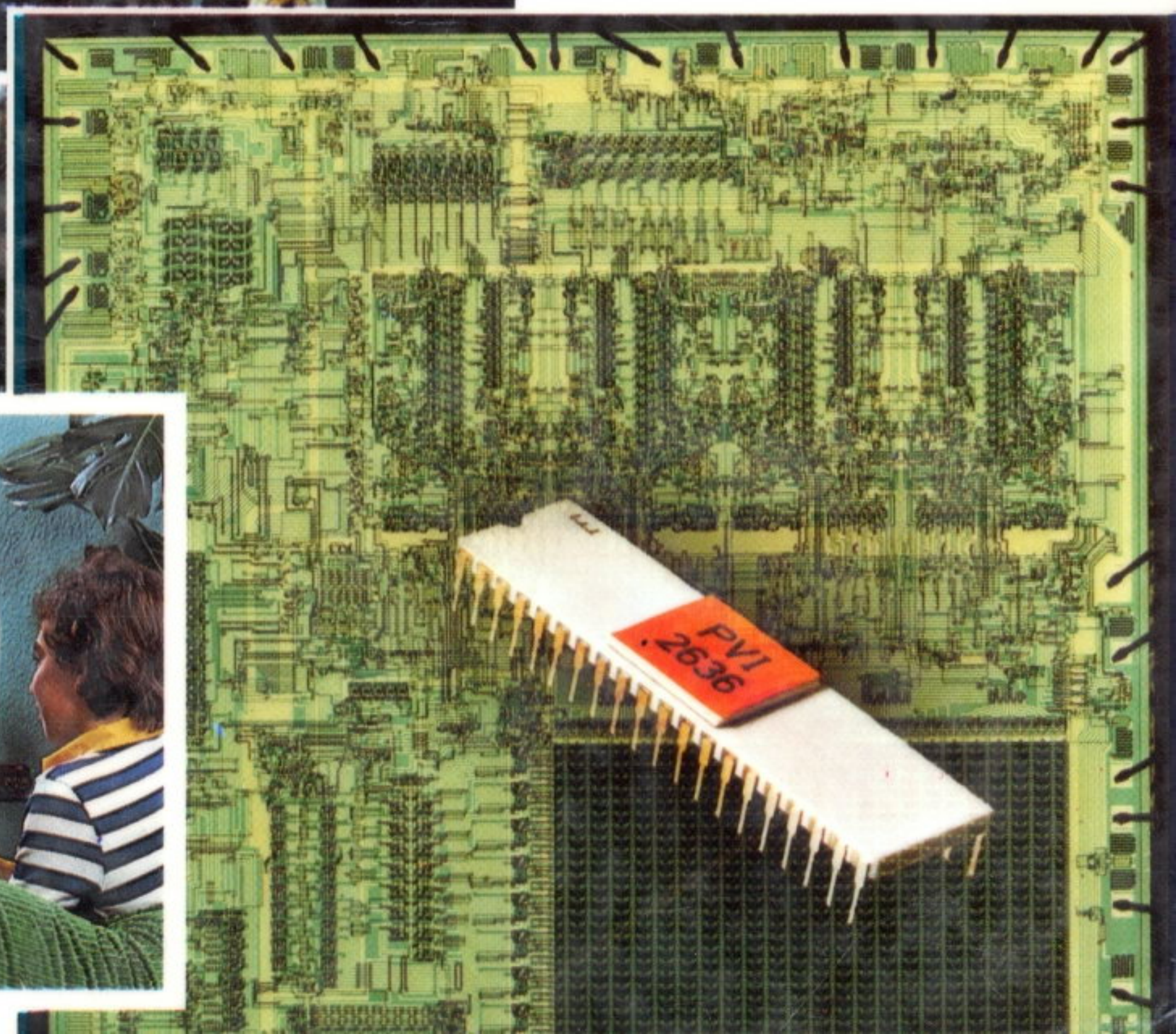
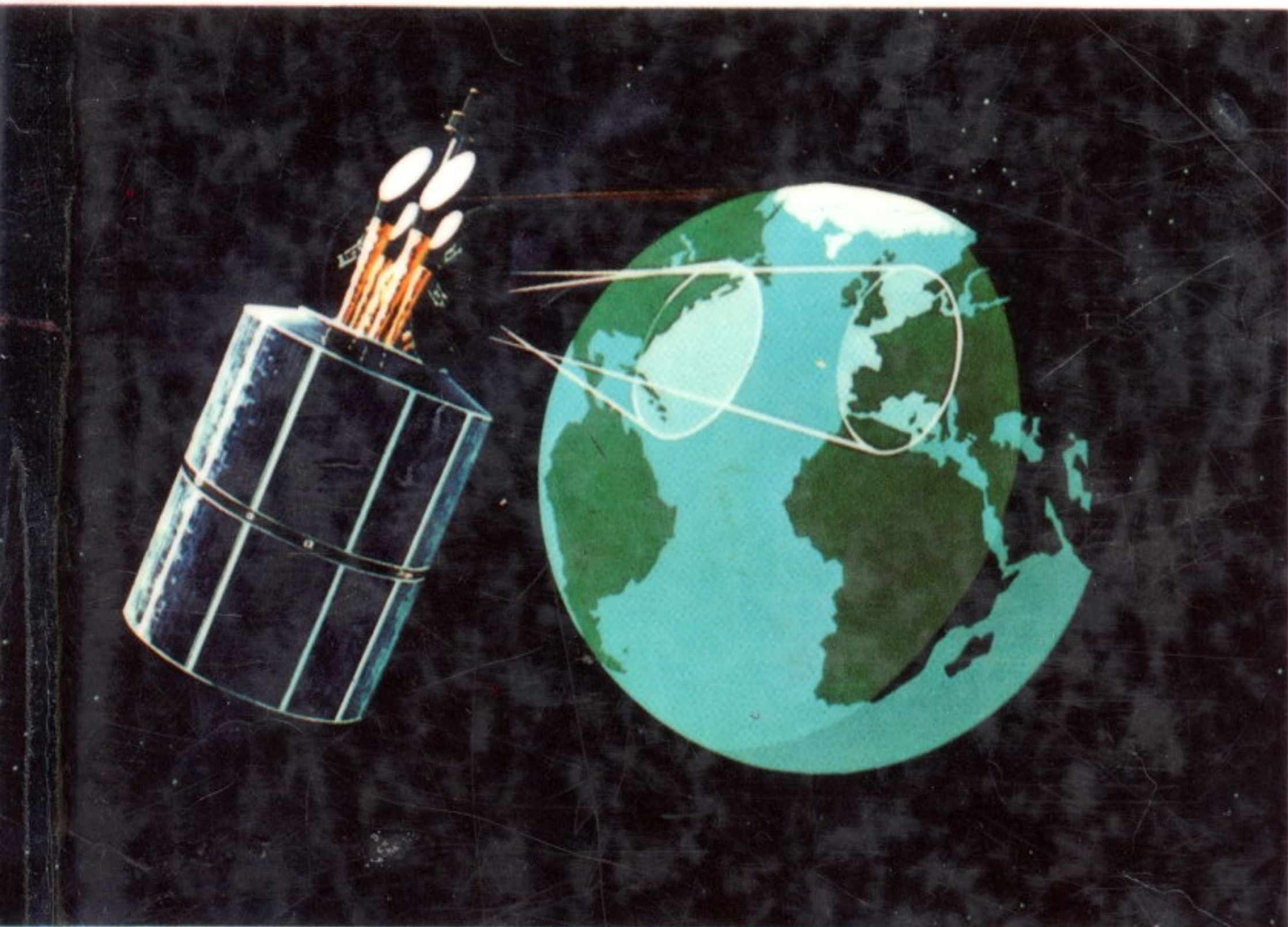
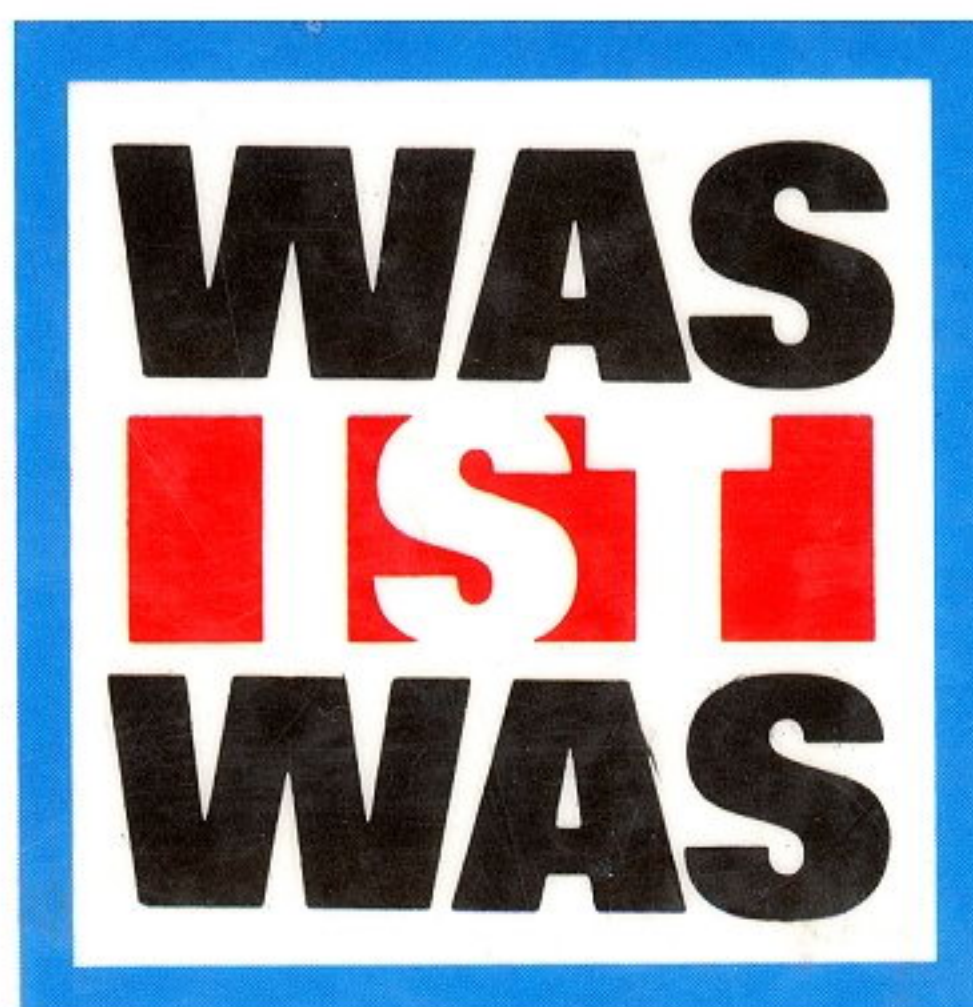




Elektronik

BAND 47





In dieser Reihe sind bisher erschienen:

Band 1 **Unsere Erde**
Band 2 **Der Mensch**
Band 3 **Atomenergie**
Band 4 **Chemie**
Band 5 **Entdecker**
Band 6 **Die Sterne**
Band 7 **Das Wetter**
Band 8 **Das Mikroskop**
Band 9 **Der Urmensch**
Band 10 **Fliegerei und Luftfahrt**
Band 11 **Hunde**
Band 12 **Mathematik**
Band 13 **Wilde Tiere**
Band 14 **Versunkene Städte**
Band 15 **Dinosaurier**
Band 16 **Planeten und Raumfahrt**
Band 17 **Licht und Farbe**
Band 18 **Der Wilde Westen**
Band 19 **Bienen und Ameisen**
Band 20 **Reptilien und Amphibien**
Band 21 **Der Mond**
Band 22 **Die Zeit**
Band 23 **Von der Höhle bis
zum Wolkenkratzer**
Band 24 **Elektrizität**
Band 25 **Vom Einbaum zum
Atomschiff**
Band 26 **Wilde Blumen**
Band 27 **Pferde**
Band 28 **Die Welt des Schalls**
Band 29 **Berühmte Wissenschaftler**
Band 30 **Insekten**
Band 31 **Bäume**

Band 32 **Meereskunde**
Band 33 **Pilze, Moose und Farne**
Band 34 **Wüsten**
Band 35 **Erfindungen**
Band 36 **Polargebiete**
Band 37 **Computer und Roboter**
Band 38 **Prähistorische Säugetiere**
Band 39 **Magnetismus**
Band 40 **Vögel**
Band 41 **Fische**
Band 42 **Indianer**
Band 43 **Schmetterlinge**
Band 44 **Das Alte Testament**
Band 45 **Mineralien und Gesteine**
Band 46 **Mechanik**
Band 47 **Elektronik**
Band 48 **Luft und Wasser**
Band 49 **Leichtathletik**
Band 50 **Unser Körper**
Band 51 **Muscheln und Schnecken**
Band 52 **Briefmarken**
Band 53 **Das Auto**
Band 54 **Die Eisenbahn**
Band 55 **Das Alte Rom**
Band 56 **Ausgestorbene Tiere**
Band 57 **Vulkane**
Band 58 **Die Wikinger**
Band 59 **Katzen**
Band 60 **Die Kreuzzüge**
Band 61 **Pyramiden**
Band 62 **Die Germanen**
Band 63 **Foto und Film**
Band 64 **Die Alten Griechen**
Band 65 **Die Eiszeit**

Band 66 **Berühmte Ärzte**
Band 67 **Die Völkerwanderung**
Band 68 **Natur**
Band 69 **Fossilien**
Band 70 **Das Alte Ägypten**
Band 71 **Seeräuber**
Band 72 **Heimtiere**
Band 73 **Spinnen**
Band 74 **Naturkatastrophen**
Band 75 **Fahnen und Flaggen**
Band 76 **Die Sonne**
Band 77 **Tierwanderungen**
Band 78 **Münzen und Geld**
Band 79 **Moderne Physik**
Band 80 **Tiere - wie sie sehen,
hören und fühlen**
Band 81 **Die Sieben Weltwunder**
Band 82 **Gladiatoren**
Band 83 **Höhlen**
Band 84 **Mumien**
Band 85 **Wale und Delphine**
Band 86 **Elefanten**
Band 87 **Türme**
Band 88 **Ritter**
Band 89 **Menschenaffen**
Band 90 **Der Regenwald**
Band 91 **Brücken**
Band 92 **Papageien und Sittiche**
Band 93 **Olympia**
Band 94 **Samurai**
Band 95 **Haie und Rochen**
Band 96 **Schatzsuche**
Band 97 **Hexen und Hexenwahn**

Tessloff  Verlag

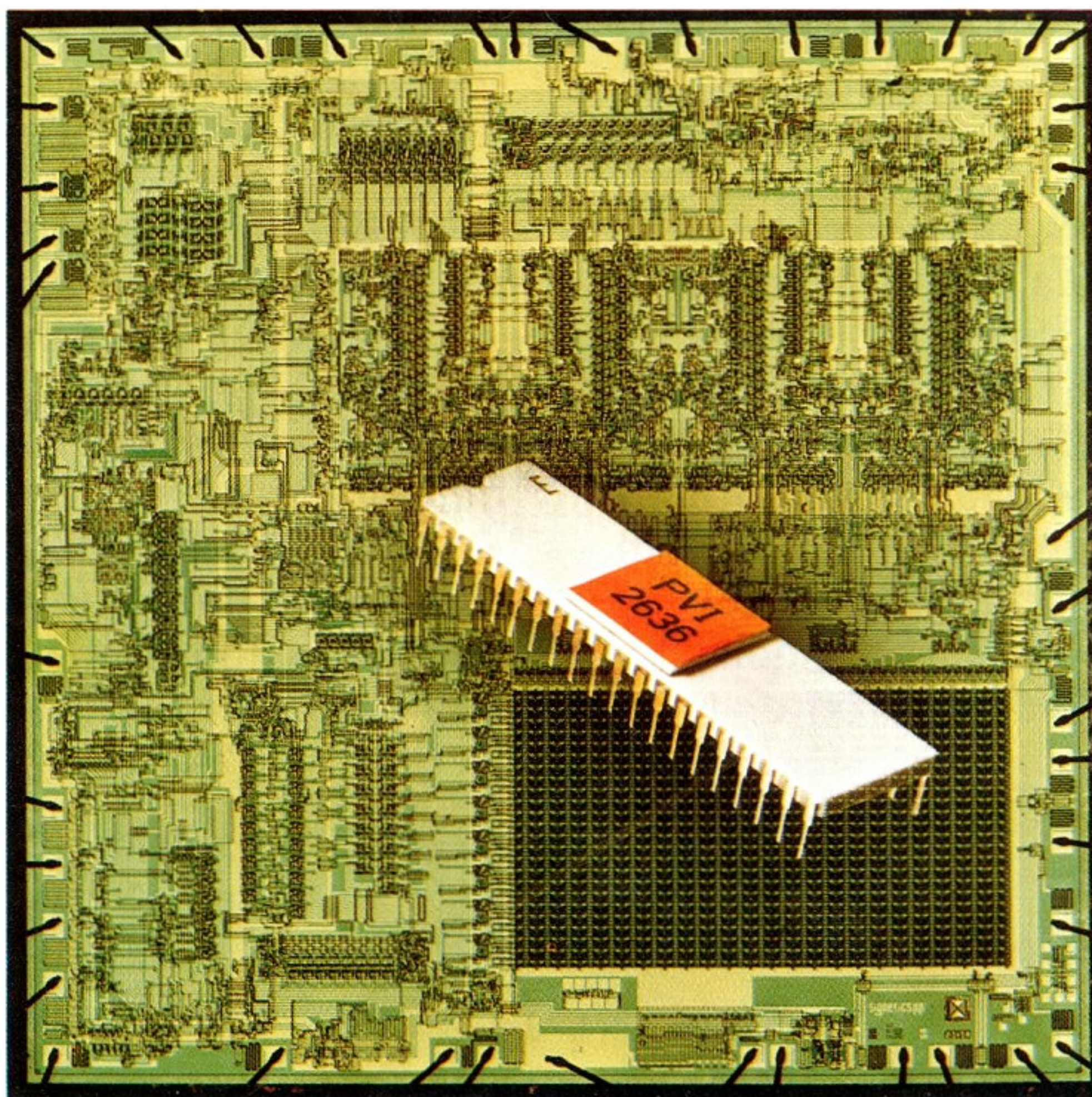
Ein **WAS IST WAS** Buch

Elektronik

Von Martin L. Keen
und Heinz Bahr

Illustriert von Anne-Lies Ihme und Gerd Werner

Wissenschaftliche Überwachung
durch Dr. Paul E. Blackwood



Ein Mikroprozessor mit seinem (stark vergrößerten) Chip, sozusagen seinem „Gehirn“ — ein Wunderwerk an Präzision und Leistungsfähigkeit.

Tessloff  Verlag

Vorwort

Am Ende des vorigen Jahrhunderts waren berühmte Naturwissenschaftler der Meinung, daß es auf dem Gebiet der Physik nichts Wesentliches mehr zu erforschen gäbe; das physikalische Weltbild schien ihnen vollendet. Dann wurden plötzlich 1895 die Röntgenstrahlen entdeckt und drei Jahre später die Radioaktivität. Die Auffassung über das Wesen von Materie und Energie mußte grundlegend geändert werden; das Atom, bis dahin für unteilbar gehalten, wurde Gegenstand lebhafter Forschung.

Die Physik war wieder eine lebendige Wissenschaft. Auch die alten Theorien über die Herkunft der geheimnisvollen Kraft Elektrizität mußten aufgegeben werden. Man erkannte, was Elektrizität ist: die Energie der negativ geladenen Atomteilchen, die nun Elektronen genannt wurden.

Man hatte damals schon begonnen, den elektrischen Strom zu nutzen – Siemens hatte 1867 die Dynamomaschine erfunden, die Strom erzeugte; etliche elektrische Lampen leuchteten schon, und 1881 fuhr in Berlin die erste elektrische Straßenbahn. Aber nun überstürzten sich die Erfindungen. Bald arbeiteten Elektronenröhren in

zahllosen Geräten. Man lernte, elektromagnetische Wellen auszusenden und den Elektronenstrahl zu bündeln und zu verwandeln. Der drahtlose Funk wurde entwickelt und das Radio. Die Elektronik verwandelte unsere Welt. Sie führte zur Automation im Wirtschaftsleben, wo riesige Maschinen nur durch wenige Menschen, die einige Schalter bedienen, enorme Arbeit leisten. Sie führte zum modernen Nachrichtenwesen, bis hin zu den Nachrichtensatelliten. Computer entstanden, die für Wissenschaftler und Wirtschaftler blitzschnell die schwierigsten Berechnungen ausführen.

Heute würde man einen Wissenschaftler für närrisch halten, wollte er behaupten, daß alle Probleme der Physik geklärt seien. Heute sind wir überzeugt, daß die Summe des neu zu erwerbenden Wissens sich in wenigstens zehn Jahren verdoppelt.

Dies WAS IST WAS-Buch über die Elektronik, über die Technik der Anwendbarkeit von Elektronen, läßt den jungen Leser das „Wunder“ des Elektrons verstehen. Darüber hinaus wird es ihn dazu anregen, sich mit den Möglichkeiten künftiger Entdeckungen und Entwicklungen zu beschäftigen.

WAS IST WAS, Band 47

■ Dieses Buch ist auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Bildquellennachweis:

Institut für wissenschaftliche Fotografie Manfred Kage, Aristo-Werke, Deutsche Bundespost, Hamburgische Electricitäts-Werke, Lufthansa, Philips, Siemens, Timex, Valvo

Copyright © 1981 Neufassung Tessloff Verlag · Nürnberg ·

Die Verbreitung dieses Buches oder von Teilen daraus durch Film, Funk oder Fernsehen, der Nachdruck und die fotomechanische Wiedergabe sind nur mit Genehmigung des Tessloff Verlages gestattet.

ISBN 3-7886-2870-7

Inhalt

Das Zeitalter der Elektronik

Wozu brauchen wir Elektronik?

Vom Elektron zur Elektronik

Was ist ein Atom?

Was ist ein Elektron?

Was sind elektrische Ladungen?

Was ist ruhende Elektrizität?

Was ist elektrischer Strom?

Was ist eine Elektronenpumpe?

Was ist ein Stromkreis?

Wie sich die Elektronik entwickelte

Warum fließt elektrischer Strom durch ein Vakuum?

Wie arbeitet eine Elektronenröhre?

Wie wurde die Elektronenröhre verbessert?

Wozu dient das Gitter?

Wozu braucht das Radio Steuergitter?

Was sind Halbleiter?

Warum werden Halbleiter dotiert?

Was ist eine Halbleiterdiode?

Wie funktioniert ein Gleichrichter?

Was ist ein Transistor?

Wie arbeitet ein Transistor?

Was ist eine integrierte Schaltung?

Woraus besteht eine elektronische Schaltung?

Wie die Elektronik funktioniert

Was sind elektrische Signale?

Was ist eine Impulsschwingung?

Was ist elektronisches Messen?

Was bedeutet analog und digital?

Wie werden Daten verarbeitet?

Was ist ein Computer?

Wo verarbeitet der Computer Informationen?

Warum braucht man Programme?

Wie rechnet ein „Rechner“?

Mit welchem Rechenverfahren arbeitet der Computer?

Wie eine Quarzuhr funktioniert

Wo man die Elektronik anwendet

Wo fand die erste Radiosendung statt?

Wie gelangen Radiowellen auf die andere Seite der Erde?

Wie wird das Fernsehbild gesendet?

Wie wird das Fernsehbild empfangen?

Wie gelangen Fernsehbilder auf die andere Seite der Erde?

Wie unterscheidet sich „Echo I“ von „Telstar I“?

Wie kann man einen Satelliten am Himmel „aufhängen“?

Was senden die Sonden aus dem Weltraum?

Wann arbeitete der erste Computer?

Wer verwendete als erster das Dualsystem?

Was ist eine Prozeßsteuerung?

Wie funktioniert das Radar?

Der Computer – Konstrukteur und Künstler

Wie funktioniert eine Fotozelle?

Wie öffnet sich eine Tür von selbst?

Wie fängt „dunkles“ Licht Einbrecher?

Wozu braucht man Röntgenstrahlen?

Welche elektronischen Helfer gibt es noch in der Medizin?

Was bleibt noch zu tun?



Mit etwa 250 km/h setzt eine „Caravelle“ nachts zur Landung an: Ohne Gleitwegsender und andere elektro-

Das Zeitalter der Elektronik

Wozu brauchen wir Elektronik?

Die Zeit, in der wir leben, wird oft als Beginn des atomaren Zeitalters bezeichnet. Sicher ist das richtig. Aber die Erforschung und die Verwendung der Atomkraft sind nicht denkbar ohne die Elektronik. Und die meisten technischen Neuerungen unseres Jahrhunderts beruhen auf elektronischen Erfindungen. Es ist daher viel richtiger, heute vom elektronischen Zeitalter zu sprechen, denn die Elektronik mit all ihren Auswirkungen bestimmt weitgehend unsere Umwelt. Ein modernes Düsenverkehrsflugzeug mit mehr als dreihundert Menschen an Bord setzt zur Landung an. Der Flughafen liegt jedoch im Nebel. Während

der Pilot die gewaltige Maschine auf der Landebahn aufsetzt, kann er nur wenige Meter weit sehen. Unsichtbare Kräfte lassen das große Flugzeug dennoch sicher landen. Denn im Kontrollturm des Flughafens verfolgen wachsame Augen das Flugzeug auf Radarschirmen, und der Pilot erhält von dort über Funk genaue Landeanweisungen. Auch der Pilot beobachtet einen Radarschirm, auf dem sich die Landebahn als zwei Reihen heller Punkte abzeichnet. Radar, Sprechfunk und Landesysteme sind bedeutende elektronische Erfindungen.

Bei einer Fußballübertragung folgt die Fernsehkamera dem weit über das Spielfeld geschossenen Ball. In Großaufnahme sehen wir den Spieler, der gerade zu einem gefährlichen Angriff



nische Hilfen wäre dieses Manöver ein tödliches Risiko.

