



Nachrichtensatellit Molniya 11

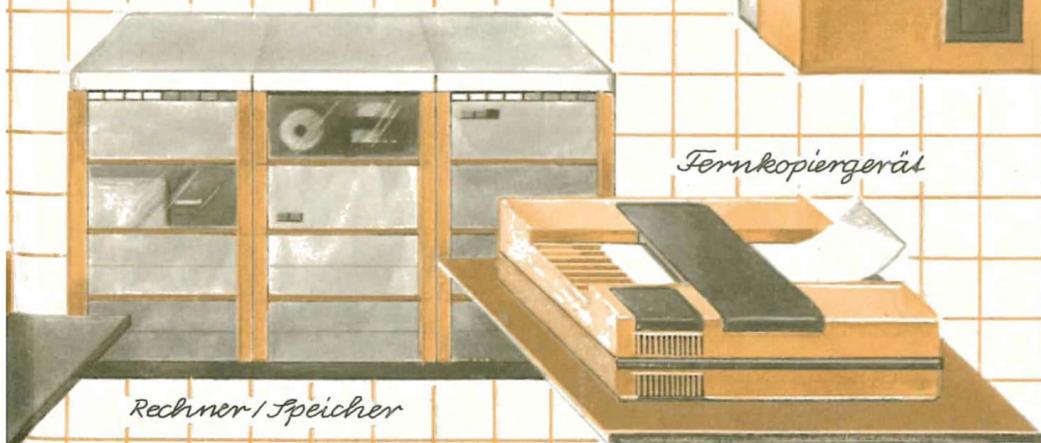
Lochstreifensender



Münzfern sprecher

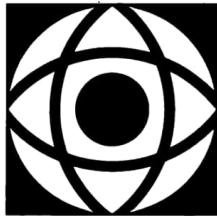


Fernkopiergerät



Rechner / Speicher

ab 12 J.



Was in fernen Erdteilen geschieht, können wir schon kurze Zeit später in den Rundfunknachrichten hören und auf dem Bildschirm des Fernsehempfängers sehen. Dieses Buch erzählt, wie es dazu kam. Es berichtet von seltsamen Nachrichtenmitteln der Vergangenheit und erläutert, wie unsere modernen Nachrichtengeräte funktionieren: Telegraf, Fernschreiber, Telefon, Radio und Fernsehen. Das Buch lässt uns auch einen Blick in die Zukunft werfen und schildert, welche neuen Möglichkeiten die weiterentwickelte Fernsprechtechnik eröffnen wird.



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

ISBN 3-358-00182-2