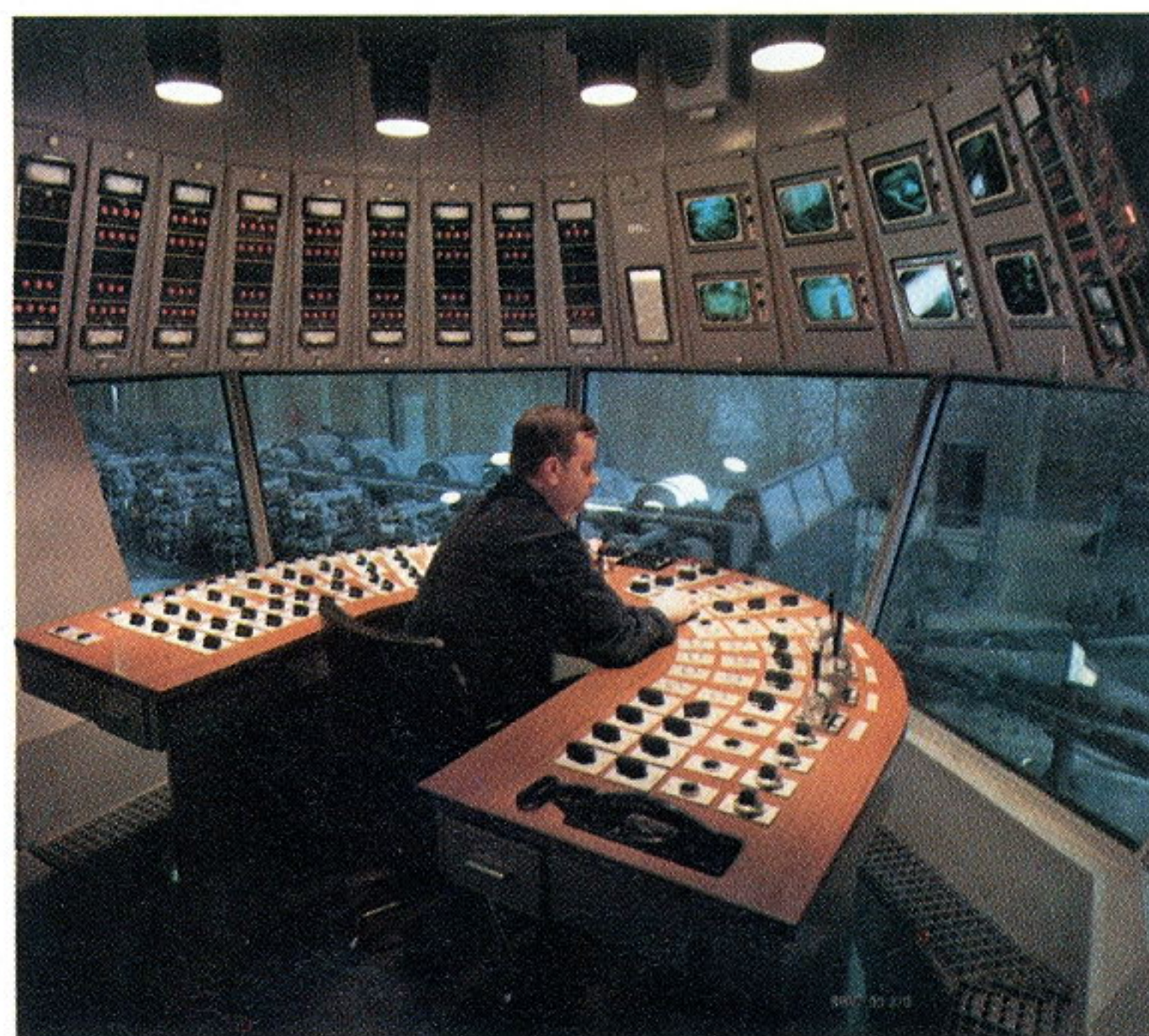
auf das gegnerische Tor stürmt. Wir hören, wie sein Fuß den Ball trifft, wie die Zuschauer mit begeisterten Rufen die Spieler anfeuern. Dabei sitzen wir zu Hause vor dem Bildschirm unseres Farbfernsehgerätes, Bild und Ton des Fußballspiels werden uns durch Elektronik ins Haus gebracht. Fernsehen und Rundfunk wären ohne Elektronik nicht möglich.

Und wenn wir einen Scheck am Bank-schalter einlösen wollen, treffen wir wieder auf die elektronischen Helfer. Sie lesen den Scheck, ermitteln in Sekundenbruchteilen den Kontostand und entscheiden, ob der Scheck gedeckt ist oder nicht. Computer sind auch das elektronische Herz in Verkehrsleitsystemen, bei den Platzbuchungsverfahren der Fluggesell-

schaften, aber auch in Steuerungs- und Regelsystemen großer Fabriken und in den Zentralen der Behörden und Verwaltungen, um nur einige weitere Beispiele zu nennen.

Daß die Elektronik auch im Hobbybereich stark vertreten ist und gerade auf junge Menschen eine große Faszination ausübt, ist leicht zu verstehen. Die Beschäftigung mit ihr ist außerordentlich vielseitig und interessant. Sie reicht vom einfachen Basteln mit Experimentierkästen bis hin zum Bau von elektronischen Orgeln oder der Beschäftigung mit Heim-Computern, denen man für die Zukunft einen großen Aufschwung prophezeit.

Es wäre sicher ein fesselndes Gedankenspiel, sich einmal vorzustellen, wie die Welt aussähe, wenn schlagartig alle elektrischen und elektronischen Einrichtungen versagen würden. Ohne Übertreibung kann man wohl annehmen, daß dann nicht nur die Wirtschaft, sondern unsere gesamte Umwelt zum Erliegen kommen würde. Die Welt von heute kann ohne Elektronik nicht bestehen, Elektronik ist allgegenwärtig – im Verkehr, im Beruf, im Haushalt, in der Medizin, im Sport, in der Kommunikation und in der Freizeit.



Von einem Schaltpult aus überwacht ein einzelner Mann den Produktionsablauf einer ganzen Fabrik. Auch das wäre ohne moderne Elektronik nicht möglich.

Vom Elektron zur Elektronik

Um zu verstehen, was *Elektronik* bedeutet, muß man zunächst einiges über die Elektrizität wissen. Beide sind eng miteinander verknüpft, wobei Elektronen die Hauptrolle spielen. Ihnen wollen wir deshalb als erstes auf die Spur kommen.

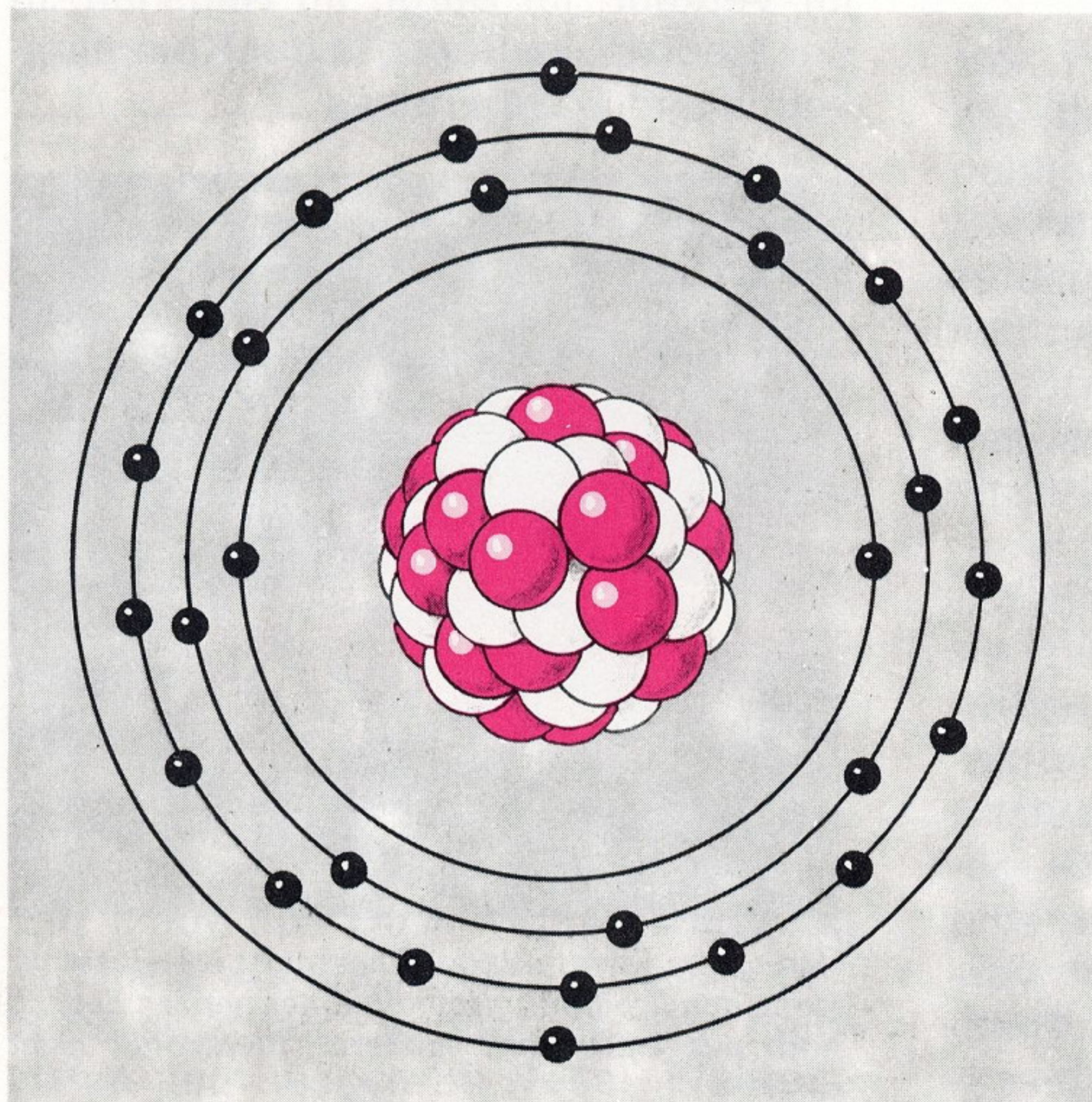
Alle Stoffe dieser Welt bestehen aus

Was ist ein Atom?

unendlich kleinen Teilchen, die man *Atome* nennt. Das Papier, auf dem diese Worte gedruckt sind, die Luft, die wir einatmen, das Wasser, das wir trinken, auch wir selbst – unsere Haut, unsere Knochen, Muskeln und unser Haar – alles besteht aus Atomen. Ein einzelnes Atom ist viel zu klein, als daß man es sehen könnte, nicht einmal mit dem stärksten Mikroskop ist das möglich. Mit keinem unserer Sinne kann ein Atom wahrgenommen werden. Doch Wissenschaftler haben trotz-

dem viel darüber erfahren. Sie beschreiben es etwa so: Ein Atom besteht aus einem inneren Teil, dem sogenannten *Kern*, den andere Teilchen, sogenannte *Elektronen*, mit rasender Geschwindigkeit umkreisen. Ihre Umlaufbahnen bilden dabei eine Art von Hülle, die bei höherer Elektronenzahl aus mehreren Schichten zu bestehen scheint. Der Atomkern dagegen setzt sich hauptsächlich aus zwei Teilchenarten zusammen, die man *Protonen* und *Neutronen* nennt.

Je größer die Anzahl der Teilchen ist, desto schwerer ist ein Atom. So gibt es Atome, die mehrere hundert Elektronen haben. Das leichteste Atom, das des Wasserstoffs, besteht allerdings nur aus einem einzigen Proton, das von ebenfalls nur einem einzigen Elektron umkreist wird. Durch die Menge ihrer Teilchen unterscheiden sich die einzelnen Atomarten voneinander. Einen Stoff, der nur aus gleichartigen Atomen besteht, nennt man *Element*.



KUPFER-ATOM

— Elektronenbahn

● Elektron (-)

● Proton (+)

○ Neutron

● Kern

Was ist ein Elektron?

Die Wissenschaftler stellten außerdem fest, daß Elektronen stets eine negative und Protonen stets eine positive elektrische Ladung besitzen.

Auf Zeichnungen ist die negative Ladung des Elektrons häufig durch ein Minuszeichen „-“ und die positive Ladung des Protons durch ein Pluszeichen „+“ kenntlich gemacht. Neutronen haben dagegen überhaupt keine elektrische Ladung und sind deshalb elektrisch neutral.

Normalerweise hat jedes Atom genau so viele Elektronen wie Protonen und damit auch die gleiche Menge an negativer und positiver Elektrizität. In diesem Fall heben sich die positiven und negativen elektrischen Ladungen gegenseitig auf. Darum ist ein Atom, das ebenso viele Elektronen wie Protonen besitzt, elektrisch neutral. Es verhält sich nach außen so, als ob es weder positiv noch negativ geladen ist.

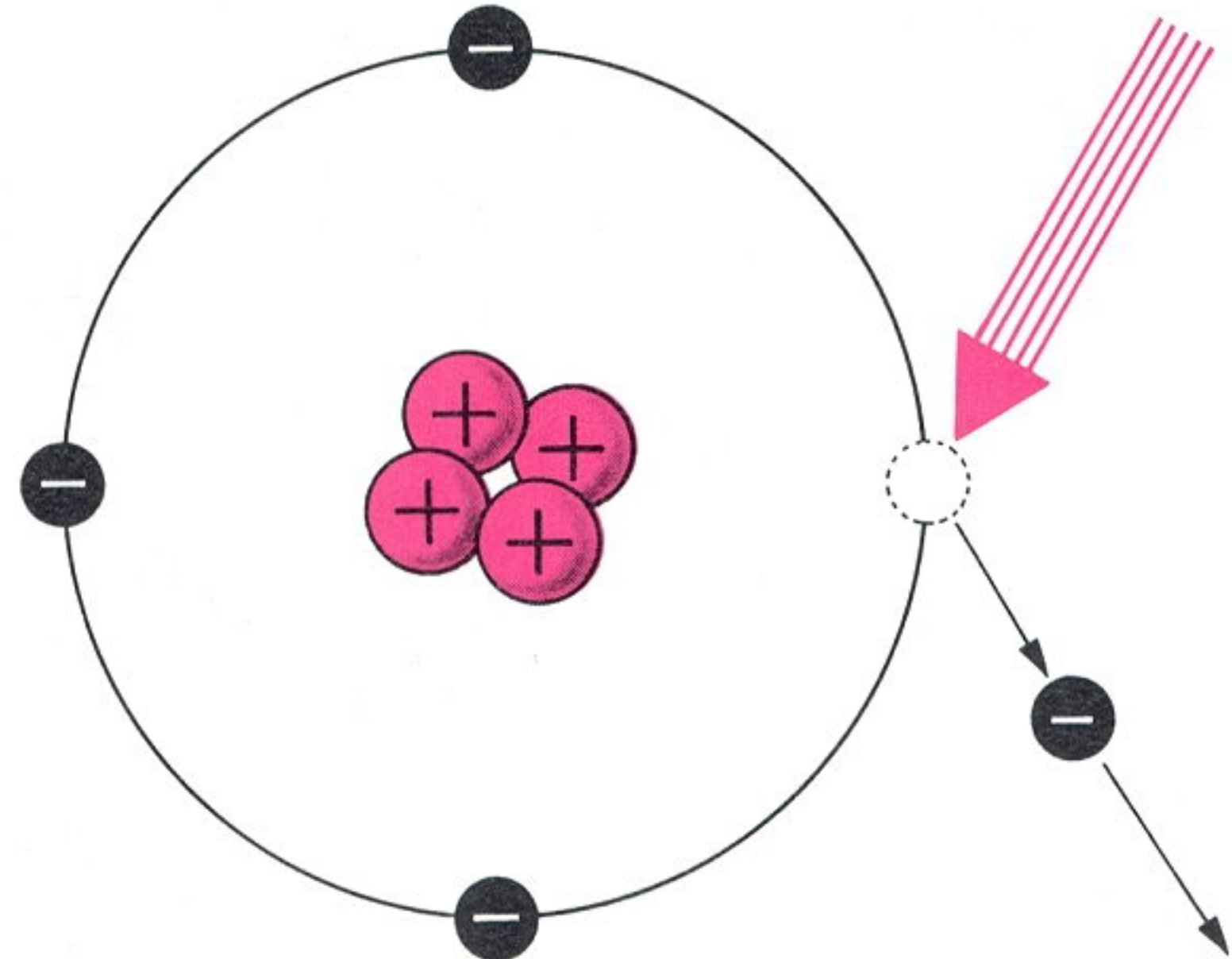
Was sind elektrische Ladungen?

Durch äußere Einflüsse, beispielsweise durch Reibung oder Wärme, können bei Atomen bestimmter Elemente sehr leicht Elektronen aus

den äußeren Umlaufbahnen herausgelöst werden. Wenn ein Atom Elektronen abgegeben hat, besitzt es mehr Protonen als Elektronen und damit mehr positive als negative Ladungen – es ist *positiv geladen*. Wenn umgekehrt ein Atom zusätzlich Elektronen aufnimmt, hat es mehr Elektronen als Protonen, also mehr negative als positive Ladungen – es ist dann *negativ geladen*.

Wenn man seine Haare kämmt oder bürstet, kann es passieren, daß sie vom Kamm oder von der Bürste angezogen werden. Zieht man seinen Pullover

schnell aus, kann es manchmal richtig knistern. Und wer gar beim Gehen auf einem Kunststoff-Teppichboden Elektronen „sammelt“, d. h. sich elektrisch aufgeladen hat, wird dies spätestens dann merken, wenn die elektrische Ladung beim Berühren eines Türgriffs mit einem oft sogar sichtbaren, aber un-



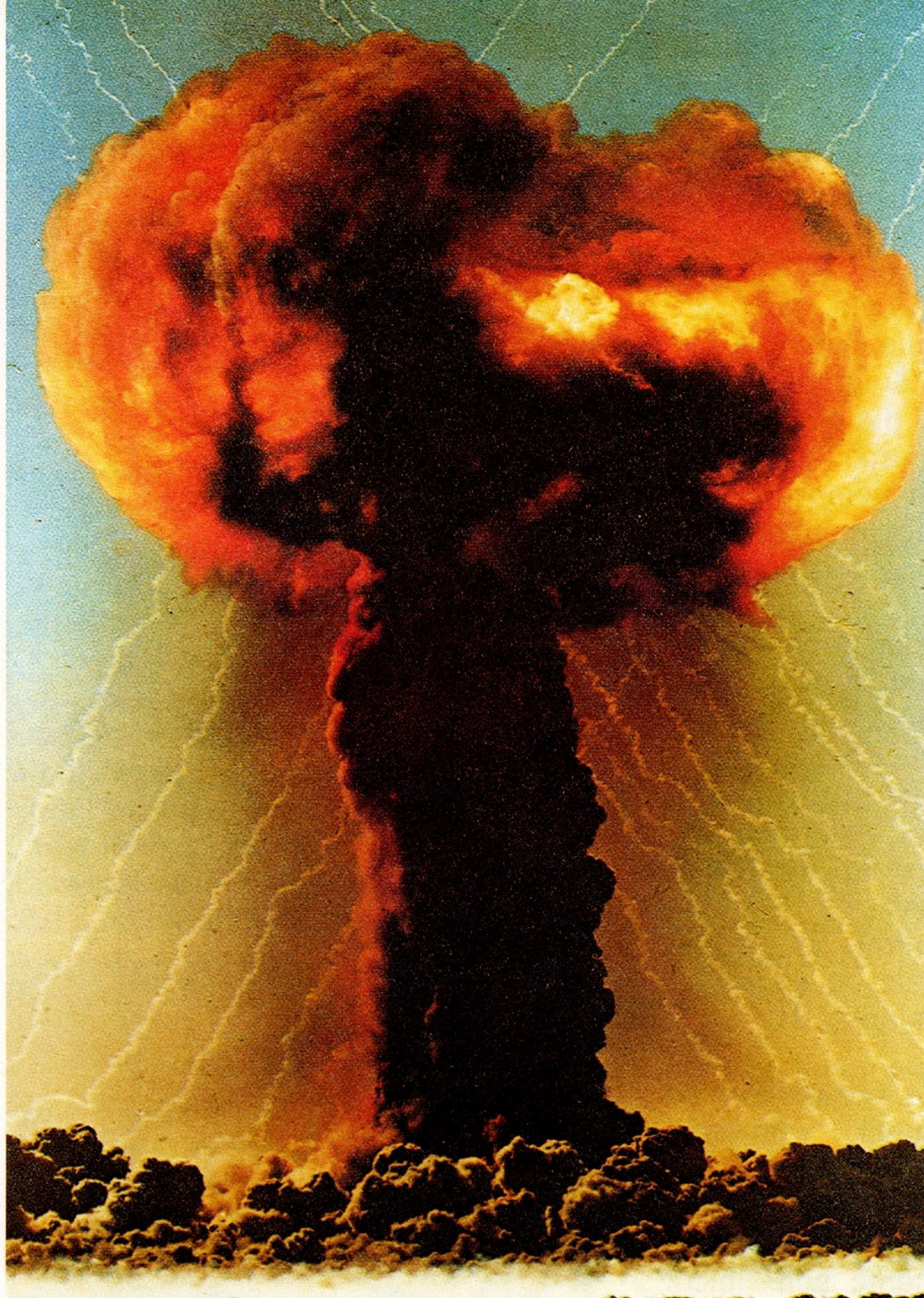
Unter dem Einfluß von Licht oder Wärme können sich Elektronen aus ihren Atomen lösen.



Beim Kämmen können Elektronen als kleine Blitze aus den Atomen der Haare auf den Kamm überspringen; der Kamm ist nun negativ geladen.

gefährlichen Funkenüberschlag abfließt. Diese Entladung kann man auch beim Aussteigen aus einem Auto spüren, wenn man sich vorher durch Reibung auf den Autositzen elektrisch aufgeladen hatte.

Das geschieht, weil jeder Körper von Natur aus elektrisch neutral ist. Wird dieser Zustand gestört, d. h., wird der



So funktioniert die Atombombe: Sie besteht im wesentlichen aus zwei voneinander getrennten Massen des Elements Uran. Uran ist radioaktiv, das heißt, seine Atome senden ununterbrochen Neutronen aus. Bringt man die beiden Massen zusammen, treffen freigesetzte Neutronen auf die Kerne anderer Uranatome und reißen sie auseinander (Spaltung). Dabei werden weitere Neutronen freigesetzt, die wiederum Kerne spalten — die Kettenreaktion beginnt. Bei diesen Kernspaltungen werden ungeheure Energiemengen frei; ein Kilogramm Uran entwickelt die Sprengwirkung von 20 Millionen kg Trinitrotoluol, dem stärksten Sprengstoff herkömmlicher Art. Die Hitze im Innern einer explodierenden Atombombe beträgt etwa 20 Millionen Grad Celsius. Unser Foto zeigt die Explosion einer Testbombe in den USA.

Körper positiv oder negativ geladen, versucht er, das Gleichgewicht zwischen positiver und negativer Ladung so bald wie möglich wieder herzustellen.

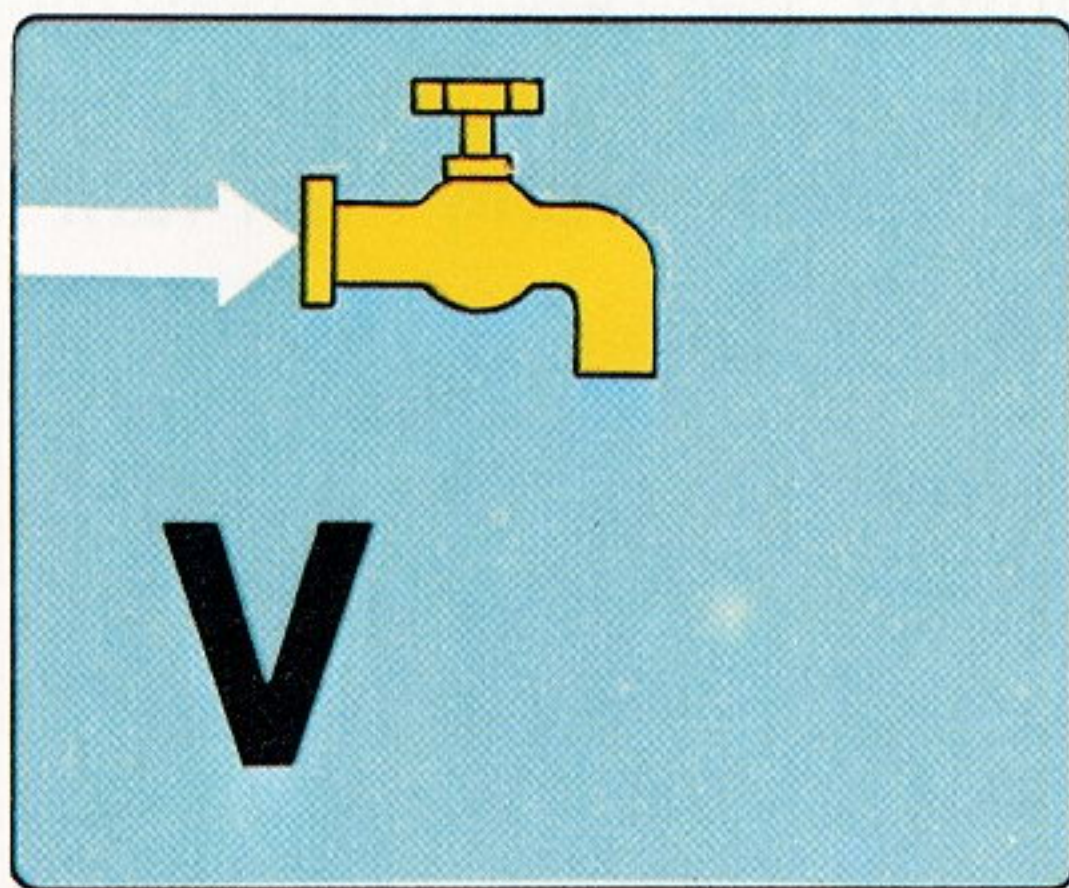
Die Art der Elektrizität, die wir bei diesen Vorgängen erzeugt haben, heißt statische Elektrizität. Sie befindet sich gewissermaßen im Ruhezustand. Die freien Elektronen sammeln sich in einem geeigneten Speicher an

Was ist ruhende Elektrizität?

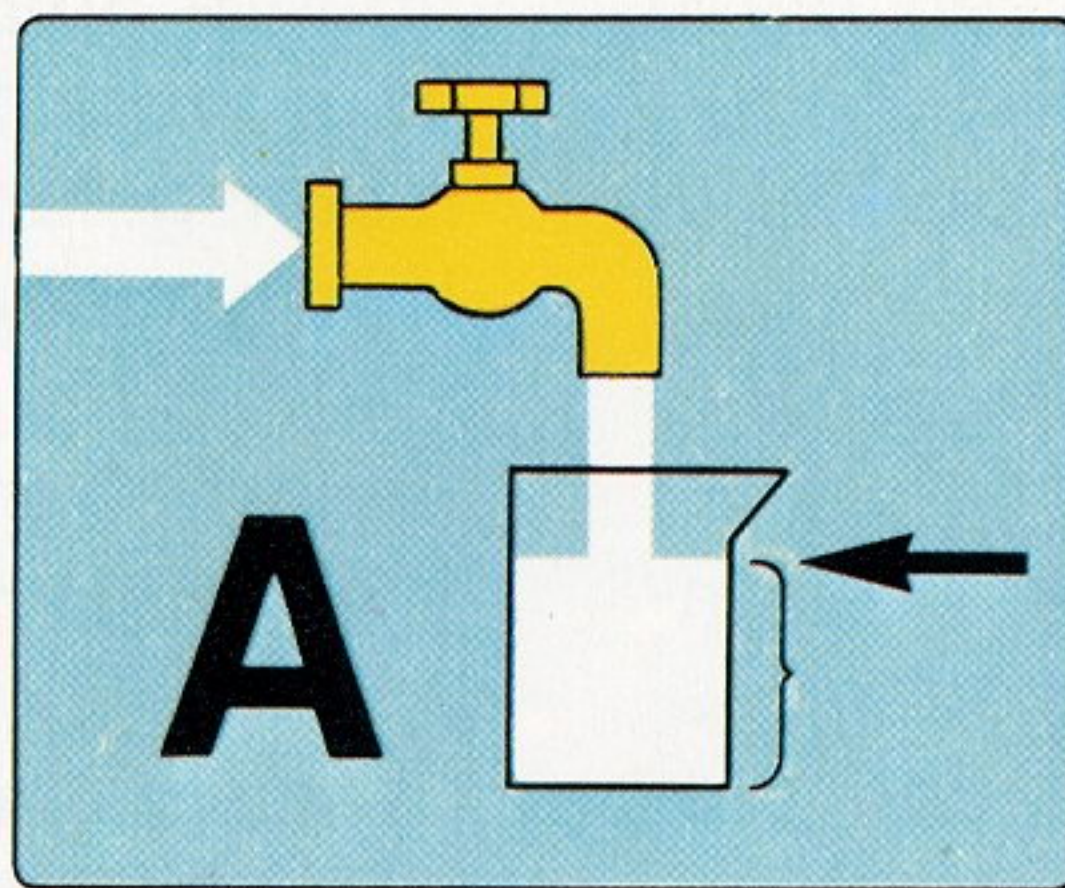
und fließen bei passender Gelegenheit spontan wieder ab.

Statische Elektrizität, also ruhende elektrische Ladung, ist aber für nahezu alle Anwendungen im täglichen Leben völlig unbrauchbar. Wir benötigen eine jederzeit verfügbare Elektrizitätsart, die sich an- und abstellen läßt und die sich gleichmäßig durch ein Leitungsnetz überall hin bewegen kann. Diese Elektrizität

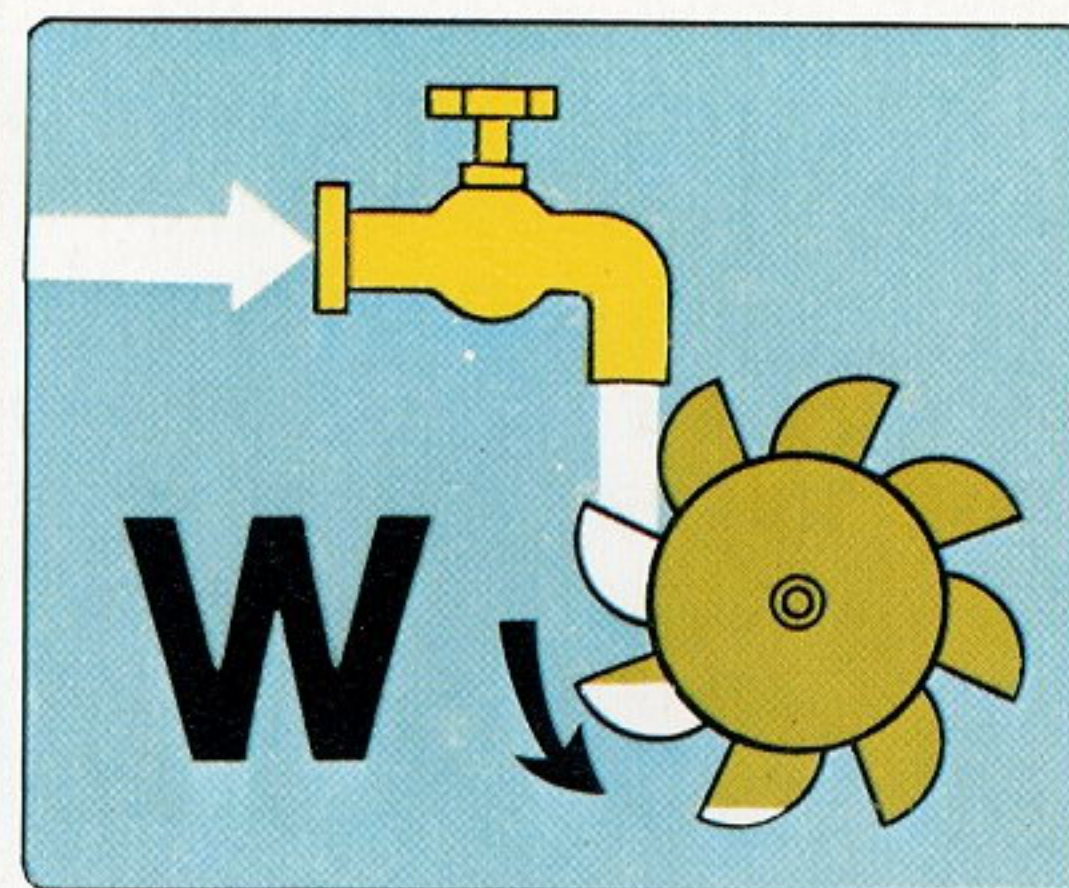
Was ist elektrischer Strom?



Ein Volt (V) ist die Einheit der elektrischen Spannung. Die Spannung entspricht bei einer Wasserleitung dem Druck, der das Wasser durch die Leitung fließen läßt.



Ein Ampere (A) ist die Einheit der Stromstärke. Die Stromstärke entspricht bei der Wasserleitung der Wassermenge, die pro Sekunde durch den Hahn fließt.



Ein Watt (W) ist die Einheit der Leistung des elektrischen Stroms. Die Leistung gleicht beim Wasser dem Antrieb eines Wasserrades durch das fallende Wasser.

steht uns in zwei Arten zur Verfügung: als elektrischer Strom aus der Steckdose und aus Batterien.

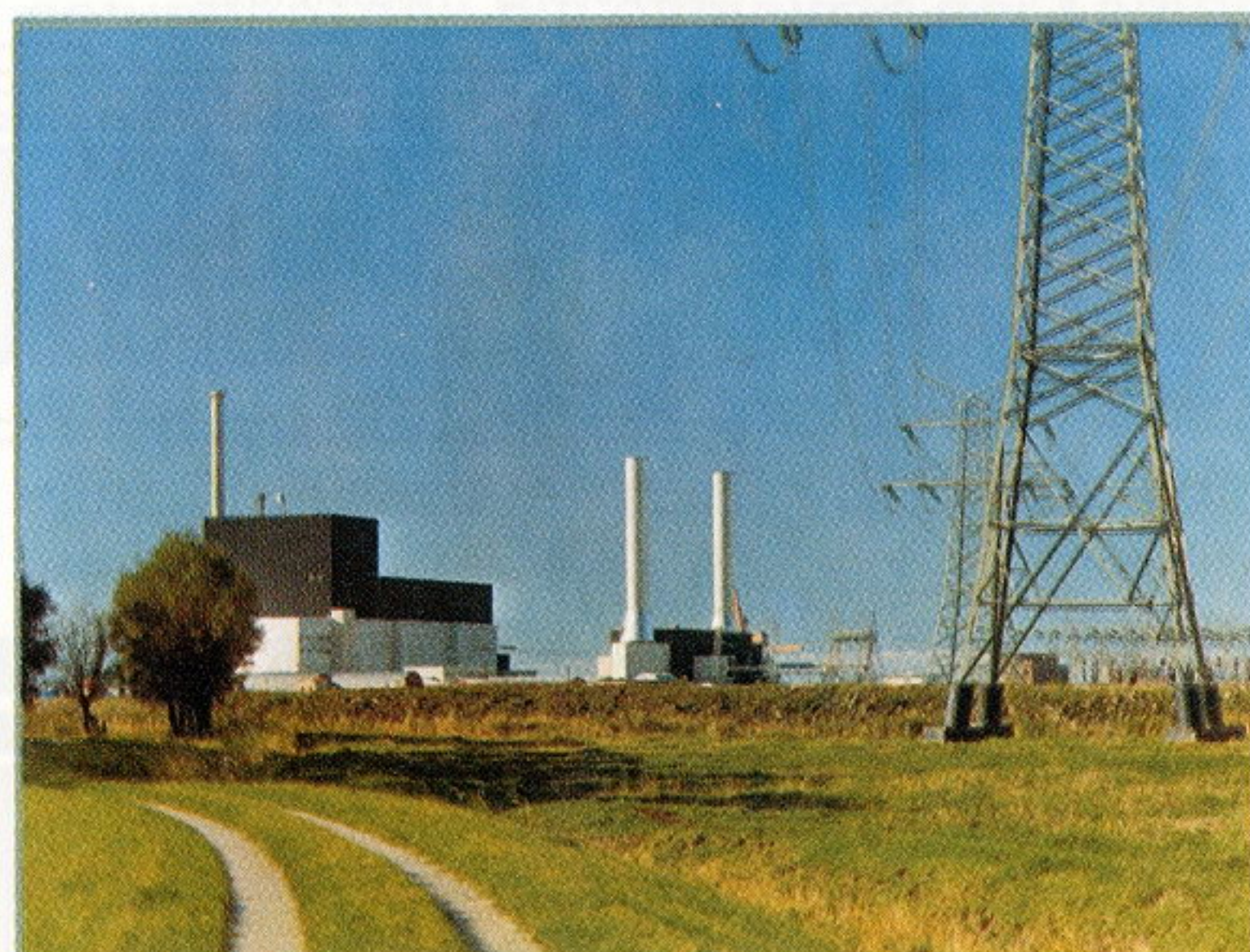
Elektrischer Strom kann nur durch bestimmte Stoffe hindurchfließen, die man elektrische *Leiter* nennt. Als elektrische Leiter kann man alle Metalle verwenden; am besten eignen sich jedoch Kupfer, Silber und Aluminium. Aus diesem Grunde bestehen die Drähte bei elektrischen Einrichtungen gewöhnlich aus einem dieser Metalle. Das hängt mit der schon erwähnten Atom-Eigenschaft dieser Metalle zusammen, Elektronen aus den äußeren Umlaufbahnen „freizusetzen“ und dadurch den fließenden elektrischen Strom auszulösen. Es gibt aber auch Stoffe, durch die elektrischer Strom nicht hindurchfließen kann; diese nennt man *Isolatoren*. Zu ihnen gehören beispielsweise Plastik, Gummi, Seide, Glas und auch Luft. Stromführende Leitungen werden mit einer isolierenden Schutzschicht umgeben.

Damit Wasser aus dem Wasserhahn fließt, muß ständig Wasser in die Rohrleitung hineingedrückt werden. Das wird im Wasserwerk mit großen Pumpen gemacht. Auf ähnliche

Was ist eine Elektronenpumpe?

Weise werden auch Elektronen mit einer Pumpe durch eine elektrische Leitung getrieben. Elektronenpumpen arbeiten entweder als elektrischer *Generator*, auch *Dynamo* genannt, oder als elektrische *Zelle* (galvanisches Element). Elektrische Zellen bezeichnet man gewöhnlich als elektrische Batterien, aber das ist nicht ganz korrekt: Eine Batterie ist meistens eine Anordnung mehrerer Zellen, die gemeinsam genutzt werden. Weil sowohl der Generator als auch die Batterie ständig Elektronen durch eine angeschlossene Leitung treiben, sagt man: Sie erzeugen elektrischen Strom.

Wenn wir z. B. Batterien für die Ta-



Kraftwerke — hier das Kernkraftwerk bei Brunsbüttel/Elbe — sind riesige Elektronenpumpen, die den Strom in einen Kreislauf zum Verbraucher und von dort zum Kraftwerk zurückfließen lassen.

schenlampe kaufen, so müssen diese einen bestimmten elektrischen Wert haben. Gleiches gilt auch für die Batterien von Kofferradios, elektrischen Uhren oder Kassettenrekordern. Man nennt diese Art von Batterien auch Trockenbatterien. Unsere Elektronenpumpe muß also je nach Anwendungszweck verschieden groß sein, und deshalb gibt es Batterien mit unterschiedlicher *Spannung* in verschiedenen Ausführungen. Die Spannung wird in *Volt (V)* gemessen.

Wenn die Batterien neu sind, leuchtet eine Taschenlampe besonders hell. Sinkt die Batteriespannung jedoch nach längerem Gebrauch ab, geht auch die Lampenhelligkeit zurück. Die Spannung der Batterien wirkt also als Energiequelle und übt auf die Elektronen einen *elektrischen Druck* aus. Je höher die elektrische Spannung ist, desto stärker ist der ausgeübte Druck und damit auch der durch eine Leitung fließende elektrische Strom. Die Stärke wird in *Ampere (A)* gemessen.

Trockenbatterien liefern verhältnismäßig kleine Spannungen, sie sind für den Menschen ungefährlich. Aus dem elektrischen Leitungsnetz der Elektrizitätswerke kommt jedoch eine wesentlich

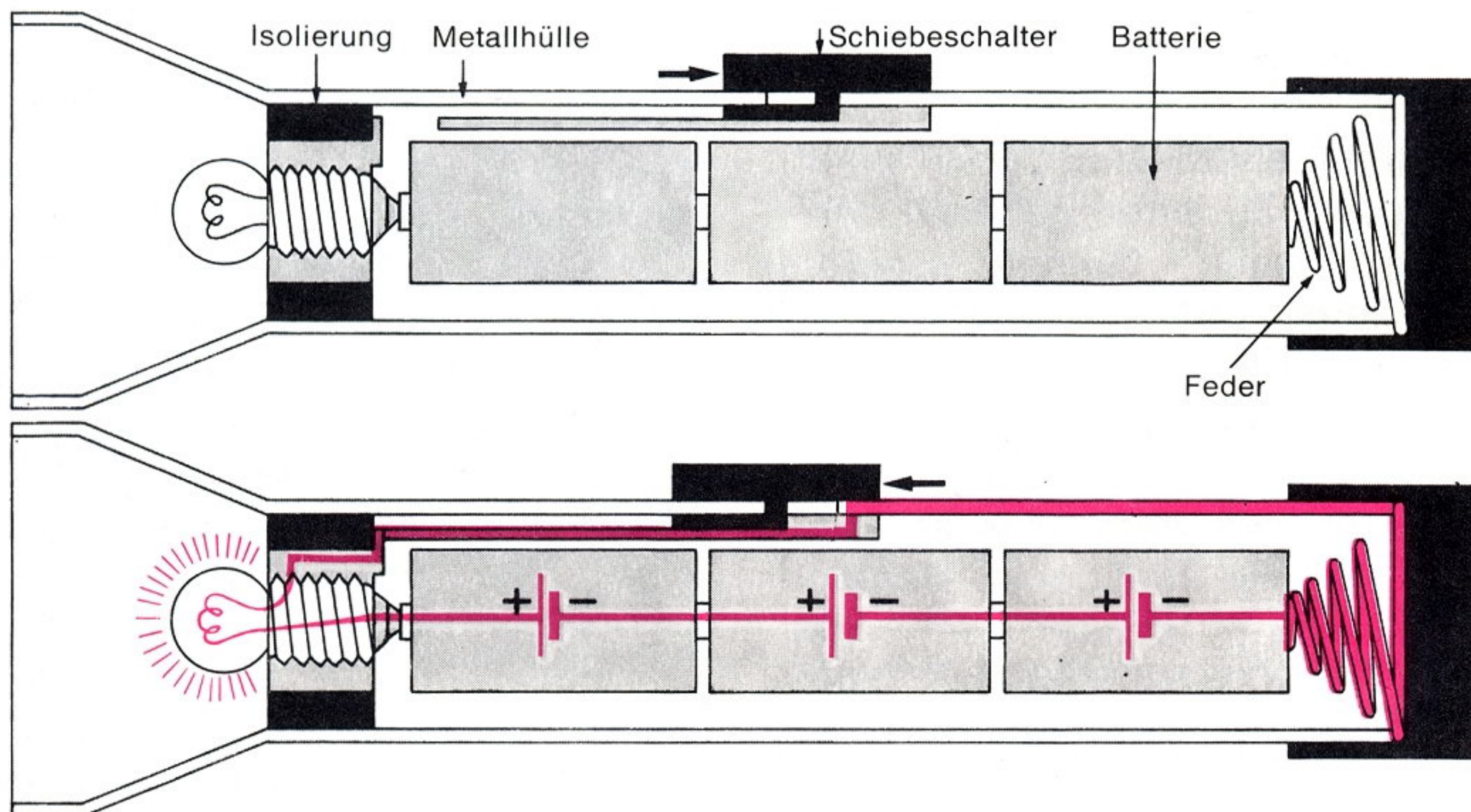
höhere Spannung, bei der man besonders vorsichtig sein muß. Sie kann lebensgefährlich sein, wenn man fahrlässig mit ihr umgeht.

Elektrischer Strom kann nicht aus dem

Was ist ein Stromkreis?

Ende einer Leitung herausfließen wie Wasser aus einem Schlauch. Die Luft ist ein guter Isolator; sie

stoppt den Strom am Ende des Drahts. Der fließende elektrische Strom muß stets eine Rundreise machen können: angetrieben von der Spannung der Elektronenpumpe durch Drähte und andere Leiter wieder zurück zur Elektronenpumpe. Dieser Weg durch eine angeschlossene Leitung wird *Stromkreis* genannt. Der elektrische Strom kann nicht fließen, wenn der Stromkreis nicht geschlossen ist. Unter Stromkreis versteht man übrigens nicht nur Drähte und Leitungen aus Metall, sondern bezieht in diesen Begriff auch elektrische Geräte, Lampen, Motoren usw. mit ein, wenn sie mit den Anschlußleitungen und der Spannungsquelle einen in sich geschlossenen Stromkreis bilden.



Wenn man eine Taschenlampe einschaltet, wird der Kreislauf Batterie — Glühlampe — Batterie geschlossen; sofort beginnt die Elektronenpumpe zu arbeiten, die Glühlampe bekommt Strom und leuchtet auf.



Wie sich die Elektronik entwickelte

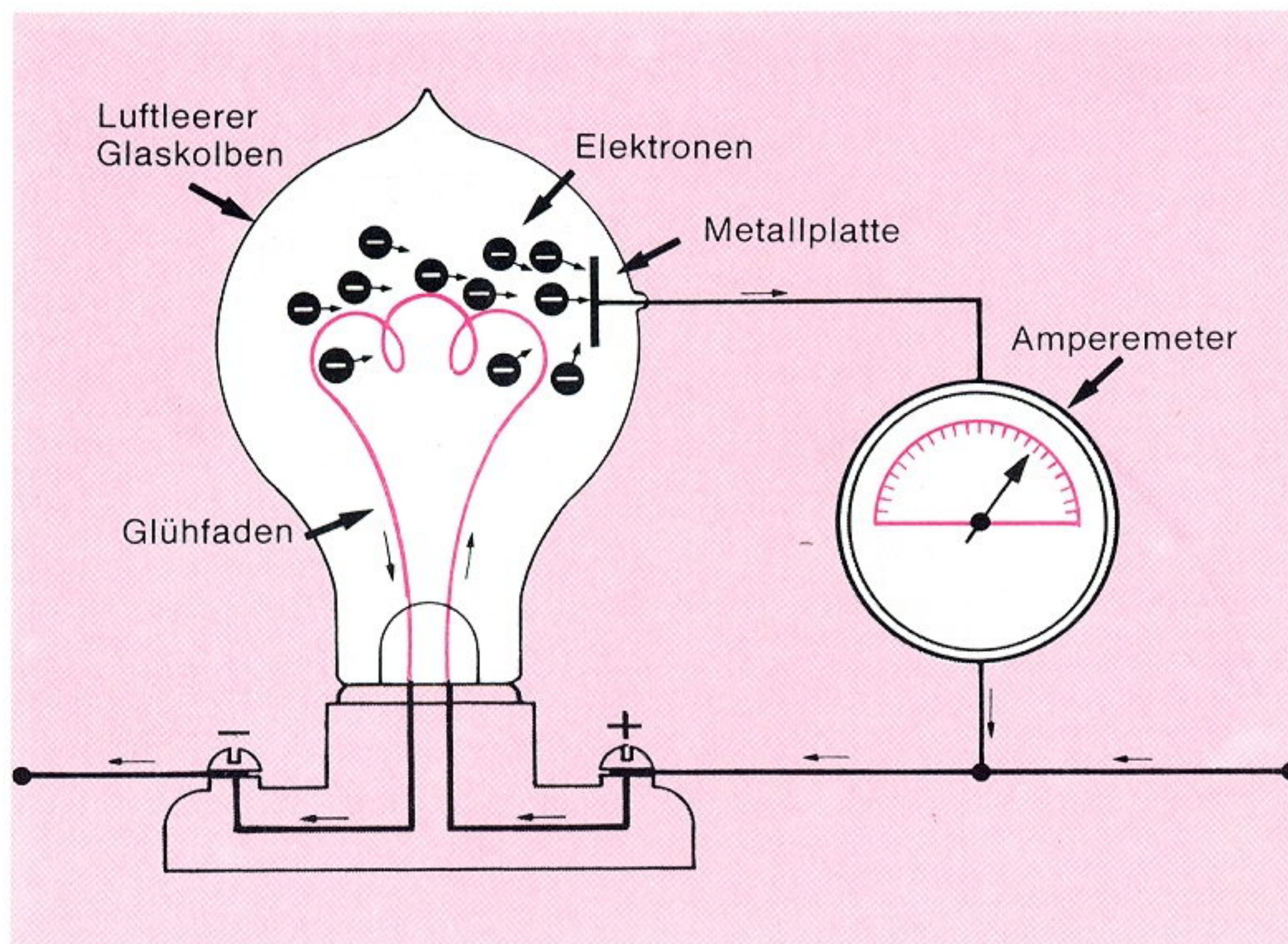
Wir haben nun schon manches über die Elektronen erfahren und wissen auch, wie mit ihrer Hilfe der elektrische Strom zustande kommt und daß dieser durch ein elektrisches Leitungsnetz fließt. Elektronen können aber noch viel mehr und sind sogar in der Lage, unter bestimmten Umständen den Draht zu verlassen und in den umgebenden Raum hinauszufiegen. Mit dieser Erkenntnis begann vor etwa 100 Jahren das Zeitalter der *Elektronik*. Zwar benutzte man dieses Wort in der Anfangszeit noch nicht im heutigen Sinn, aber die damaligen Versuche, den Elektronenstrom zu beeinflussen und zu steuern, waren echte elektronische Vorgänge.

Um zu verhindern, daß die Innenseite der von ihm erfundenen Glühbirne schwärzt, brachte Edison in ihr eine kleine Metallplatte an. Damit hatte er — man schrieb das Jahr 1883 — die Vakuumröhre und die Anode erfunden.

Als Thomas Alva Edison 1879 der stau-

Warum fließt elektrischer Strom durch ein Vakuum?

nenden Welt die von ihm erfundenen Glühlampen vorführte, war ein entscheidender Schritt in der Elektrizitätsanwendung getan. Im Laufe seiner Versuche hatte Edison herausgefunden, daß die damals in der Lampe verwendeten Kohlefäden weißglühend leuchten, aber nicht verbrennen, wenn man die Luft vorher aus dem Glas kolben herauspumpt. Allerdings wurde dabei die Lampeninnenseite durch winzige Teilchen geschwärzt, die vom weißglühenden Kohlefaden stammten. Eines Tages — es war im Jahre 1883 — brachte Edison eine kleine Metallplatte im Innern der Glühlampe an. Er verband die Platte außen durch einen Draht mit dem Stromkreis, der den Glühfaden heizte. Edison hoffte, daß sich die Kohleteilchen auf der Platte anstatt auf der Glaswand sammeln würden. Aus wissenschaftlicher Neu-



Schematische Darstellung der Edisonschen Vakuumröhre: Obwohl die kleine Metallplatte nicht an den Stromkreislauf im Inneren der Röhre angeschlossen ist, schlägt das Amperemeter aus. Die negativ geladenen Elektronen verlassen den Glühfaden und fließen durch den luftleeren Raum zu der Metallplatte. Die Elektronen werden von ihr angezogen, weil sie an den Pluspol der Batterie angeschlossen und damit positiv aufgeladen ist.

gier schloß er an den Draht außerdem ein Meßgerät an, und zwar ein Amperemeter zum Messen des elektrischen Stroms. Zu Edisons Verwunderung zeigte das Amperemeter einen schwachen elektrischen Strom an. Das war für ihn rätselhaft, denn er hatte ja nur *eine* Seite der Metallplatte an die Stromquelle angeschlossen. Es gab also keinen geschlossenen Stromkreis. Beim weiteren Experimentieren merkte Edison, daß nur dann Strom durch das Amperemeter floß, wenn die Platte mit dem *positiven* Pol der Batterie verbunden war; lag die Platte am negativen Pol der Batterie, floß kein Strom. Die von ihm eingebaute Metallplatte bezeichnete man später als *Anode*.

Edison ließ sich seine Glühlampe mit der Metallplatte im Innern patentieren, obwohl er keine sofortige Nutzanwendung seiner Erfindung sah. Immerhin war er überzeugt, daß sie sich in späterer Zeit doch als sehr nützlich erweisen würde. Und damit hatte er recht. Seine Glühlampe war die erste *Vakuumröhre* (Vakuum = luftleerer Raum). Vakuumröhren werden auch Radoröhren oder allgemein *Elektronenröhren* genannt. Noch heute sind viele Millionen Elektronenröhren täglich in Betrieb – als Bildröhren in Fernsehgeräten.

Wenn man einen kräftigen elektrischen

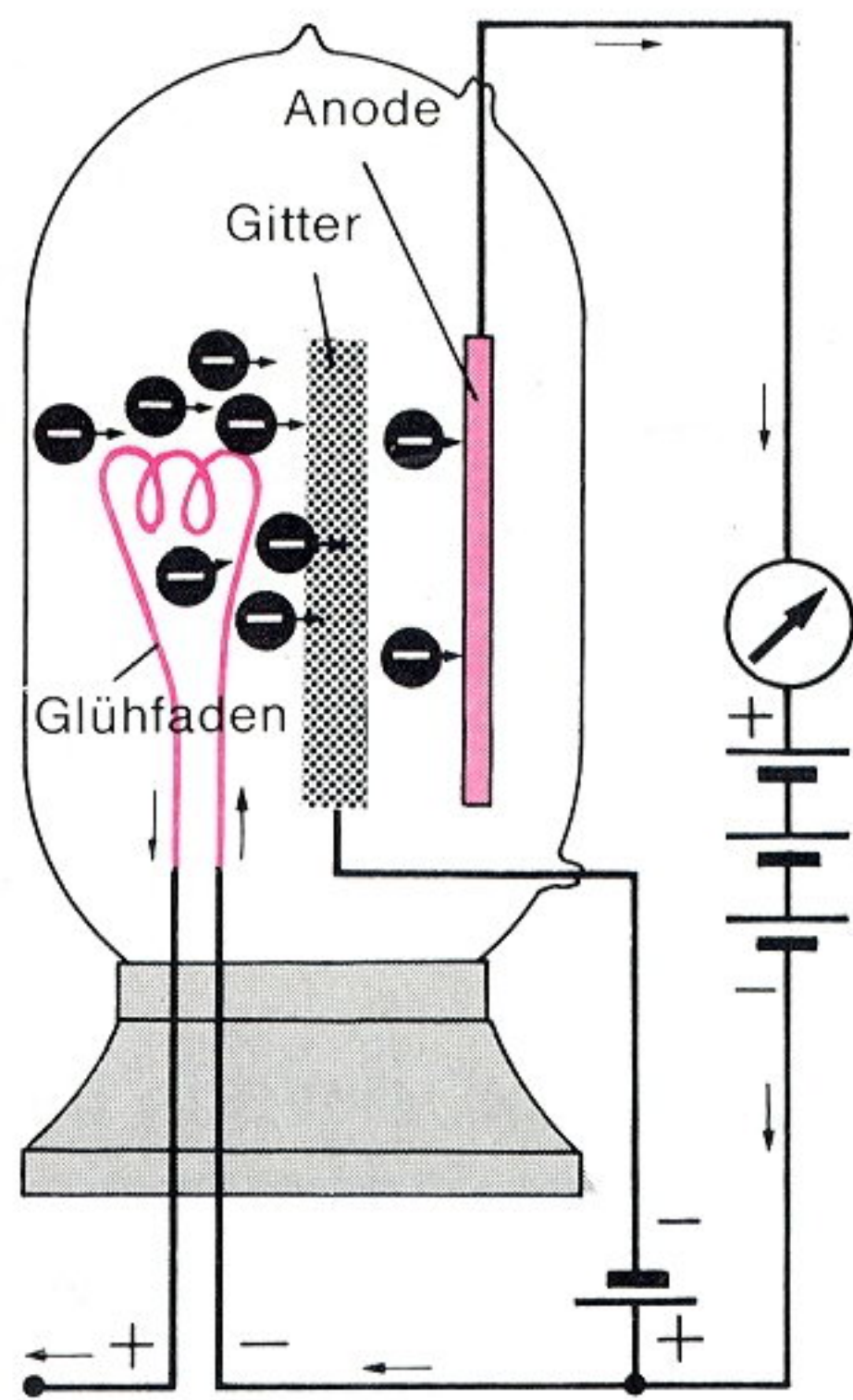
Wie arbeitet eine Elektronenröhre?

Strom durch einen sehr dünnen Draht „pumpt“, geben die Elektronen beim Hindurchdrängen ihre Energie

in Form von Hitze ab. Der Draht wird rot- oder weißglühend. Ausgelöst durch die Hitze verlassen außerdem viele Elektronen den Draht und sammeln sich in einer winzigen Wolke unmittelbar um den Glühdraht herum.

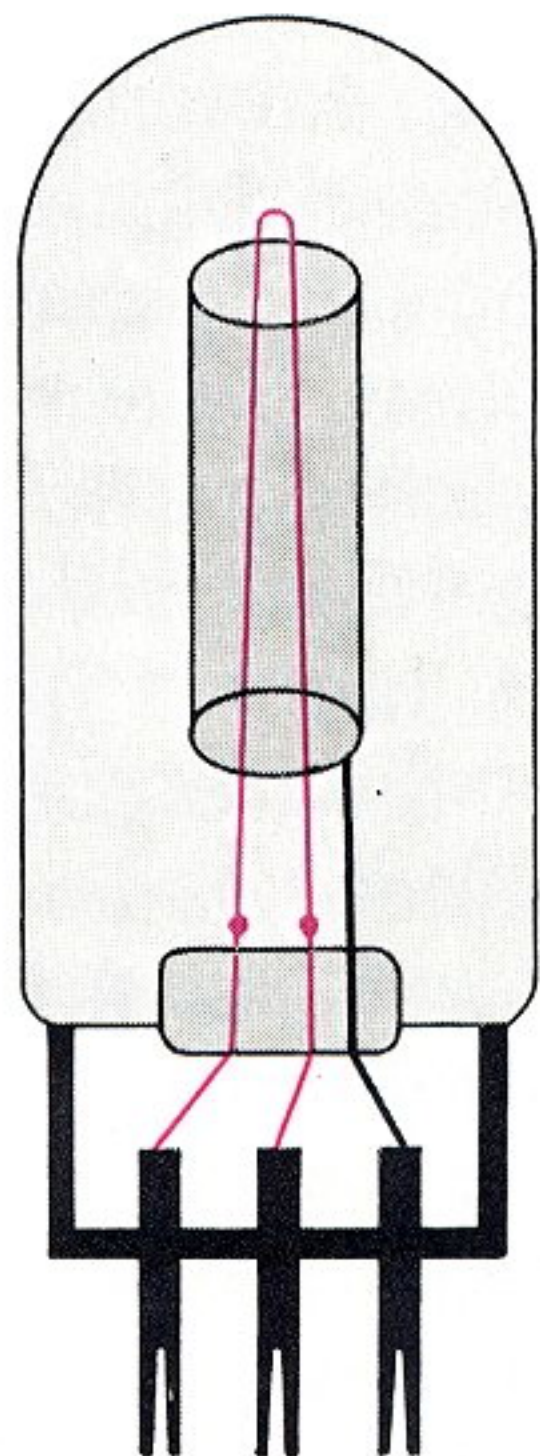
Durch den Verlust an Elektronen bekommt der Draht eine positive Ladung. Die freigewordenen Elektronen, die ja negativ geladen sind, werden durch die Anziehungskraft der positiven Ladung größtenteils sogleich wieder zum Draht zurückgezogen.

Wenn sich jedoch nahe am Draht eine wesentlich stärkere positive Ladung befindet, wird diese die Elektronen völlig vom Draht wegziehen. Genau das geschah, als Edison seine Metallplatte mit dem positiven Pol der Batterie verband. Die positiv geladene Platte zog die Elektronen vom Glühfaden weg, sie strömten dabei durch das Vakuum zwischen Glühfaden und Platte und flossen durch die Platte, den angeschlossenen Draht und das Amperemeter zurück in die Stromquelle.

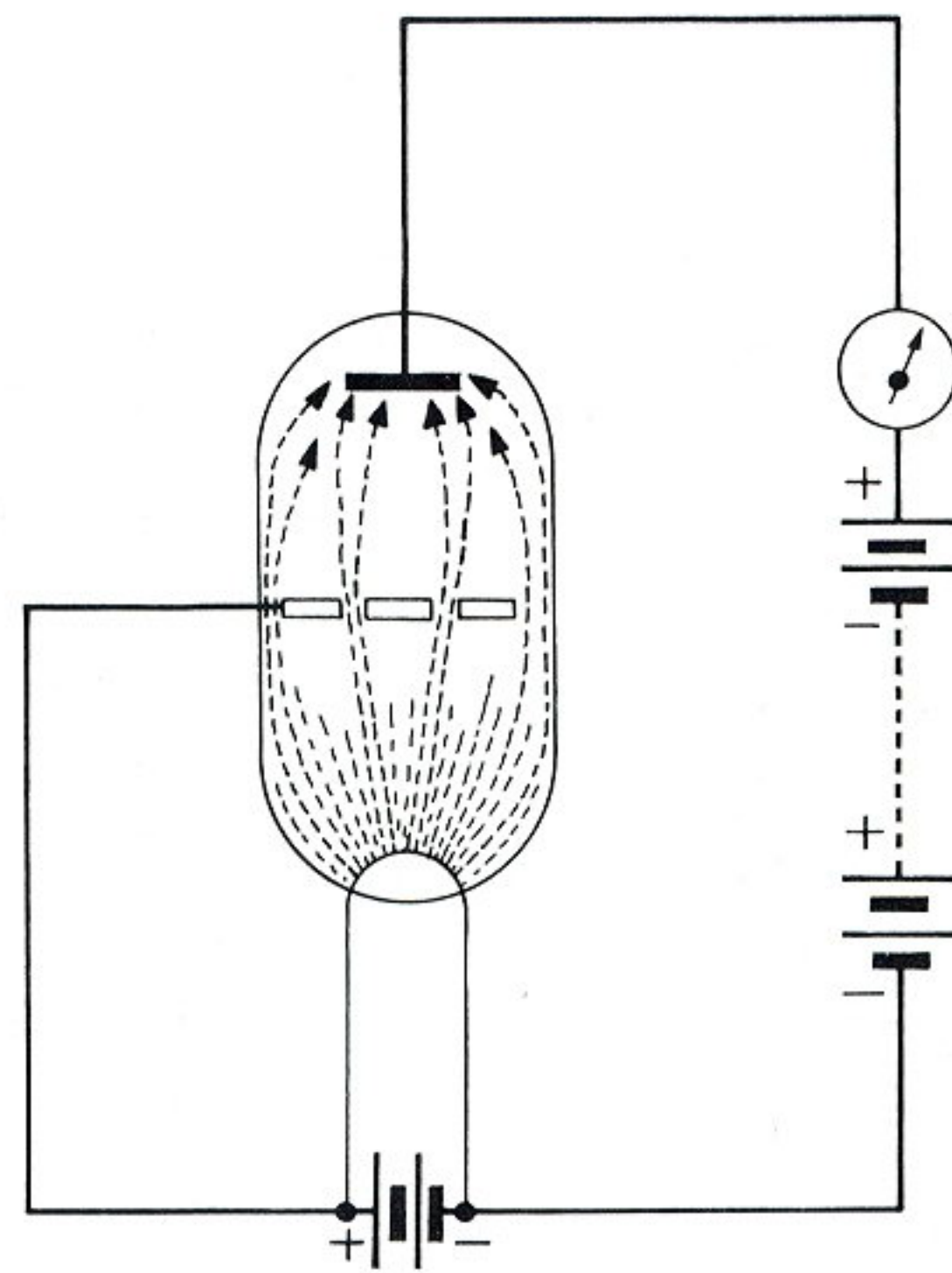


Der amerikanische Ingenieur Lee de Forest erfand 1906 die Elektronenröhre mit Anode, Katode und Gitter. Mit dieser Triode (aus dem Griech.: tri = drei) schuf er die Grundlage für die Rundfunktechnik.

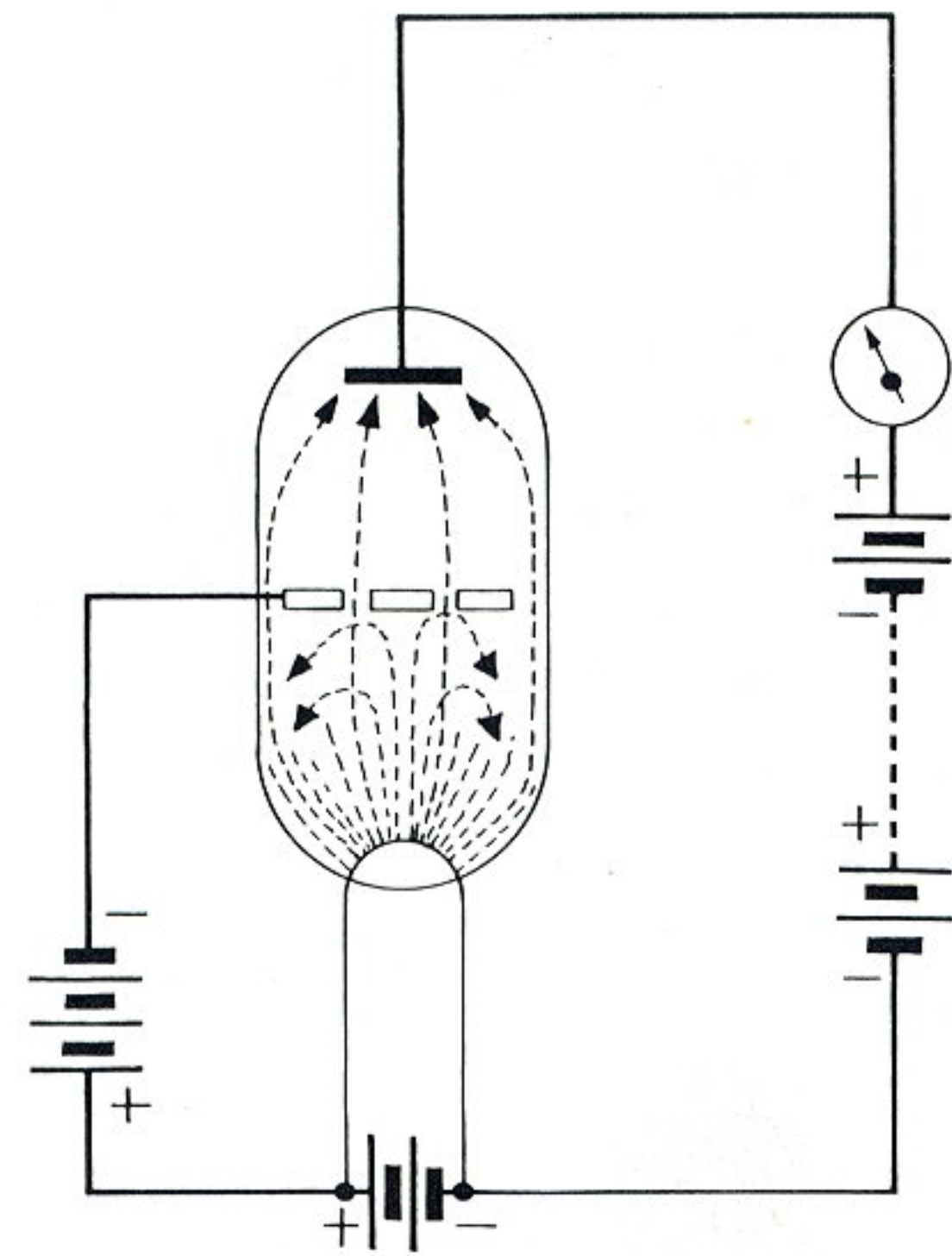
Das Herausströmen der Elektronen aus einem Glühfaden innerhalb einer Elektronenröhre wird als *Elektronen-Emission* bezeichnet (Emission heißt Herausenden, Herausschleudern). In modernen Elektronenröhren ist der Glühfaden von einem Röhrchen aus besonderem Material umgeben, das im aufgeheiztem Zustand in hohem Maße Elektronen emittiert und *Katode* genannt wird. Der Teil, zu dem die Elektronen hinfließen, ist die schon erwähnte *Anode*, eine Elektronenröhre mit Anode und Katode nennt man *Diode*.



Eine Diode enthält einen Heizfaden und eine um den Faden herumgebogene Metallplatte.



Ist das Gitter in einer Triode ohne Strom, fließen freie Elektronen zur Anode.



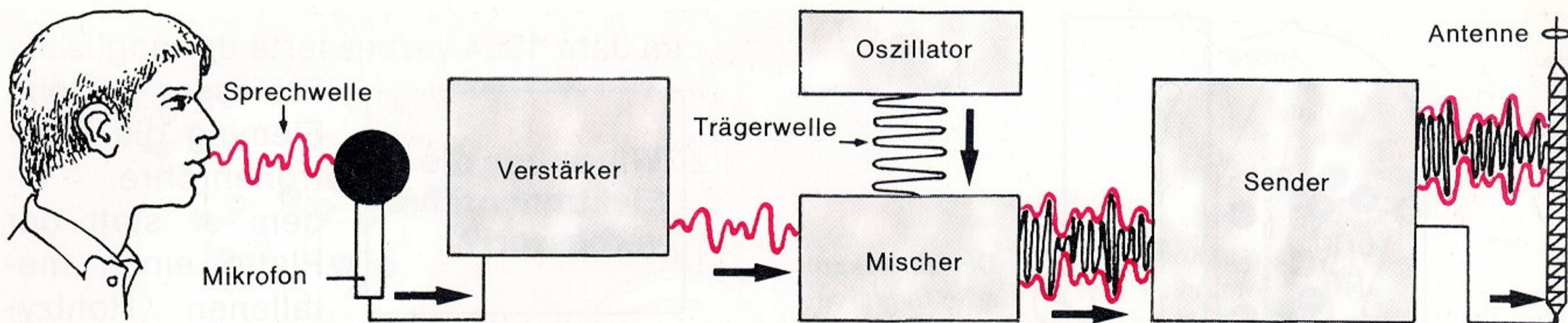
Wird das Gitter negativ geladen, bremst es einige Elektronen oder wirft sie zum Glühfaden zurück.

Im Jahr 1904 verbesserte der englische Professor John Fleming die Elektronenröhre, indem er statt der Platte einen metallenen Hohlzylinder nahm, der den Glühfaden umschloß. Mit einer Anode von dieser Gestalt konnten die Elektronen weitaus besser eingefangen und dadurch der Elektronenstrom erheblich stärker gemacht werden. Der amerikanische Ingenieur Lee de Forest schließlich stellte zwei Jahre später eine Elektronenröhre her, in der sich zwischen Katode und Anode ein dünner Draht in Zickzackform, das sogenannte *Gitter*, befand. Elektroniker nennen diesen Röhrentyp eine *Triode*, was sich auf die drei Teile der Röhre (Katode, Anode und Gitter) bezieht.

Das Gitter in der Elektronenröhre ermöglicht auf einfache Weise, die Stärke des Elektronenstroms zu bestimmen. Ist es negativ geladen, stößt es die von der Katode kom-

Wie wurde die Elektronenröhre verbessert?

Wozu dient das Gitter?



So funktioniert das Radio: Die Darbietung, hier die Stimme eines Sprechers, wird im Mikrofon in elektromagnetische Schwingungen umgesetzt. Diese werden verstärkt, einer Trägerwelle aufgeprägt (moduliert) und der Sendeantenne zugeführt, die sie ausstrahlt. Die Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.

menden Elektronen mehr oder weniger ab und hindert sie daran, auf die Anode zu fliegen. Ist es neutral, hat es also keine Ladung, so läßt es die Elektronen ungehindert zur Anode durch. Die Ladung des Gitters kann beliebig eingestellt werden: von stark negativ bis zu völlig neutral. Damit kann der Elektronenstrom auf jede gewünschte Stärke gebracht werden.

Wir können uns besser vorstellen, wie ein Gitter arbeitet, wenn wir es mit einer Jalousie vergleichen. Wenn die Blätter der Jalousie weit geöffnet sind, kann viel Licht hindurchdringen. So ist es beim Gitter, wenn es keine negative Ladung hat, also neutral ist: Fast alle emittierten Elektronen gelangen durch das Gitter hindurch zur Anode. Werden die Blätter der Jalousie nach und nach geschlossen, kommt immer weniger Licht hindurch. Genauso gelangen immer weniger Elektronen durch das Gitter, wenn die Ladung auf dem Gitter von neutral nach negativ verändert wird: Immer mehr Elektronen werden von der anwachsenden negativen Ladung zurückgedrängt, bis zuletzt gar keine Elektronen mehr hindurchfließen.

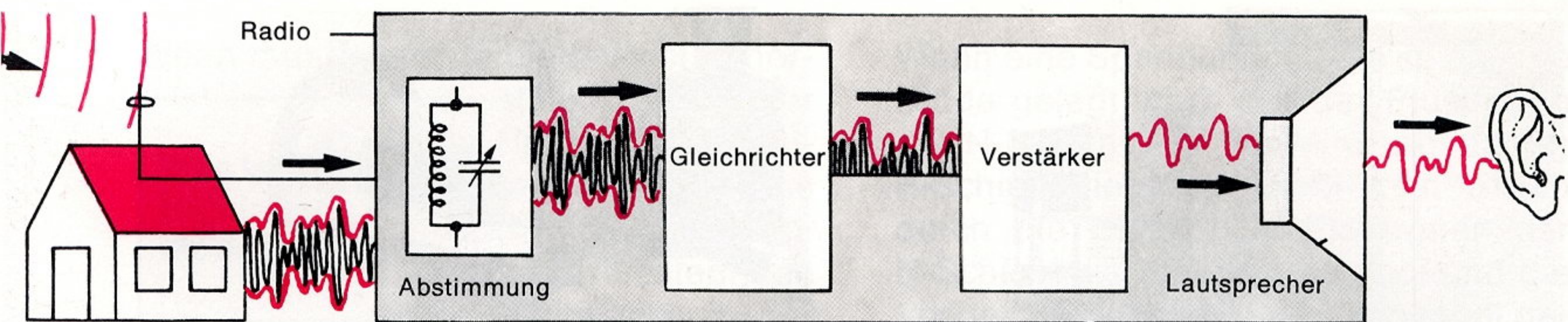
Durch das „Steuer“-Gitter wurde die Elektronenröhre zu dem hochwirksamen Bauelement, ohne das das Radio und Fernsehen sowie andere elektronische Geräte nicht

Wozu braucht das Radio Steuergitter?

Elektronenröhre zu dem hochwirksamen Bauelement, ohne das das Radio und Fernsehen sowie andere elektronische Geräte nicht

möglich gewesen wären. Der eben beschriebene Vorgang des Steuerns von Elektronen eröffnete den Technikern also ein breites Anwendungsfeld. Als die Röhre richtig einsatzbereit war, verwendete man sie in erster Linie zum Verstärken von Signalen, wie z. B. Sprache, Musik, Funkzeichen und Radiowellen. Weil der Rundfunk durch die Erfindung der Elektronenröhre seinen großen Aufschwung erlebte, soll hier die Funktion eines Radios mit Röhren kurz erläutert werden.

Um Radiowellen einzufangen und die gesendeten Informationen als Sprache oder Musik hörbar zu machen, müssen die vom Sender ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen in elektrischen Strom zurückverwandelt werden. Das ist sehr einfach: Wenn die elektromagnetischen Wellen die Antenne erreichen, verursachen sie in ihr einen winzigen fließenden Strom. Dieser Strom ist jedoch zu schwach, um damit einen Lautsprecher betreiben zu können. Er muß vielmehr zunächst im Radioempfänger durch einige Elektronenröhren millionenfach und mehr verstärkt werden. Anschließend wird das Tonsignal von der tragenden Radiowelle getrennt. Das Tonsignal gelangt dann zur Lautsprecher-Röhrenstufe, wo es nochmals verstärkt und dann vom Lautsprecher abgestrahlt und somit hörbar wird. Der Lautsprecher wandelt den elektrischen Strom dabei wieder in die ursprünglichen Schallwellen um.



Die ausgestrahlten Wellen erzeugen in der Empfangsantenne genau entsprechende hochfrequente Wechselspannungen. Diese werden im Empfänger demoduliert, das heißt, die in der Darbietung enthaltenen Schwingungen werden wieder herausgeholt, verstärkt und im Lautsprecher in die ursprüngliche Stimme des Sprechers zurückverwandelt.

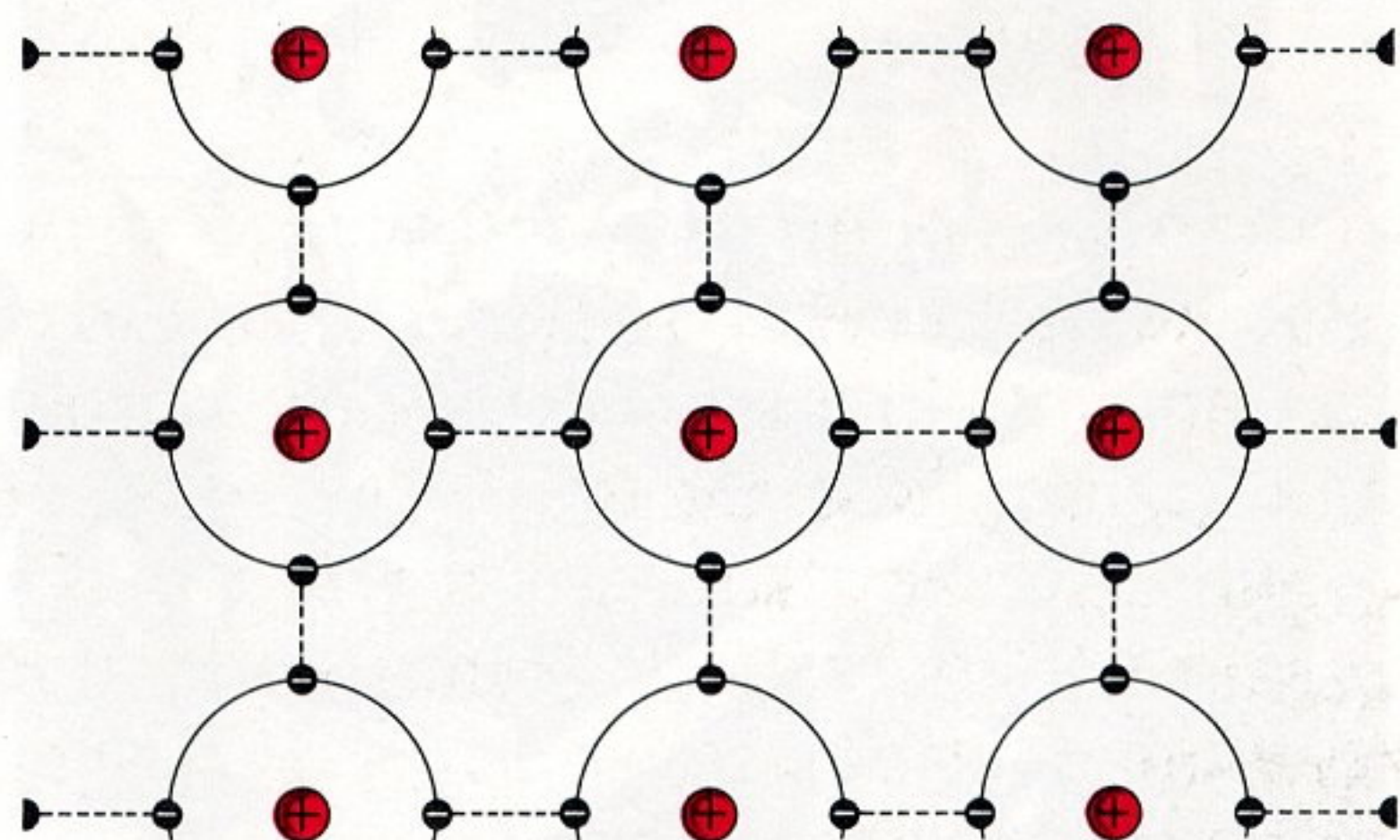
Wir haben schon gelesen, daß der elektrische Strom durch metallische Leiter besonders gut fließt und daß er durch Isolatoren (Nichtleiter)

Was sind Halbleiter?

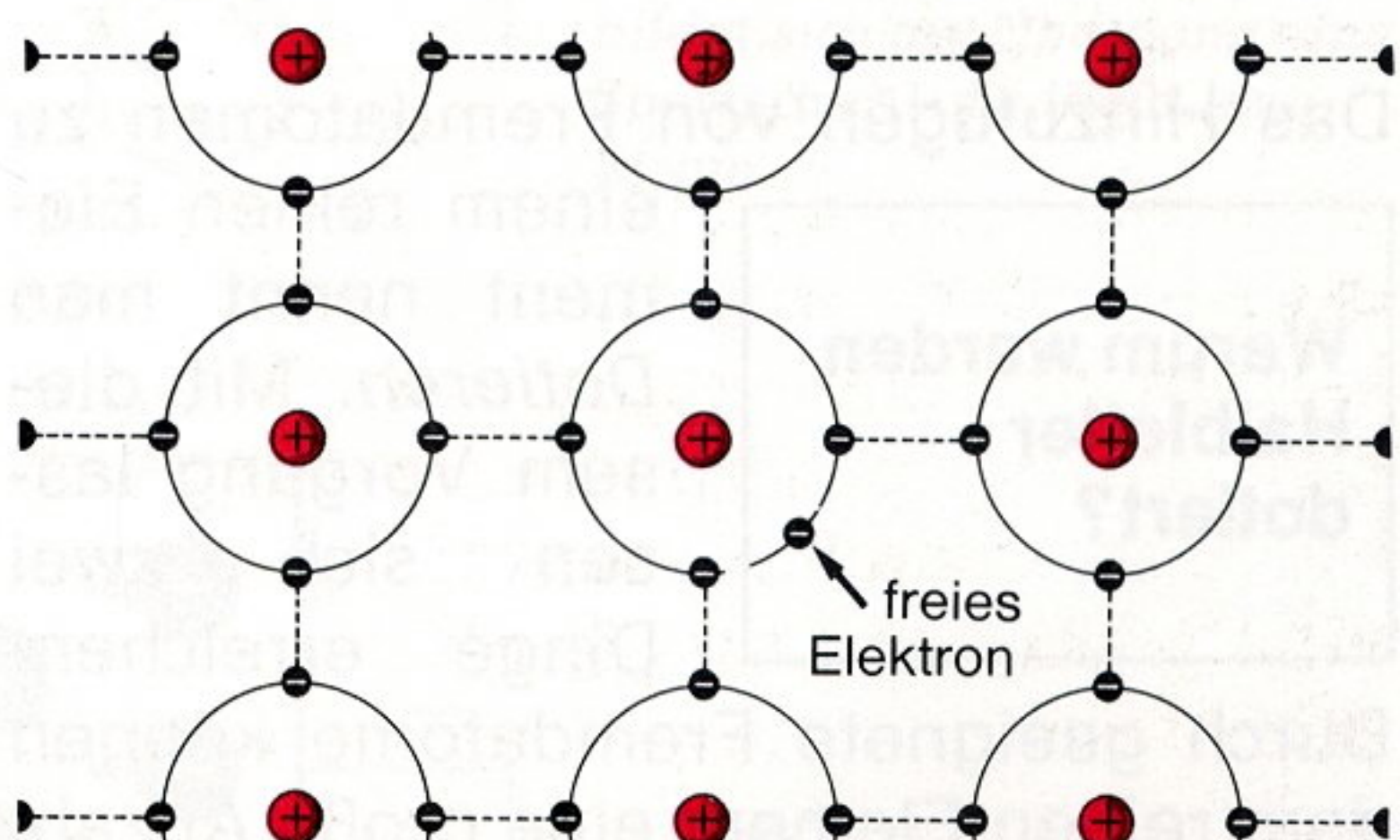
überhaupt nicht hindurchgeht. Neben diesen beiden Materialien gibt es aber auch solche, durch die der elektrische Strom sozusagen nur mit halber Kraft fließen kann. Sie liegen in ihrer elektrischen Leitfähigkeit zwischen den Leitern und Nichtleitern, deshalb nennt man diese Stoffe auch *Halbleiter*.

Wie fast bei allen anderen Materialien ist auch der atomare Aufbau der Halbleiter kristallin- oder gitterförmig. Hierbei sind die einzelnen Atome untereinander durch die Bindungskräfte ihrer Elektronen auf der äußeren Bahn miteinander gekoppelt. Da diese Bindung paarweise erfolgt, gibt es bei Halbleitern theoretisch keine freien Elektronen.

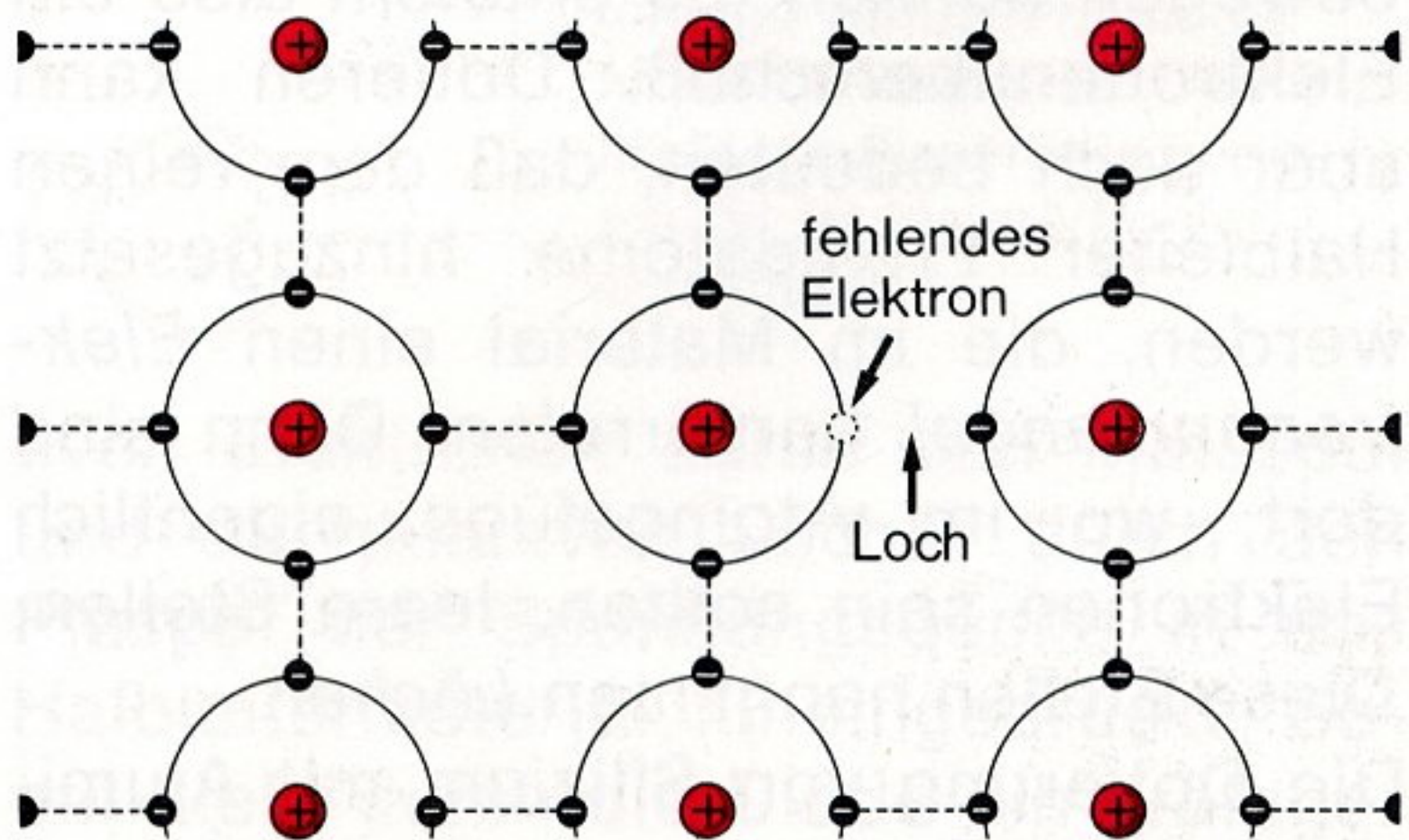
Zwei besonders wichtige Halbleiter sind die chemischen Elemente Germanium und Silizium. Wenn diese Elemente keine fremden Beimengungen haben, fließt elektrischer Strom nur sehr schwach hindurch. Wenn jedoch dem reinen Germanium bei der Herstellung z. B. eine ganz winzige Menge Arsen hinzugefügt wird, bekommt es eine größere elektrische Leitfähigkeit. Das trifft auch zu, wenn man dem reinen Silizium sehr geringe Anteile von Aluminium hinzusetzt.



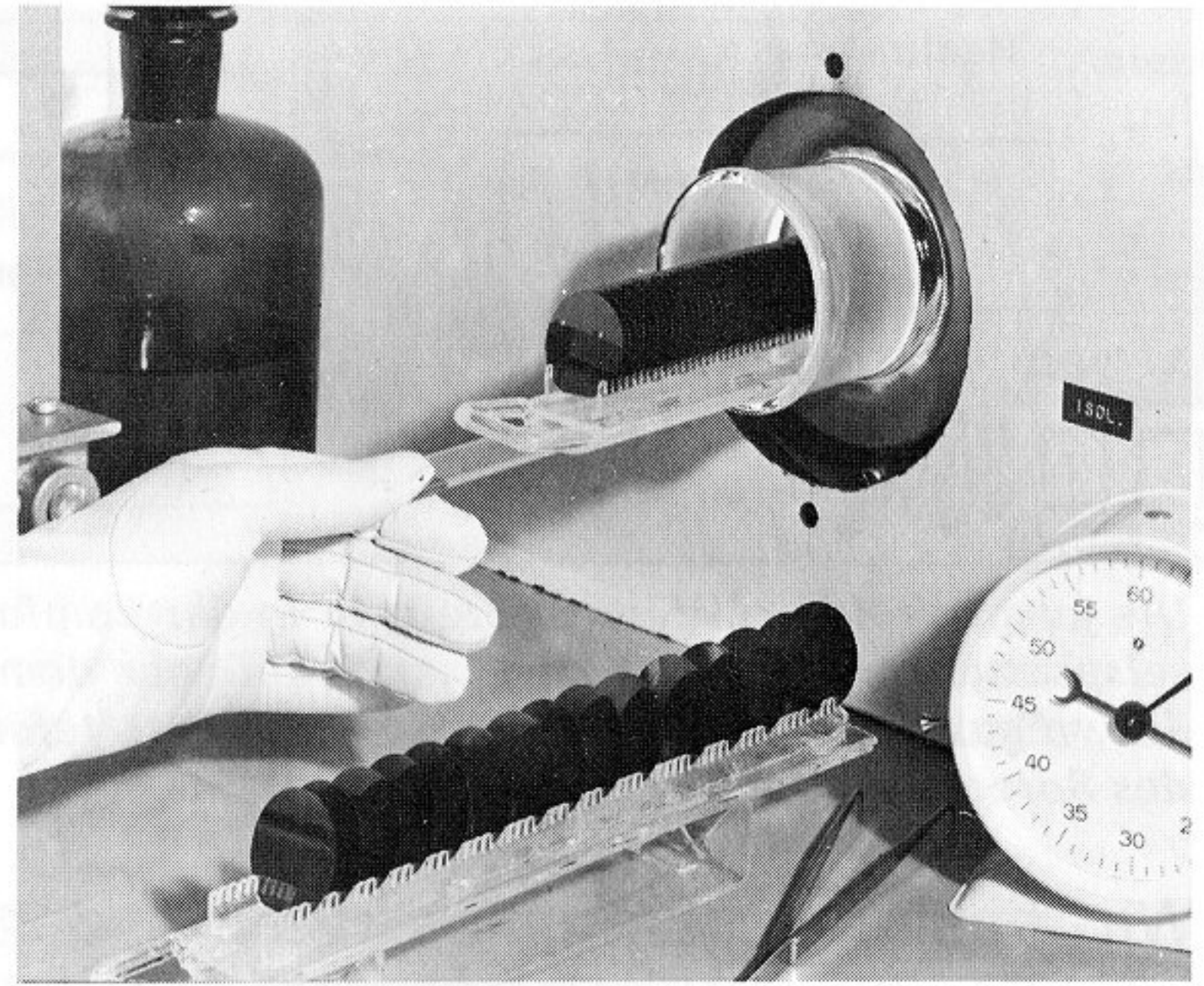
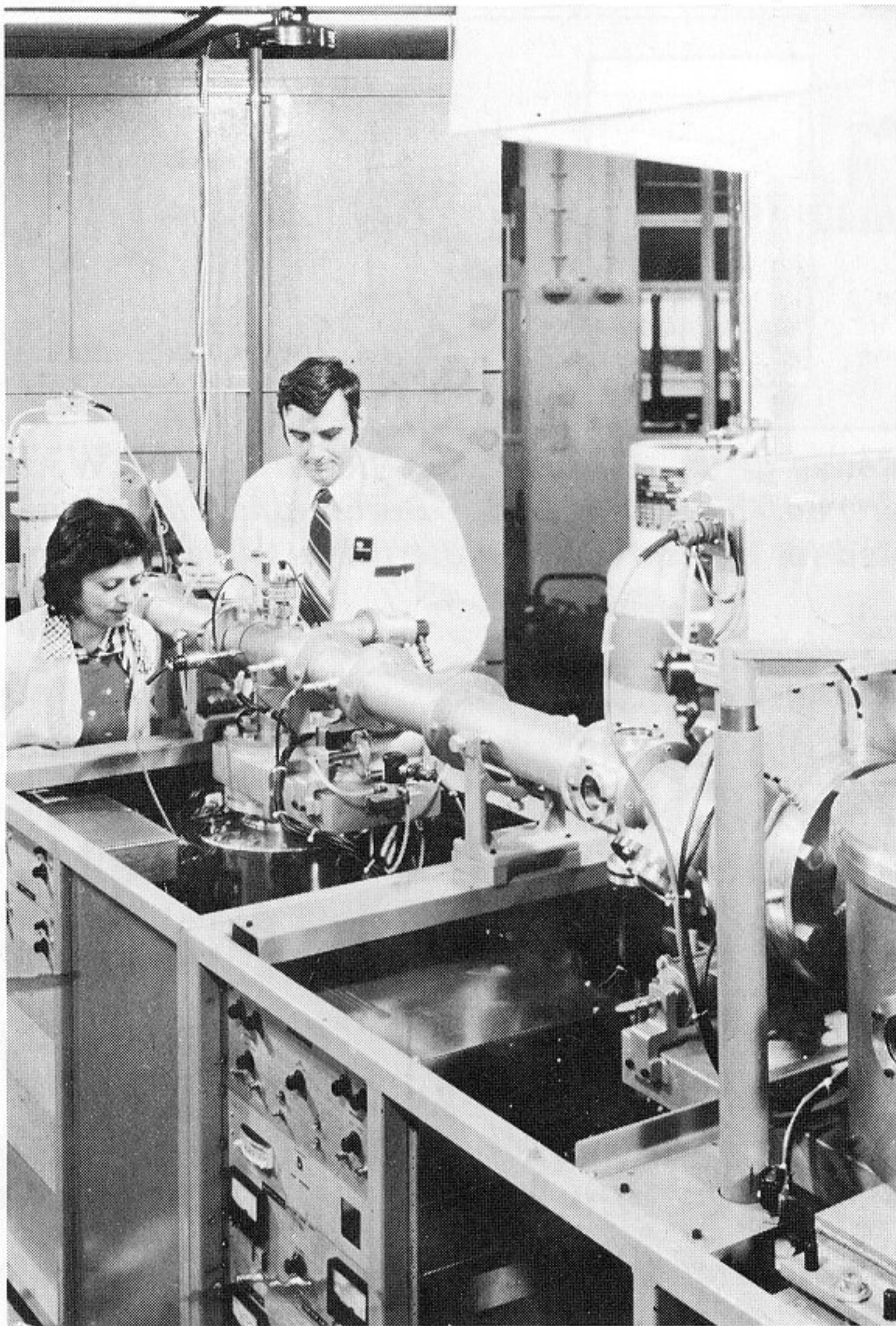
Halbleiteratome sind durch die Bindungskräfte ihrer äußeren Elektronen miteinander verbunden.



Werden einem Halbleiter Elektronen zugefügt, wird er zum N-Leiter mit Elektronenüberschuß, also mit negativer Ladung.



Wird in einem Halbleiter Elektronenmangel erzeugt, entsteht ein P-Leiter mit Löchern und positiver Ladung.



Bei der Herstellung von Transistoren müssen die Dotierstoffe in die Siliziumscheibe eingebracht werden. Dies geschieht durch das „Einbacken“ in speziellen Öfen, wobei Temperaturen von weit über 1000°C auftreten. Im Bild oben werden die Scheiben auf „Schiffchen“ in den Ofen geschoben.

Bei der Ionen-Implantation (links) werden die zur Dotierung benötigten ionisierten Atome in einer komplizierten Anlage mit hoher Energie in den Halbleiter „geschossen“. Sie dringen bis zu etwa $\frac{1}{1000}\text{ mm}$ tief in die Kristallstruktur des Halbleiters ein und verbinden sich dort mit den Atomen.

Das Hinzufügen von Fremdatomen zu

Warum werden Halbleiter dotiert?

einem reinen Element nennt man *Dotieren*. Mit diesem Vorgang lassen sich zwei Dinge erreichen:

Durch geeignete Fremdatome können dem reinen Element eine große Anzahl von Elektronen hinzugefügt werden, die nicht an die Atome des Halbleiters gebunden sind und sich deshalb frei bewegen können. Es entsteht also ein Elektronenüberschuß. Dotieren kann aber auch bedeuten, daß dem reinen Halbleiter Fremdatome hinzugesetzt werden, die im Material einen *Elektronenmangel* hervorrufen. Dann sind dort, wo im Atomgefüge eigentlich Elektronen sein sollten, leere Stellen. Diese Stellen nennt man *Löcher*.

Die Dotierung von Silizium mit Aluminium, dessen Atome ein Elektron weniger haben, läßt solche Löcher entstehen. Wir können uns ein Loch auch

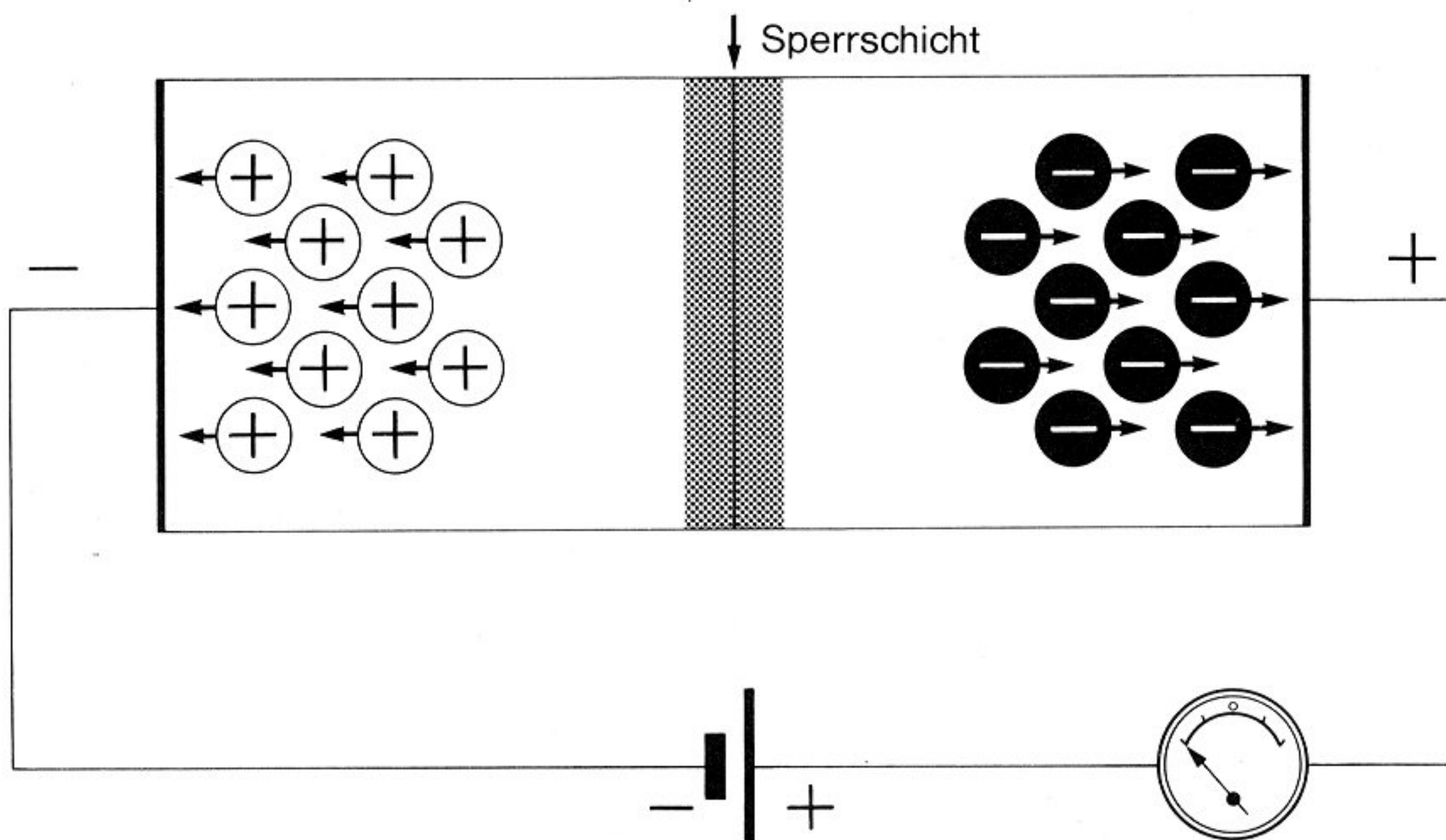
als Ort einer positiven elektrischen Ladung vorstellen, da an dieser Stelle ein negativ geladenes Elektron fehlt. Schlüpft dagegen ein negatives Elektron in ein positives Loch, so ist diese Stelle elektrisch wieder neutral. Bei einer Dotierung von Germanium mit Arsen, dessen Atome ein Elektron mehr haben, erhält man dagegen einen gewollten Elektronenüberschuß. Ein solcher Halbleiter wird *N-Leiter* genannt. Das „N“ steht für negativ und bezieht sich auf die elektrische Ladung der Elektronen. Ein Halbleiter mit einem Löcherüberschuß wird als *P-Leiter* bezeichnet, wobei „P“ für positiv steht, weil die von den Löchern gebildeten elektrischen Ladungen immer positiv sind.

Sowohl freie Elektronen als auch Löcher bewegen sich durch einen Halbleiter hindurch, wenn an diesen eine Spannung angelegt wird. Diese Bewegung entspricht dem Fließen eines elektrischen Stromes.

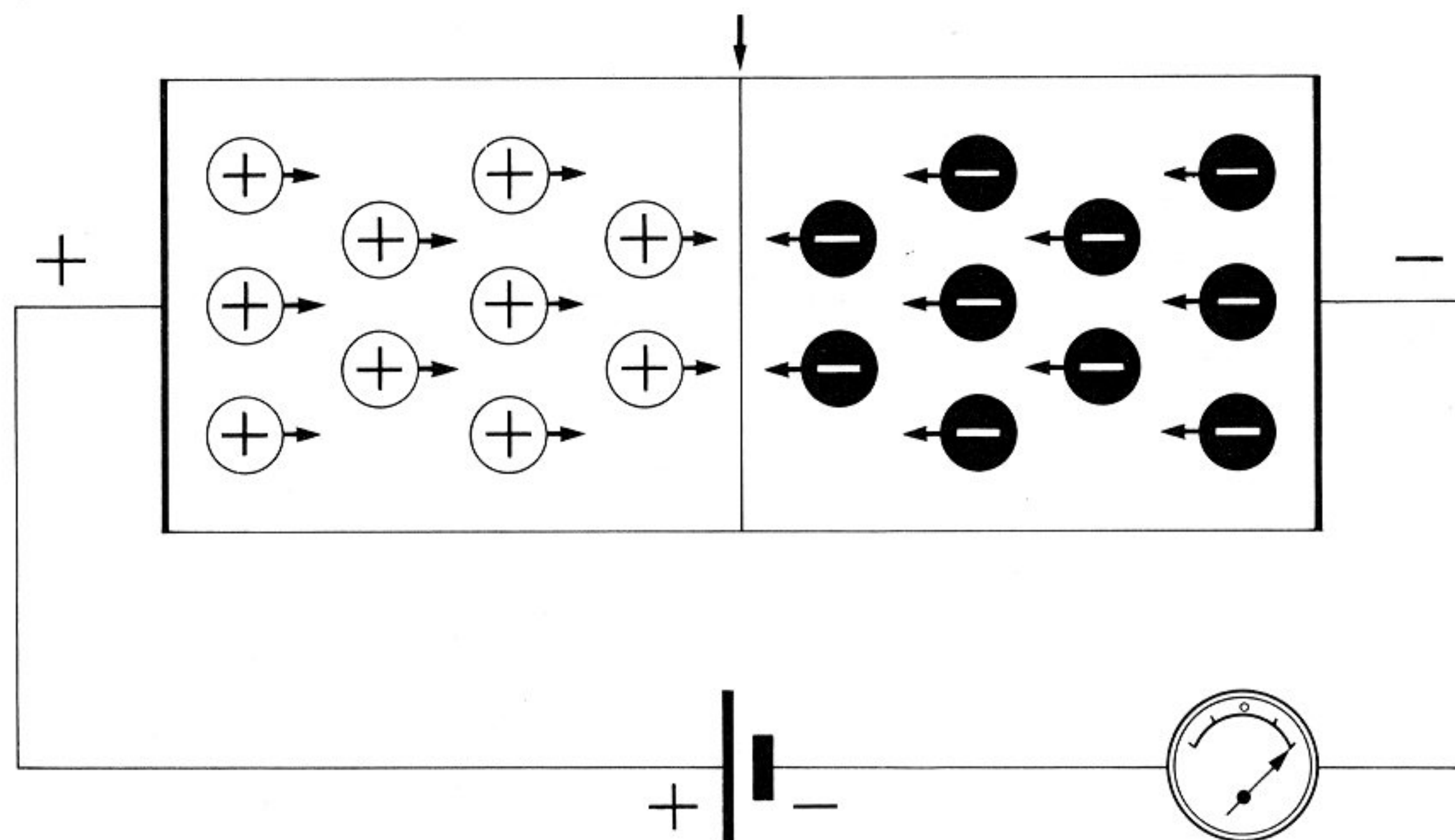
Wenn man einen Halbleiterkristall herstellt, der je zur Hälfte aus P-leitendem und aus N-leitendem Material besteht, so ergibt sich in der Mitte des Halbleiters eine Zone, in der beide Bereiche ineinander übergehen. Dieser „PN-Übergang“ ist außerordentlich wichtig, weil sich

Was ist eine Halbleiterdiode?

Wenn eine Spannungsquelle so an eine Diode gelegt wird, daß der Pluspol an der N-Schicht und der Minuspol an der P-Schicht liegt, so fließt kein Strom durch die Diode: Die Elektronen der N-Schicht werden vom Pluspol und die Löcher der P-Schicht vom Minuspol der Spannungsquelle angezogen, wodurch am PN-Übergang des Halbleitermaterials eine breite Sperrschicht entsteht. Im umgekehrten Fall werden die nega-



Legt man an einen Halbleiter mit PN-Übergang eine Spannung so an, daß der Plus-Pol an die N-Schicht und der Minus-Pol an die P-Schicht angeschlossen ist, bildet sich am Übergang eine Sperrschicht: Es fließt kein Strom.



Legt man an einen Halbleiter mit PN-Übertragung eine Spannung so an, daß der Plus-Pol an die P-Schicht und der Minus-Pol an die N-Schicht angeschlossen ist, fließt ein Strom; die Sperrschicht ist fast völlig verschwunden.

dort alle Ereignisse abspielen, die für das Funktionieren von Dioden und Transistoren (siehe Seite 18) von Bedeutung sind. Am einfachsten lassen sich diese Vorgänge bei einer Halbleiterdiode erklären, die praktisch aus einem solchen Kristall mit PN-Übergang besteht.

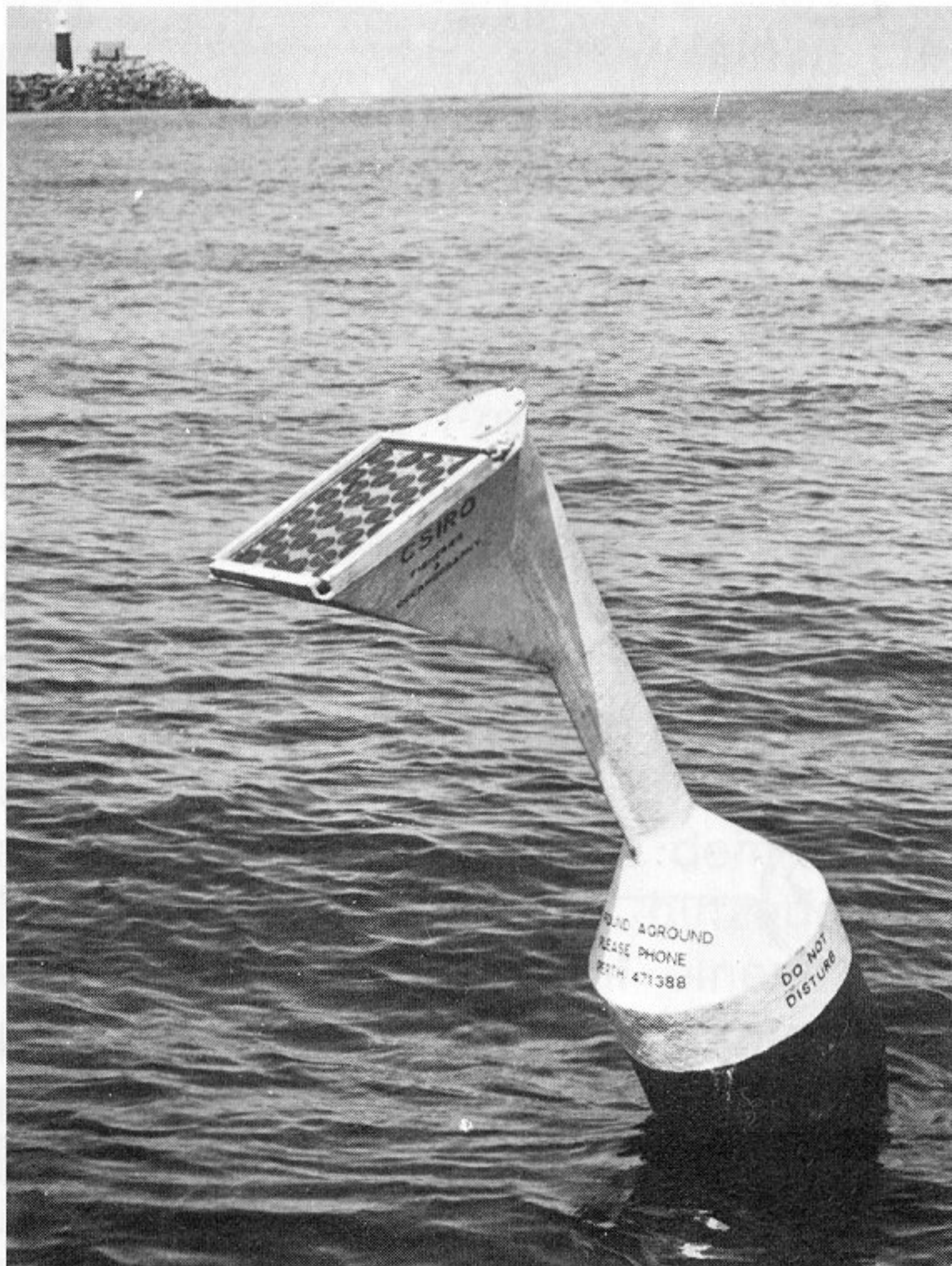
tiven Elektronen durch den Minuspol und die positiven Löcher durch den Pluspol der Spannungsquelle in das Halbleitermaterial hineingedrückt. Somit fließt durch die Diode ein kräftiger elektrischer Strom, der die Sperrschicht am PN-Übergang fast vollständig verschwinden läßt.

Diese Ventil-Eigenschaft macht die

Wie funktioniert ein Gleichrichter?

Halbleiterdiode zu einer elektronischen Schleuse, die den Strom nur in einer Richtung hindurchläßt. Man

nutzt den „Einbahn-Verkehr“ der Elektronen aus und macht die Diode in der Praxis zum *Gleichrichter*. Mit dem Gleichrichter wird Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt, indem die eine Hälfte jeder Wechselstromwelle von der Diode durchgelassen wird, während der Weg für die andere Hälfte gesperrt ist. So wandeln z. B. erbsengroße Gleichrichter in Rundfunk- und Fernsehgeräten den Wechselstrom aus der Steckdose in Gleichstrom um, weil nur dieser von den Geräten im Betrieb gebraucht wird. In der Industrie gibt es natürlich viel größere Gleichrichter für das Umwandeln von Wechselstrom in Gleichstrom.



Vor der australischen Küste liegen Bojen mit Sendeeinrichtungen zum Messen der Meeresströmung. Sie werden mit elektrischer Energie aus Solarzellen betrieben.

Halbleiterdioden können auch fotoelektrische Eigenschaften haben und erzeugen dann bei Bestrahlung mit Licht schwache elektrische Ströme. Halbleiterdioden dieser Art werden beispielsweise in Satelliten als Solarzellen (Sonnenzellen) benutzt. Sie liefern elektrischen Strom, solange sie vom Sonnenlicht beschienen werden. Auf diese Weise können Nachrichten- und Forschungssatelliten viel länger arbeiten, als wenn sie nur auf den Energievorrat angewiesen sind, der ihnen durch Batterien mitgegeben werden könnte.

Es gibt außerdem Halbleiterdioden, die sogar selbst Licht abgeben, wenn sie vom elektrischen Strom durchflossen werden. Man findet sie an vielen modernen Geräten als punktförmige Funktions-Anzeigen oder als leuchtende Ziffern.

Im Jahre 1948 gelang den drei ameri-

Was ist ein Transistor?

kanischen Wissenschaftlern Bardeen, Brattain und Shockley eine Erfindung, die – wie sich später her-

ausstellte – in der Elektronik eine technische Revolution größten Ausmaßes einleitete. Sie erfanden den *Transistor* und wurden dafür 1956 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Das elektronische Bauelement Transistor kann ebenso wie die Elektronenröhre elektrische Signale verstärken, hat aber darüber hinaus noch andere wesentliche Vorteile.

Waren die Röhren in den Radio- und Fernsehgeräten der letzten Jahrzehnte ungefähr so groß wie der Daumen eines erwachsenen Menschen, so sind heute vergleichbare Transistoren nur noch reiskorn- bis erbsengroß. Natürlich gibt es auch noch leistungsfähigere Typen mit den Abmessungen etwa eines Markstückes und ebenso Spe-

zialausführungen, oft nicht größer als der Punkt am Ende dieses Satzes.

Die geringe Größe der Transistoren macht es möglich, viele neue elektronische Geräte herzustellen, die man mit Elektronenröhren nicht so gut oder überhaupt nicht bauen konnte. So gehörte früher beispielsweise zum kleinsten Röhren-Hörgerät für Schwerhörige ein kleines Kästchen, das der Besitzer in der Tasche tragen mußte, und ein Verbindungskabel, das vom Kästchen zur Miniatur-Lautsprecherkapsel im Ohr lief. Hörgeräte mit Transistoren dagegen sind so klein, daß sie sogar im Bügel einer Brille Platz finden.

Im Prinzip besteht jeder Transistor aus

Woraus besteht ein Transistor?

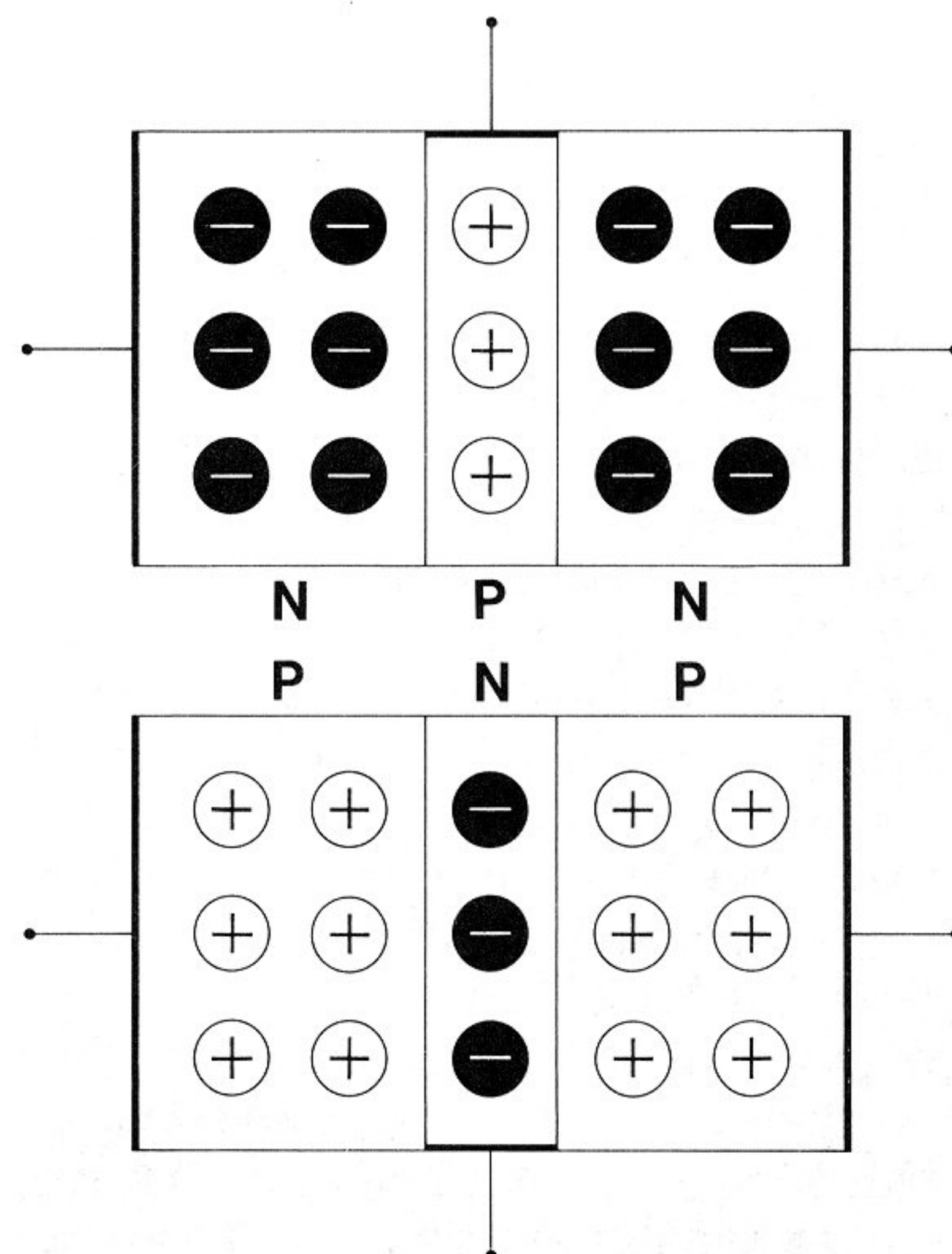
drei dünnen Halbleiterschichten, die zu einer Art „elektronischem Sandwich“ zusammengefügt sind. Man

unterscheidet durch die Buchstabenfolge zwei Grundtypen: den PNP-Transistor und den NPN-Transistor. Der heute überwiegend benutzte NPN-Transistor besteht aus zwei Schichten N-leitenden Materials, zwischen denen eine dritte, dünnere Schicht P-leitenden Materials liegt. Umgekehrt ist beim PNP-Transistor eine dünne N-leitende Schicht zwischen zwei P-leitende Schichten angeordnet.

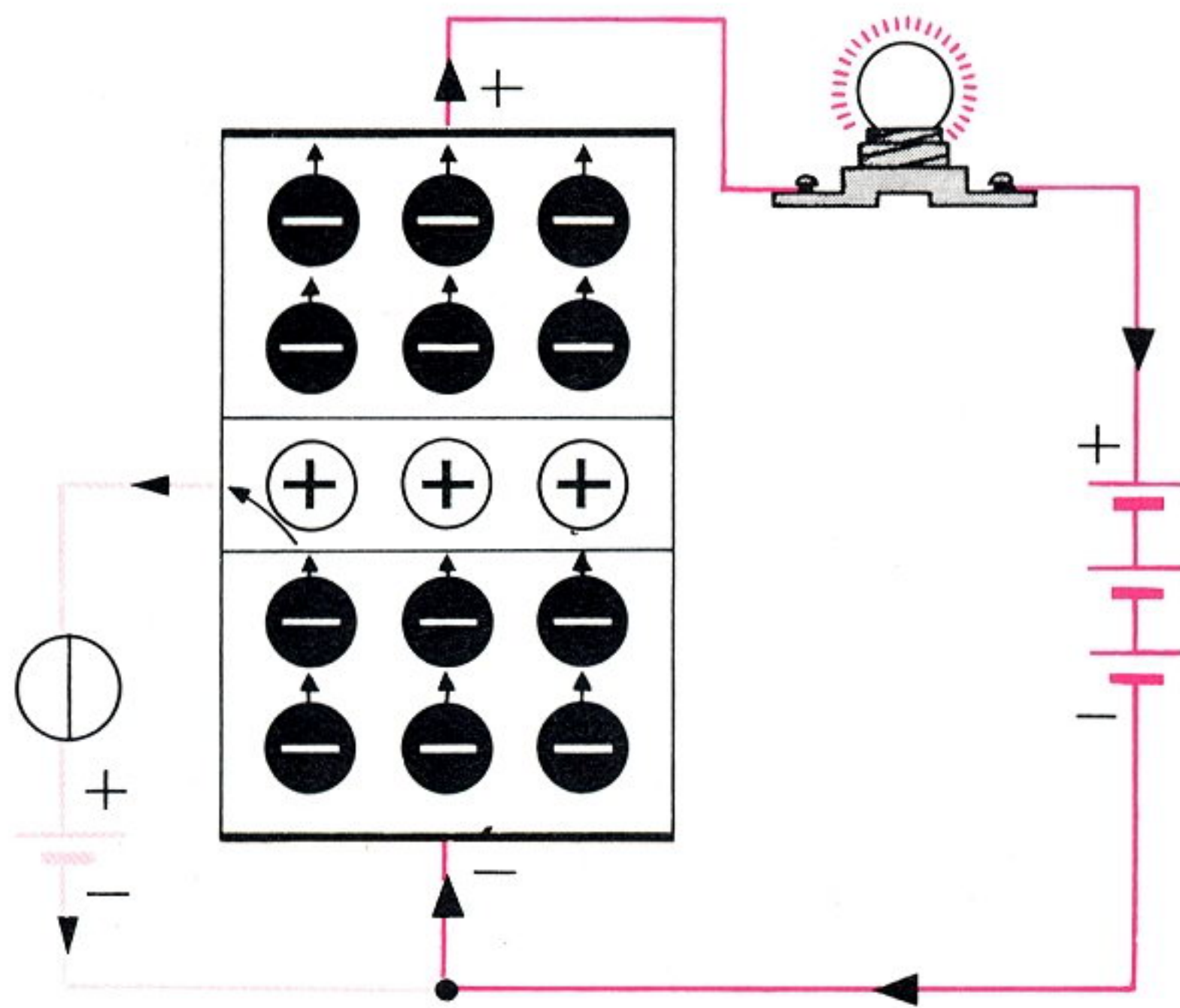
Die drei Halbleiterschichten eines Transistors sind durch haarfeine Drähtchen mit den äußeren Anschlüssen verbunden. Diejenige der äußeren Halbleiterschicht, durch die der elektrische Strom in den Transistor hineinfließt, wird *Emitter* genannt. Die andere Außenschicht heißt *Kollektor*, dort verläßt der elektrische Strom den Transistor wieder. Für die mittlere Schicht hat man die Bezeichnung *Basis* gewählt; sie ist die Steuerelektrode des Transistors und kann annähernd mit dem Gitter der Elektronenröhre verglichen werden.

Wie ein Transistor im allgemeinen funktioniert, sei am Beispiel des NPN-Typs erläutert. Als Stromquelle dient eine Batterie, die mit ihrem Pluspol am Kollektor und mit dem Minuspol am Emitter liegt. Wie schon bei der Halbleiterdiode erwähnt, werden die in der Kollektorschicht vorhandenen negativen Elektronen nun vom Pluspol angezogen, während die Elektronen in der Emitterschicht vom Minuspol in Richtung zur Basis gedrückt werden. Sie können aber nicht zum Kollektor weiterfließen, weil sich ihnen die Sperrschicht am PN-Übergang in den Weg stellt. Wird jedoch von einer zweiten Batterie ein schwacher elektrischer Strom in die Basis geschickt, so baut sich die Sperrschicht ab und hält den Elektronenstrom vom Emitter zum Kollektor nicht mehr auf.

Wie arbeitet der Transistor?



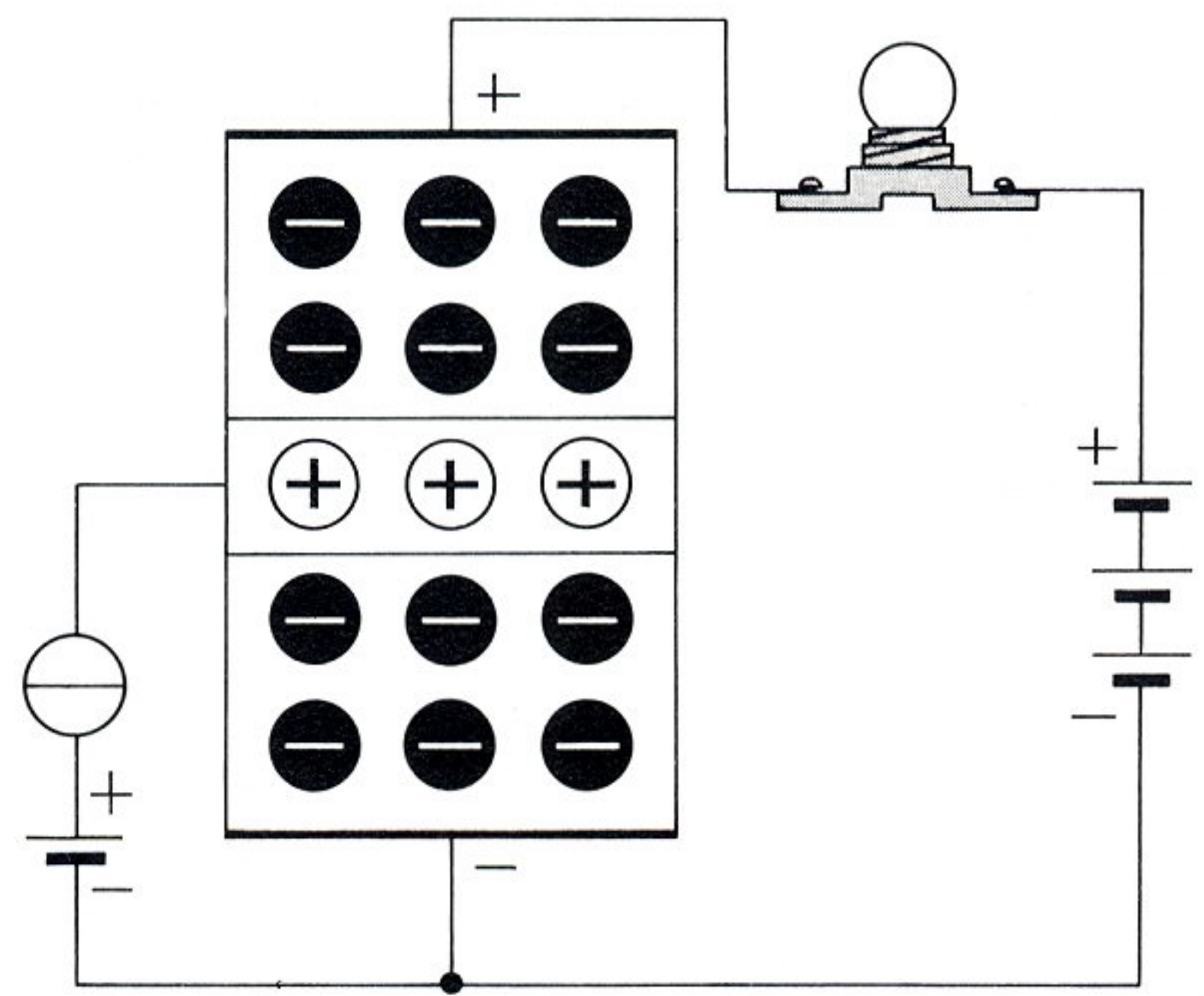
Beim NPN-Transistor (oben) liegt eine dünne Schicht P-leitenden Materials zwischen zwei N-Schichten; beim PNP-Transistor (unten) ist es umgekehrt. Heute werden meist NPN-Transistoren verwendet.



Fließt in der Basis eines Transistors ein Strom, wird die Sperrschicht abgebaut und der Elektronenstrom fließt vom Emitter zum Kollektor.

Dabei führt schon eine kleine Vermehrung des Basisstroms zu einer starken Erhöhung des Stroms, der durch den ganzen Transistor fließt. Auf diese Weise verstärkt ein Transistor den elektrischen Strom. Durch Erhöhen oder Erniedrigen des Basisstroms kann man außerdem die Stärke des vom Emitter zum Kollektor fließenden Stromes auf einfache Weise steuern und kontrollieren.

Transistoren benötigen verhältnismäßig wenig Strom. Sie können deshalb auch aus Batterien betrieben werden und beginnen sofort zu arbeiten, wenn der Strom eingeschaltet ist. Im Gegensatz zu den „heißen“ Elektronenröhren bleiben Transistoren im Betrieb fast kalt. Nur größere Transistoren in den Lautsprecherendstufen von Rundfunk- und HiFi-Verstärkern produzieren so viel Wärme, daß sie auf Kühlbleche montiert werden müssen. Transistoren sind auch sehr unempfindlich. Da sie mit einer Plastik- oder Metallkappe umgeben sind, können sie selbst Stöße vertragen, ohne zu zerbrechen. Es gibt aber auch kleine Nachteile. So ist das Halbleitermaterial der Transistor-schichten sehr wärmeempfindlich, weshalb man zum Beispiel beim Einlöten von Transistoren sehr sorgfältig vorgehen muß.



Fließt in der Basis des Transistors kein Strom, bleibt die Sperrschicht bestehen, und der Transistor wirkt wie ein geschlossener Schalter.

Als die Elektronik-Ingenieure mit Tran-

Was ist eine integrierte Schaltung?

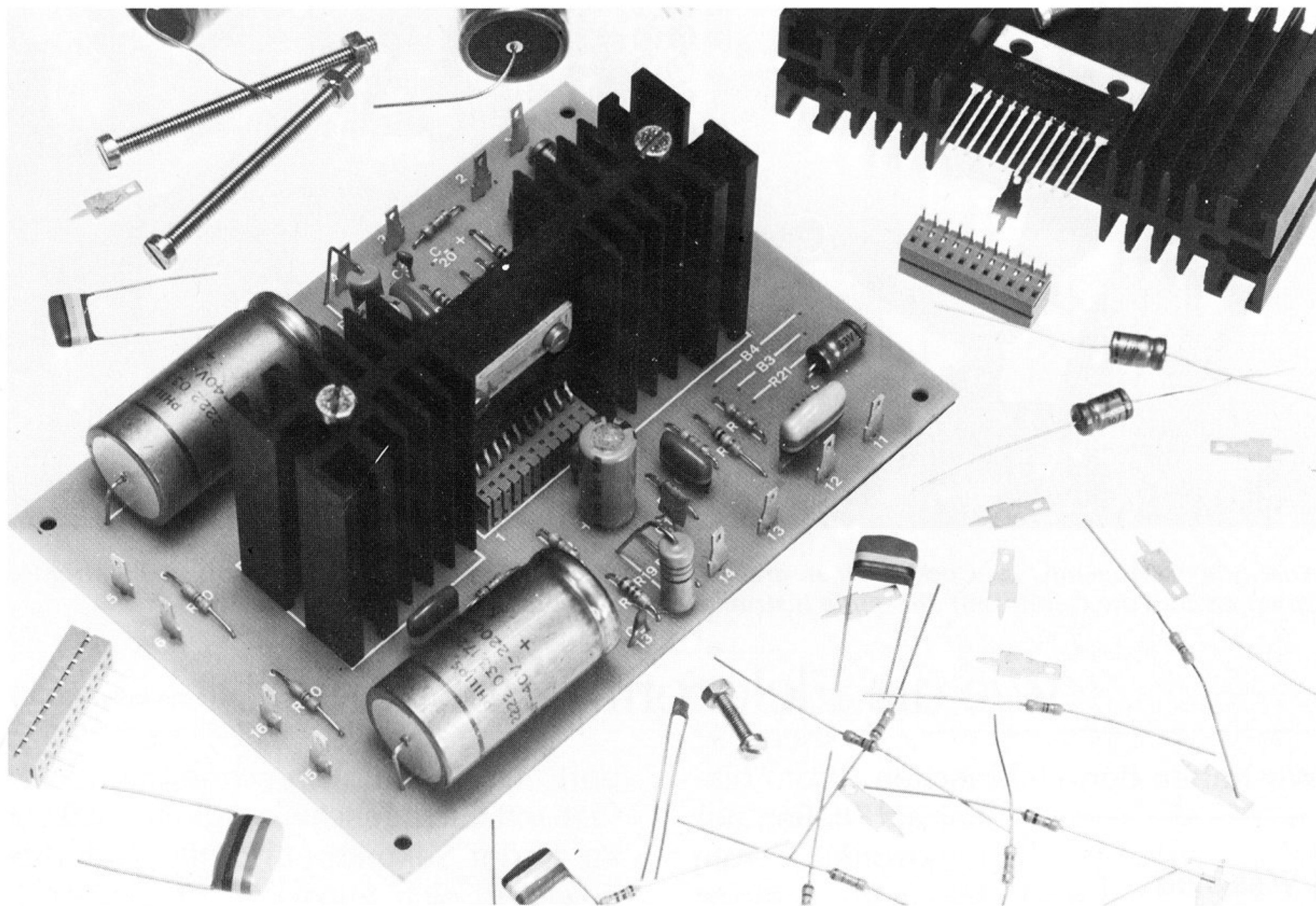
sistoren und Dioden immer kompliziertere und umfangreichere Geräte bauten, stellten sie bald

fest, daß dies nur bis zu einer gewissen Größe möglich war. Dies galt besonders für die Raumfahrttechnik, wo eine möglichst große Zahl von elektronischen Geräten auf sehr kleinem Raum untergebracht werden mußte. Auch die Computertechnik verlangte nach immer kleineren und gleichzeitig leistungsfähigeren elektronischen Anlagen.

Daraus entstand die Idee, eine Vielzahl von Bauelementen (Transistoren, Dioden, Widerstände und kleine Kondensatoren) gemeinsam mit den nötigen Verbindungsleitungen als elektronische Einheit auf einem Halbleiterplättchen von wenigen Quadratmillimetern Größe unterzubringen. Anfang der sechziger Jahre tauchten die ersten dieser neuartigen *integrierten Schaltungen* in Amerika auf und mußten mit vielen hundert Dollar pro Stück bezahlt werden. Heute sind die ICs, wie man in Kurzform sagt (abgeleitet vom englischen *integrated circuit*), fast so preiswert wie Transistoren geworden. Man verwendet sie in nahezu allen

elektronischen Geräten für die unterschiedlichsten Aufgaben. Sie sind nicht nur klein und sehr zuverlässig, sondern haben auch völlig neue elektronische Konstruktionen möglich gemacht. Integrierte Schaltungen werden auch aus Halbleitermaterial und nach ähnlichen Verfahren wie Transistoren hergestellt.

eines elektronischen Gerätes. Bei allen industriell hergestellten Produkten verwendet man heute Kunststoff-Platten als Träger für die Bauelemente. Diese werden mit ihren Anschlußdrähten durch die Leiterplatte gesteckt und mit den aufgedruckten Kupferbahnen verlötet. Die Kupferbahnen dienen gleich-



In modernen Geräten z. B. der Unterhaltungselektronik werden neben integrierten Schaltungen noch zahlreiche Einzelbauelemente verwendet. Widerstände, Kondensatoren und Spulen nennt man *passive Bauelemente*. Außerdem gibt es *aktive Bauelemente*, mit denen elektrische Signale verstärkt oder umgeformt werden. Transistoren sind die bekanntesten Vertreter dieser Gruppe. Wenn sie viel Leistung abgeben, entwickeln sie Wärme, die abgeführt werden muß. Hierfür verwendet man Kühlkörper, die stern- oder rippenförmig ausgebildet sind und als Montagefläche für Transistoren dienen.

Röhren und Transistoren oder integrierte Schaltungen, die sogenannten *aktiven Bauelemente*, bilden zusammen mit Widerständen, Kondensatoren und Spulen, den *passiven Bauelementen* (sie weisen der Elektrizität den Weg) das technische Innenleben, die sogenannte *Schaltung*

Woraus besteht eine elektronische Schaltung?

zeitig als Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Bauelementen, so daß die elektronische Schaltung einen sehr kompakten und zweckmäßigen Aufbau erhält.

Bei kleinen Ausführungen, z. B. Taschenrechner, Cassettenrecorder oder Miniradio, reicht eine Leiterplatte völlig aus. Ist das elektronische Gerät sehr groß, werden mehrere Leiterplatten für die Schaltung benötigt.



Fast alle Instrumente im Cockpit eines großen Verkehrsflugzeugs arbeiten elektronisch. Elektronisch arbeiten auch die Geräte, mit denen die Instrumente immer wieder überprüft werden.

Wie die Elektronik funktioniert

Wir haben den elektrischen Strom bisher als Fließen der Elektronen vom Minuspol durch die angeschlossene Leitung zum Pluspol kennengelernt. Während dies bei der Batterie ein Gleichstrom ist, der stets nur in eine Richtung fließt, handelt es sich beim Lichtnetz jedoch um Wechselstrom, der von einer Wechselspannung als Elektronenpumpe durch das Leitungsnetz getrieben wird. Hierbei pendeln die Elektronen ständig in der Leitung hin und her, je nachdem, von welcher Seite der wechselnde elektrische Spannungsdruck sie beeinflusst. Dabei stoßen sie sich gegenseitig an und übermitteln so von Elektron zu Elektron einen Strom. Dieser „Stromtrans-

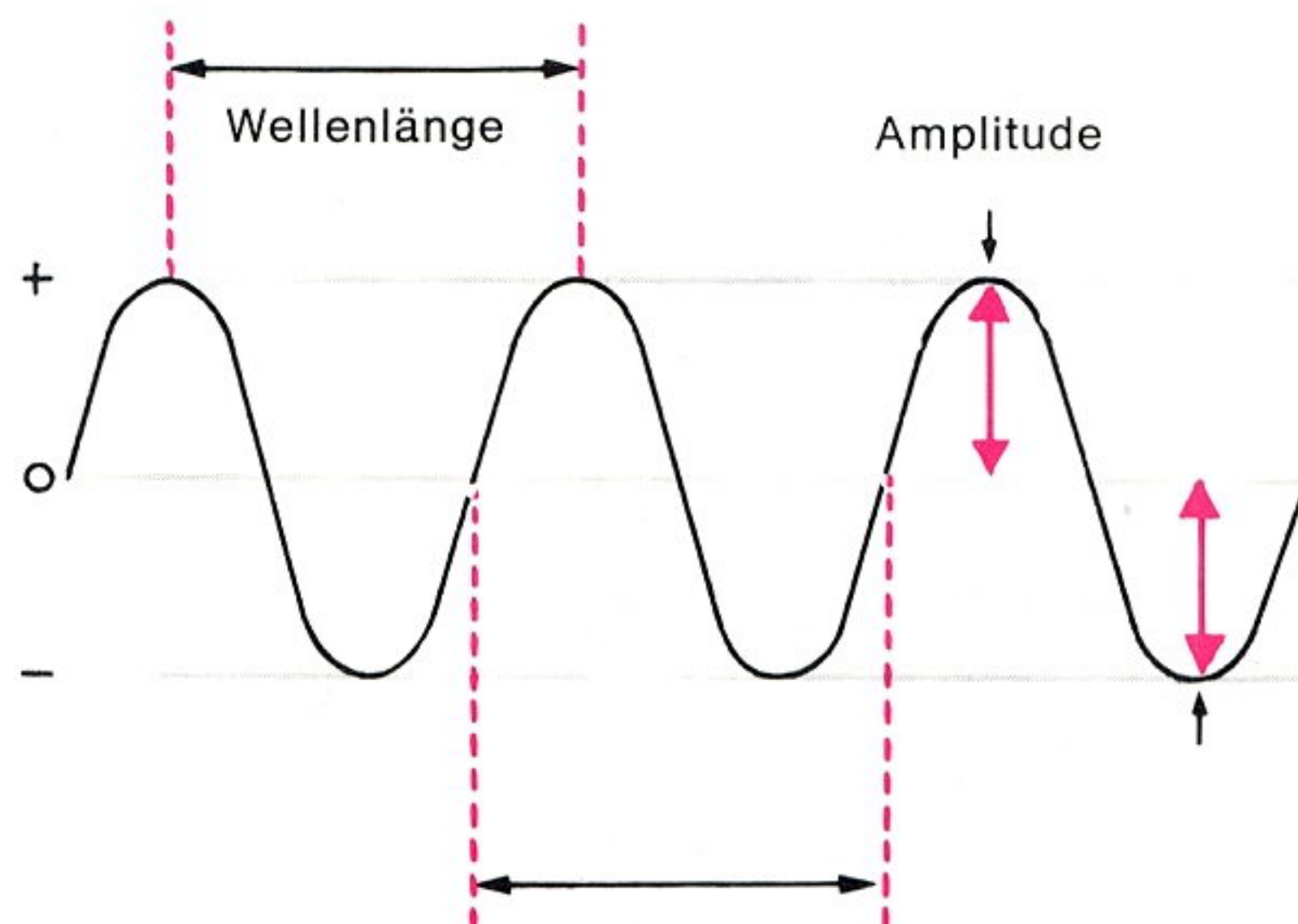
Was sind elektrische Signale?

port“ ist unglaublich schnell und kann fast mit Lichtgeschwindigkeit (300 000 km in der Sekunde) erfolgen. Natürlich bewegen sich auch die Elektronen in der Leitung fort, aber ihre Eigenbewegungen sind sehr viel langsamer als der eben beschriebene Vorgang und liegen bei wenigen Millimetern in der Sekunde.

Alle elektrischen Signale sind Wechselspannungen. Sie ändern ständig ihre Richtung und nehmen dabei sehr unterschiedliche Formen an. Am einfachsten ist das bei einer sogenannten *Sinusschwingung* zu sehen, an deren regelmäßigem Wellenverlauf man verschiedene wichtige Begriffe gut erläutern kann.

Da ist zunächst die *Wellenlänge*, das ist der Abstand zwischen dem Anfang eines Berges und dem Anfang des

nächsten. Ein solcher Schwingungszug wird auch als *Periode* der Wechselspannung bezeichnet. Die Anzahl der Schwingungen oder Perioden in einer Sekunde nennt man *Frequenz*, sie wird in *Hertz* (Hz) gemessen. Ein Beispiel: Die Wechselspannung des Lichtnetzes hat eine Frequenz von 50 Hz und ändert demnach in 1 Sekunde 100mal ihre Richtung, weil jede Schwingung zwei Richtungswechsel hat. Die Höhe einer Schwingung wird als *Amplitude* bezeichnet, man mißt sie jeweils von der Mittellinie nach oben oder unten.



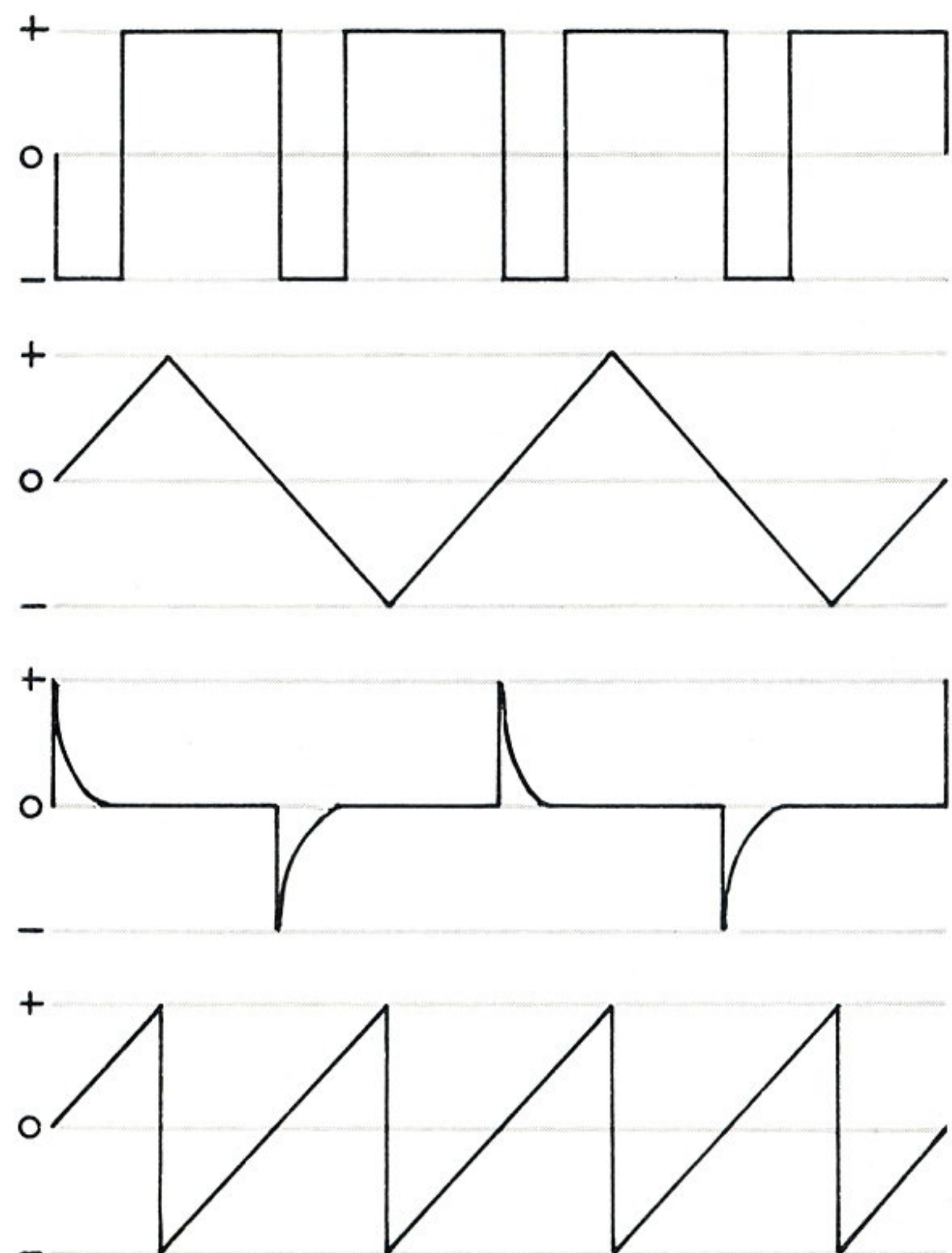
In der Elektronik treten viele Signalformen auf, von denen die Sinuswellen (Bild oben) die bekanntesten sind. Ihre Wellenlänge pro Sekunde (Frequenz) wird durch die Abstände gemessen, ihre Amplitude (Schwingungshöhe oder -weite) ist der Abstand von der Mittellinie zum oberen oder unteren Punkt des Wellenzuges. Diese Angaben gelten auch für die anderen Impulsformen (Rechteck, Dreieck, Nadelimpuls und Sägezahn).

Nun gibt es im Bereich der Elektro-

Was ist eine Impuls-schwingung?

nik noch mehrere Schwingungsarten, die anders aussehen als Sinuswellen. Man nennt sie *Impuls-schwingungen*, die z. B. als Rechteck-, Dreieck-, Sägezahn- oder Nadelimpulse auftreten können. Sie werden in speziellen elektronischen Schaltungen erzeugt, die als *Oszillatoren* bezeichnet werden. Zu den bekanntesten ge-

hört der Multivibrator, was soviel wie Vielfachschwinger bedeutet. Er besteht im Prinzip aus zwei Transistoren, die als elektronische Schalter arbeiten und sich wechselseitig ein- und ausschalten. Sie sind also entweder leitend oder gesperrt, d. h., es fließt Strom oder es fließt kein Strom durch die Transistoren. Dabei entsteht ein Rechtecksignal mit zwei festgelegten Amplitudenwerten. Diese Signalform hat z. B. für elektronische Datenverarbeitungsanlagen eine große Bedeutung, wie wir noch sehen werden.



Üblicherweise versteht man unter Mes-

Was ist elektronisches Messen?

sen das Bestimmen von Mengen, Größen oder anderen Einheiten. So werden Längen mit einem Lineal und Gewichte mit einer Waage gemessen. Diese Messungen sind der Vergleich mit einer bekannten Länge oder einem bekannten Gewicht. In der elektronischen Meßtechnik werden dagegen alle Arten von Mengen,



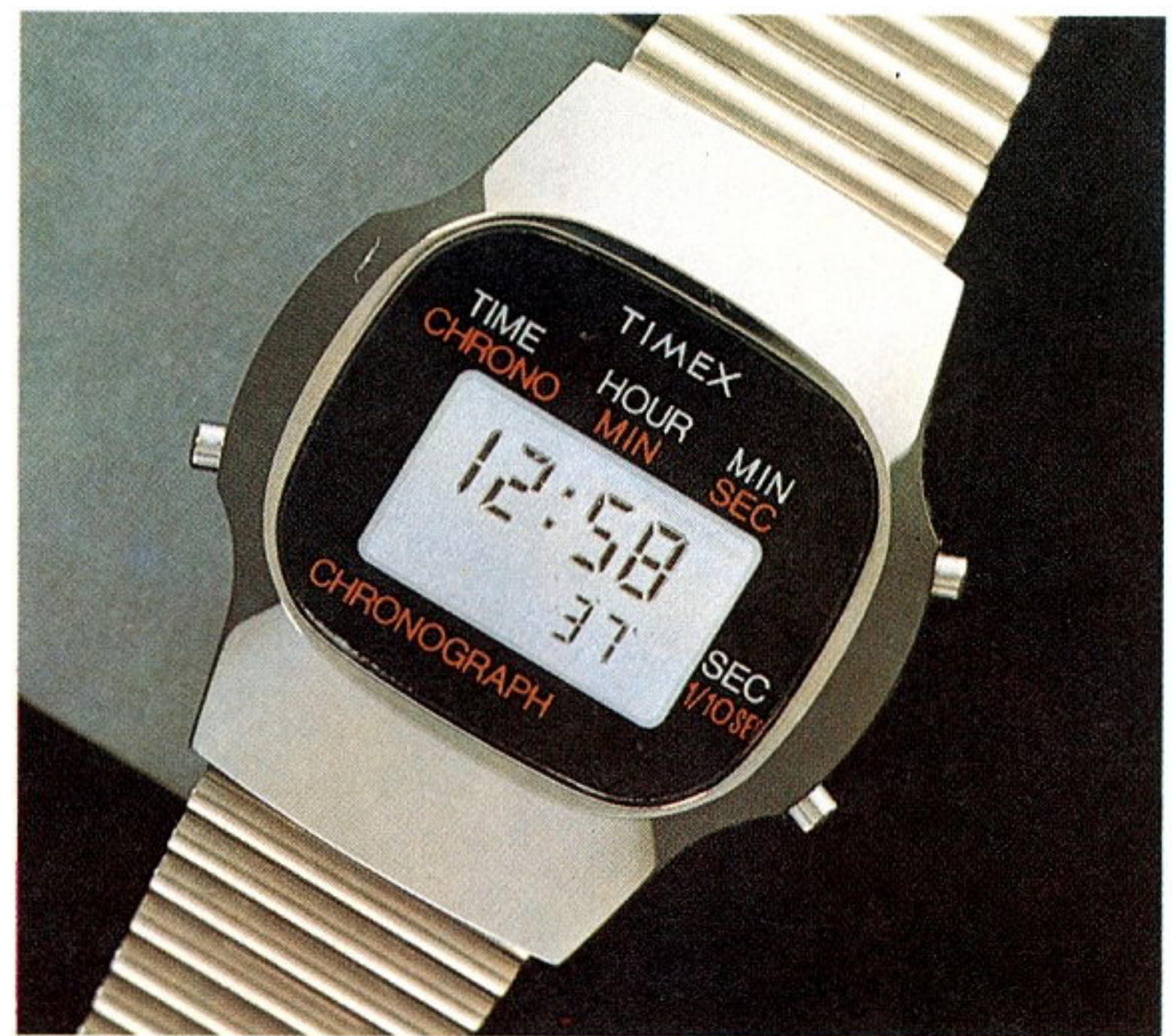
Zeigeruhren sind, wie auch Thermometer oder Luftdruckmesser, analoge Instrumente. Die gemessenen Werte werden auf Skalen angezeigt.

Abmessungen usw. zunächst in elektrische Ströme und Spannungen umgesetzt, die dann anschließend in elektronischen Schaltkreisen verarbeitet und mit Anzeigeeinheiten sichtbar gemacht werden.

Man kann mit solchen Einrichtungen z. B. automatisch die Straßenbeleuchtung einschalten, wenn es zu dämmern beginnt. Das Tageslicht wird elektronisch gemessen und der ermittelte Wert in eine Spannung umgesetzt, die man an die Kontrolleinheit weiterleitet und dort mit einer Standardspannung (Sollspannung) vergleicht. Bei Erreichen einer bestimmten Differenz zwischen den beiden Spannungen wird in der Zentrale ein Schalter betätigt, der die Beleuchtung einschaltet. Ändert man die Vergleichs- oder Standardspannung, so schaltet sich die Beleuchtung zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt ein.

Regeln, einstellen oder steuern gehört zu den Tätigkeiten, die man im täglichen Leben immer wieder ausführen muß. Man stellt die Lautstärke des Radios ein, steuert das Fahrrad durch den Verkehr, stellt am Fotoapparat die Entfernung ein.

Elektronisches Regeln ist ein Vorgang,

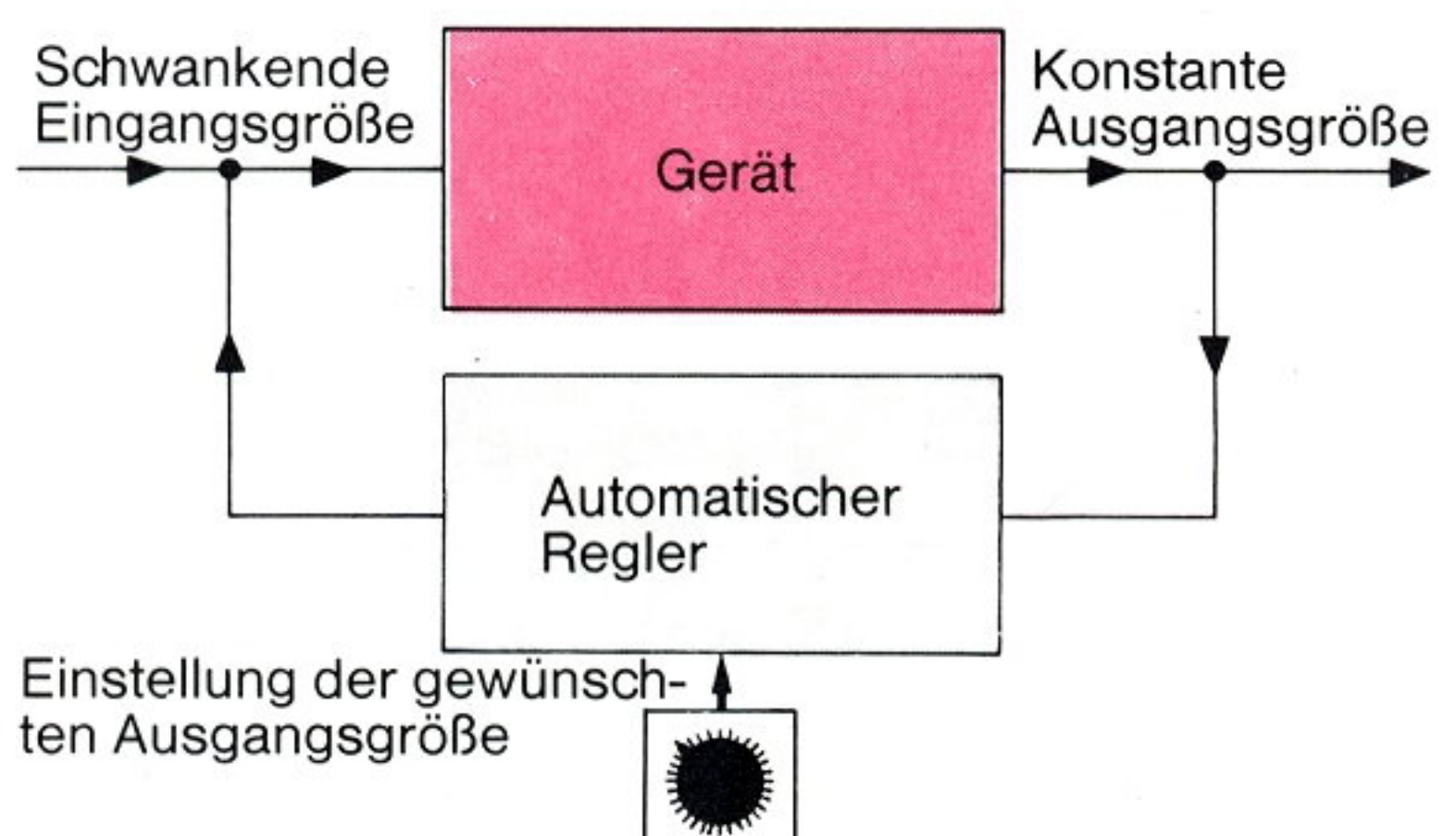


LED- oder LCD-Uhren sind, wie auch Taschenrechner, digitale Instrumente. Die gemessenen Werte werden in Zahlen ausgedrückt.

bei dem die Abweichung von einem gewünschten Wert so beeinflußt wird, daß sich die Abweichung verringert und wieder möglichst nahe an den Ursprungswert herankommt. Man stellt also lediglich den gewünschten Wert von Hand ein, alle weiteren Regelvorgänge laufen danach automatisch ab.

Wechselspannungen mit wellen- oder impulsförmigem Verlauf, wie z. B. Sinusschwingungen oder Musiksignale, heißen analoge Signale.

Bei ihnen wird der Augenblickswert durch die jeweilige Amplitude ausge-



Im Regelkreis wird die gewünschte konstante Ausgangsgröße durch das ausgleichende Arbeiten des elektronischen Reglers bewirkt.

drückt. Man kann diese augenblicklichen Werte mit Zeigerinstrumenten messen; ein Beispiel ist die Aussteuerungsanzeige bei HiFi-Cassettenrecordern. Auch bei einer Zeigeruhr handelt es sich um ein Analog-Gerät.

Digitale Signale dagegen bestehen aus rechteckförmigen Impulsen, die bekanntlich nur zwei festgelegte Amplitudenwerte haben. Erzeugt werden diese Rechtecksignale in den schon erwähnten Transistorschaltungen, aber auch integrierte Schaltkreise kann man als Oszillator verwenden. Das Verarbeiten derartiger Signale ist sehr einfach, es erfolgt sozusagen nach einer Schritt-für-Schritt-Methode, bei der die elektrischen Impulse gezählt werden.

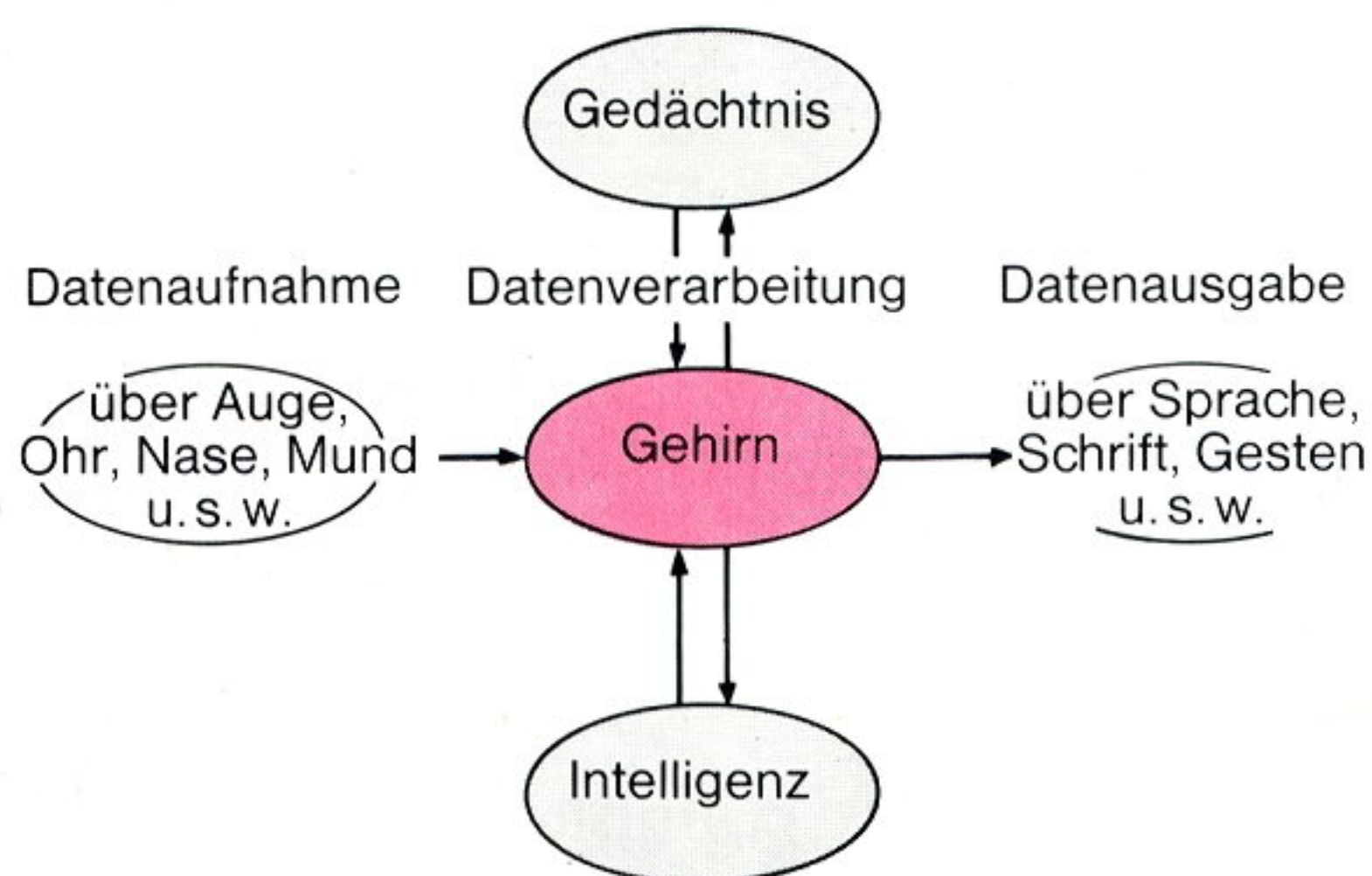
Zum Anzeigen des Resultats eignen sich allerdings keine Zeigerinstrumente. Man verwendet statt dessen eine Ziffernanzeige, die auch Digitalanzeige genannt wird. Sie sind entweder leuchtend rot auf dunklem oder dunkel auf hellem Hintergrund. Die roten Ziffern heißen *LED*-Anzeige. Die Abkürzung bedeutet „Light Emitting Diode“, Leuchtdiode. Da Leuchtdioden viel Strom verbrauchen, erscheint die Angabe nicht ständig, sondern muß durch einen Druck auf einen Knopf ausgelöst werden.

LCD-Anzeigen (Liquid Crystal Display = Flüssigkristallanzeige) leuchten dagegen ständig, weil sie wenig Strom verbrauchen. Diese Anzeigenart ist aber komplizierter und daher teurer. Wir finden beide Arten bei Taschenrechnern, Radios, elektronischen Uhren und vielen Meßgeräten.

Daten sind Informationen. Information ist alles, was uns in irgendeiner Form übermittelt wird, z. B. gesprochene oder geschriebene Wörter und Sätze, Zahlen, Zeichnungen und

Bilder. Doch nicht nur beim Lesen und Hören, sondern auch beim Fühlen, Schmecken und Riechen nimmt der Mensch Daten auf und speichert diese in seinem Gedächtnis. Beim Sprechen werden Daten ausgegeben, ebenso beim Schreiben und Zeichnen, aber auch durch andere menschliche Ausdrucksmöglichkeiten.

Zwischen Datenaufnahme und Datenausgabe liegt die eigentliche Datenverarbeitung. Sie findet im Gehirn statt: Der Mensch denkt. Dafür werden verschiedene Funktionen ausgelöst, die man z. B. mit Ordnen, Kontrollieren, Vergleichen und Entscheiden bezeich-



Nach diesem Schema werden im menschlichen Gehirn Informationen aufgenommen und verarbeitet.

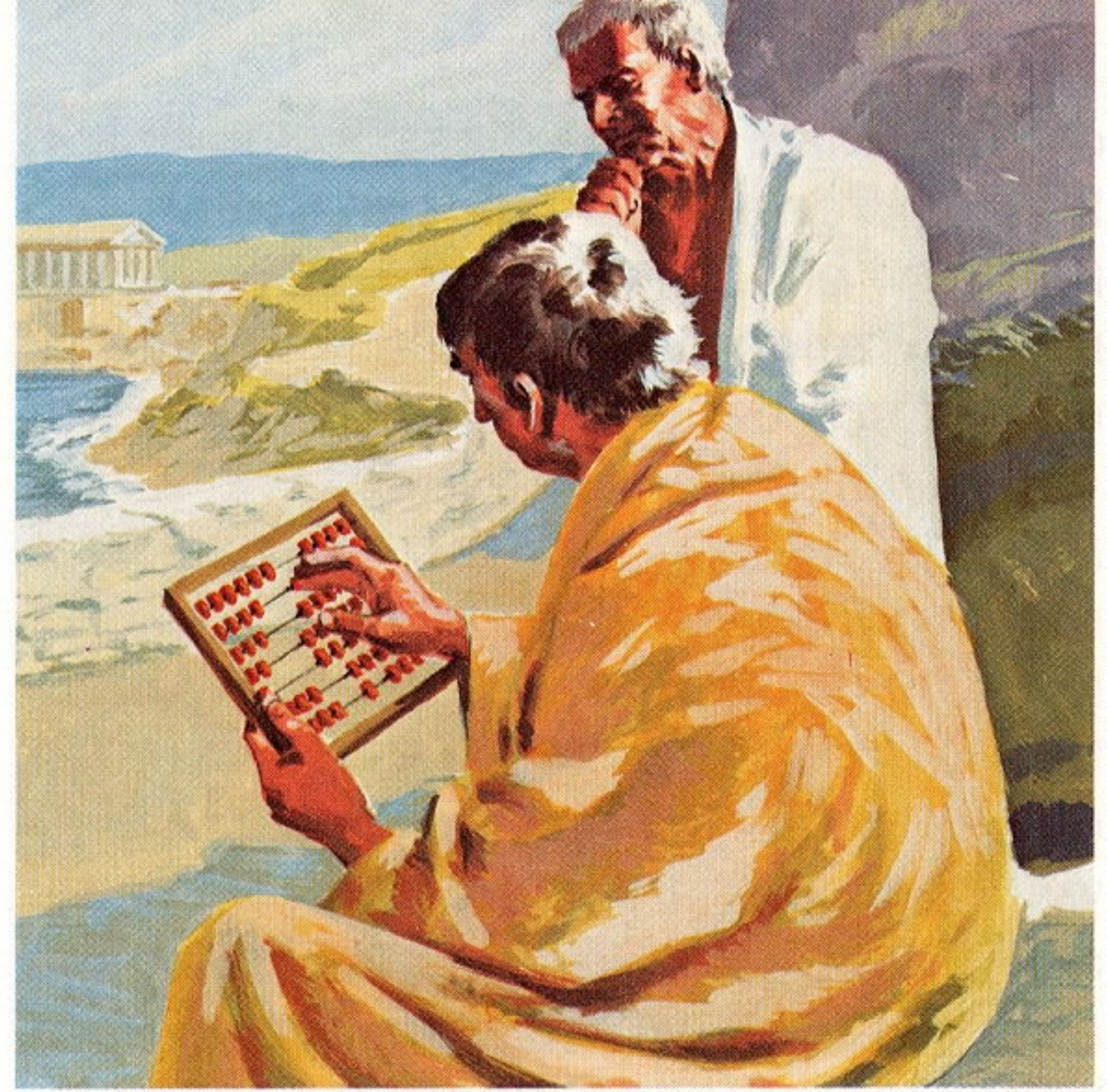
nen kann. Er holt aus seinem Gedächtnis die für den betreffenden Vorgang notwendigen Regeln und Anweisungen und steuert nach diesem „Programm“ den Ablauf der Aufgabe.

Die Lösung kann anschließend wieder im Gedächtnis gespeichert oder über die schon erwähnte Datenausgabe an die Umwelt weitergegeben werden. Natürlich kann der Mensch auch „fremde“ Speicher benutzen (Notizblock, Karteien, Diktiergerät), um sein Gedächtnis zu entlasten. Nicht nur die Datenspeicherung kann man sich durch Hilfsmittel erleichtern, auch die Datenverarbeitung muß nicht in allen Einzelheiten im Gehirn vor sich gehen. Einfache Hilfsmittel zur Datenverarbeitung sind z. B. Rechenschieber oder elektronische Taschenrechner.

Wie werden Daten verarbeitet?



Die erste Rechenmaschine der Welt war die menschliche Hand. Von den zehn Fingern abgeleitet, entstand das metrische Zehnersystem.



Schon die Alten Griechen und Römer rechneten mit dem Abakus. Dieses Rechenbrett wird noch heute in Teilen Asiens zum Rechnen benutzt.

Das englische Wort *Computer* heißt

Was ist ein Computer?

auf deutsch auch „Rechner“. Streng genommen kann ein Computer aber viel mehr als nur rechnen: Er ver-

arbeitet Daten. Da er dies mit Hilfe einer sehr komplizierten Elektronik macht, bezeichnet man ihn auch als Elektronische Datenverarbeitungsanlage, abgekürzt *EDV-Anlage*.

Einem Computer werden Daten zur Verarbeitung in Form von Zahlen, Buchstaben und Zeichen eingegeben. Nach der Verarbeitung der Daten werden die Ergebnisse wiederum meist in Ziffern, Buchstaben und Zeichen ausgegeben, die zusammengekommen sinnvolle Aussagen darstellen. Die Daten werden auch nach einem bestimmten *Programm* verarbeitet, das jeweils auf die zu lösende Aufgabe abgestimmt ist. Deshalb nennt man Computer auch programmgesteuerte elektronische Rechenmaschinen.

Sie nehmen dem Menschen heute eine ungeheure Menge von langwierigen Routinearbeiten ab (von der Bestandskontrolle eines Lagers bis hin zum automatischen Schreiben von Rechnun-

gen), helfen ihm aber auch bei ganz ausgefallenen und schwierigen Projekten (im Forschungslabor, Konstruktionsbüro, Satellitenberechnungen), weil sie in ganz kurzer Zeit unheimlich schnell etwas ausrechnen können, wozu ein guter Mathematiker vielleicht Monate oder Jahre braucht.

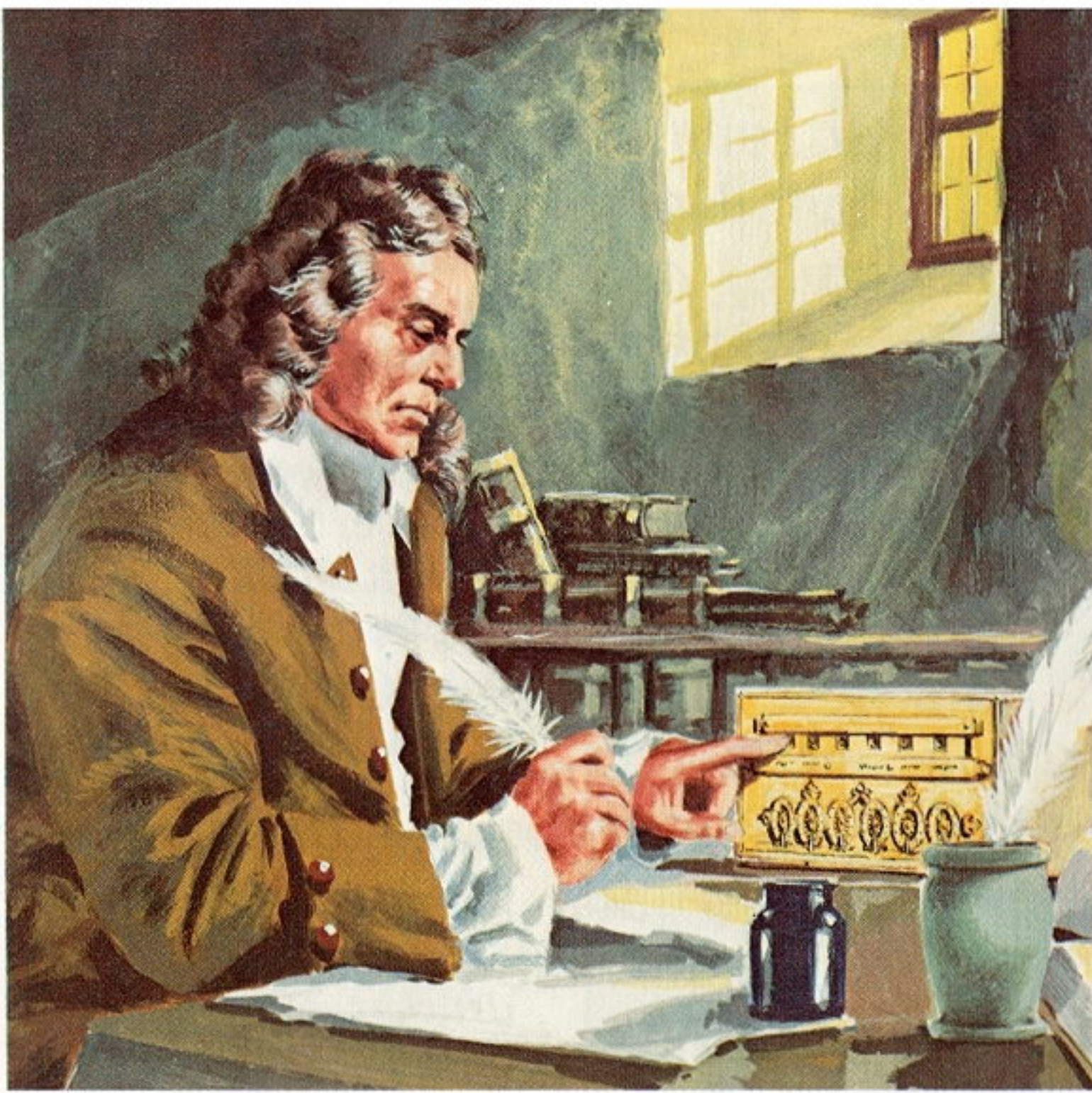
Es gibt heute viele Arten von Computern. Neben den wenigen Großanlagen, die z. B. in einem Raumflugzentrum oder bei einer Regierungsbehörde stehen können, gibt es viele mittelgroße Computer, die in allen Bereichen der Wirtschaft, Industrie und Verwaltung gebraucht werden. Und kleine Elektronenrechner findet man heute in gut ausgestatteten Büros genauso wie in Flugzeugen und Fabriken.

Die Arbeitsweise eines Computers ähnelt weitgehend dem menschlichen Arbeitsprinzip.

Wie arbeitet der Computer?

Auch hier werden zunächst Daten eingegeben, wo-

bei die verschiedenen Informationen (z. B. vom Lochstreifen oder von der Lochkarte, vom Magnetband oder von der Magnetplatte) in eine vom Com-



Um 1640 baute der Mathematiker Blaise Pascal eine mechanische Rechenmaschine. Sie funktionierte nicht — wegen technischer Mängel.

puter lesbare elektrische Signalfolge umgewandelt werden. Diese „Machinesprache“ besteht aus elektrischen Impulsen digitaler Art und ist unglaublich einfach aufgebaut: Sie besteht nur aus einer Folge von zwei Zeichen, nämlich 1 und 0, die durch die elektrischen Zustände „Spannung vorhanden“ und „Spannung nicht vorhanden“ dargestellt werden. Mit diesen beiden Zeichen kann der Computer auch die kompliziertesten Aufgaben lösen. Weil nur zwei Größen verwendet werden, nennt man das darauf beruhende Zahlensystem „Dualsystem“ oder „Binärsystem“; im normalen täglichen Leben gebrauchen wir ja das Dezimalsystem mit 10 Zahlen.

Elektrische 0- und 1-Impulse nennt man *Bits*. Ein *Bit* ist also die kleinste elektronische Signal-Portion, die ein Computer verarbeiten kann. Man faßt sie meistens zu Einheiten von acht Bits zu einem *Byte* zusammen. Je nachdem, wie viele 0- oder 1-Impulse und in welcher Reihenfolge sie in einem *Byte* enthalten sind, bedeuten sie einen Buchstaben, eine Ziffer oder ein Zeichen. Und nun braucht man sie eigentlich nur noch in den Computer einzugeben, dann kann er loslegen!

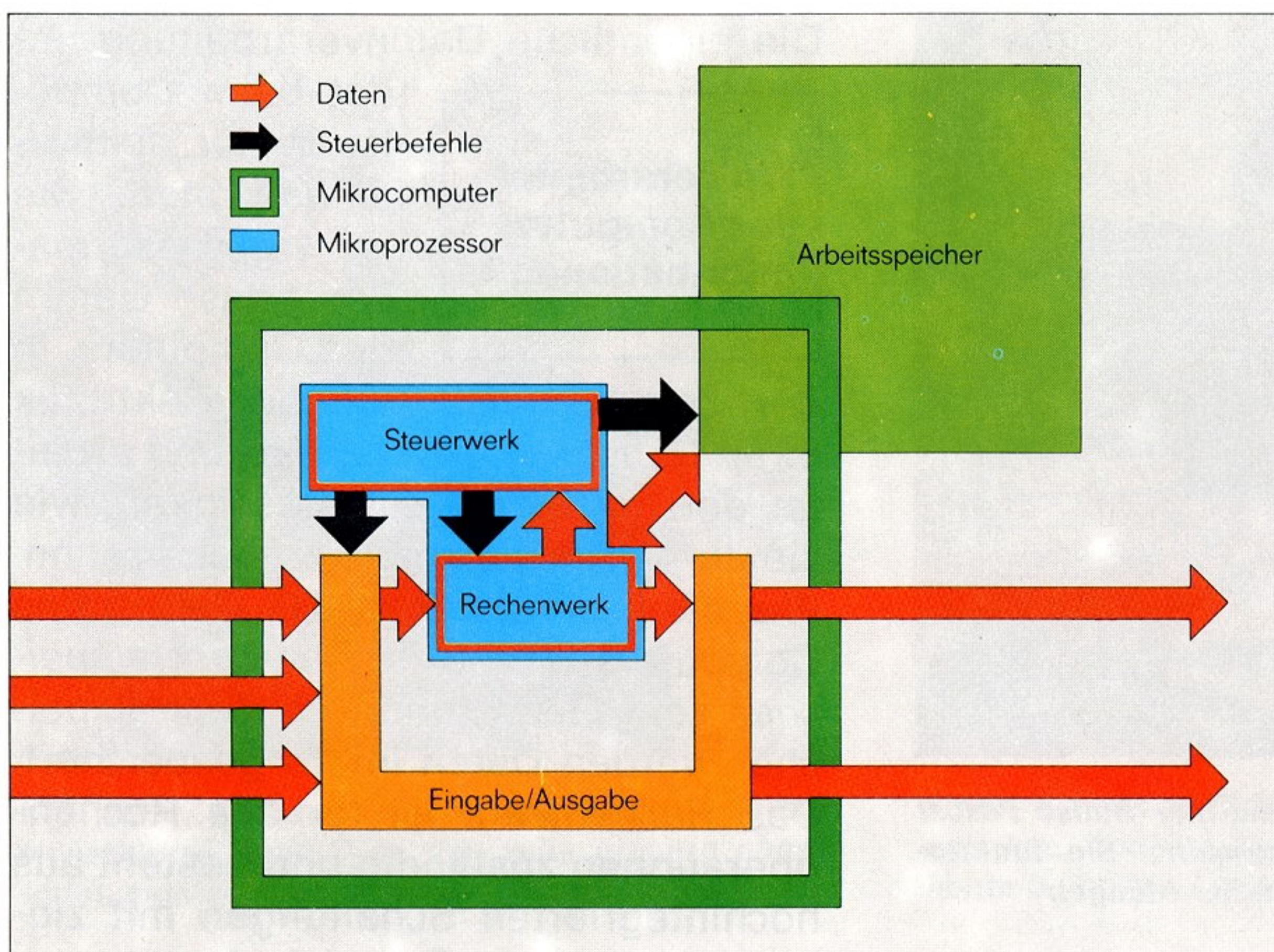
Die eigentliche Datenverarbeitung findet beim Computer in der *Zentraleinheit* statt. Sie ist gewissermaßen das Gehirn des Computers. In der Zentraleinheit hat die Elektronik ihren Hauptwirkungsbereich und arbeitet dort mit einer Zuverlässigkeit, wie sie der Mensch niemals erreichen kann. Wie die Zentraleinheit das Gehirn des Computers ist, so ist der *Zentralspeicher* sein Gedächtnis. Im Zentralspeicher werden Daten intern gespeichert. Das *Rechenwerk* ist für alle Rechenoperationen zuständig und besteht aus hochintegrierten Schaltungen mit zigtausenden von Transistorfunktionen. Das *Steuerwerk* schließlich führt gewissermaßen Regie bei der Datenverarbeitung. Es sorgt dafür, daß Daten eingelesen, nach Programm verarbeitet und ausgegeben werden.

Wo verarbeitet der Computer Informationen?

Wenn ein Computer bestimmte Informationen verarbeiten soll, beispielsweise die Lohnabrechnung eines Betriebes, dann benötigt er dazu Daten, wie die Namen der Lohnempfänger, Zahl der geleisteten Arbeitsstunden, Stundenlohn, Lohnsteuersätze usw. Diese Daten stellt man ihm beispielsweise auf Lochkarten zur Verfügung. Aber noch kann der Computer nicht an die Arbeit gehen, denn noch weiß er ja nicht, was er mit den Daten anfangen soll, auch nicht, wie eine Lohnabrechnung vor sich geht, ja sogar nicht einmal, daß er eine Lohnabrechnung machen soll.

Warum braucht man Programme?

Der Computer braucht deshalb ein *Programm*, das ihm in allen Einzelheiten und in kleinen Schritten genaue Anweisungen gibt, wie er was mit welchen Daten machen soll. Bevor der



Die Zentraleinheit eines Computers entspricht etwa dem menschlichen Gehirn. Die Daten werden über Tasten, Lochstreifen oder Magnetbänder in Form von Zahlen, Wörtern, Meßwerten oder Schalterstellungen an das Rechenwerk gegeben und mit Hilfe des Arbeitsspeichers und des Steuerwerks verarbeitet. Die Ergebnisse werden über Sichttafeln, Schnelldrucker, Magnetbänder oder Lochkarten ausgegeben. Der Computer arbeitet bedeutend schneller und fehlerloser als das menschliche Gehirn.

Computer das Programm mit den „Befehlen“ nicht kennt, kann er die Aufgabe nicht durchführen. Natürlich muß man das Programm vorher entwerfen (das macht der Programmierer), es dann z. B. auf Lochkarten übertragen und schließlich über den Lochkartenleser in den Zentralspeicher einlesen. Bei der Datenausgabe erfolgt dann die Rückwandlung der Maschinensprache in eine dem Menschen geläufige Darstellung. Man kann die Ergebnisse beispielsweise von einem Schnelldrucker auf Papier „schwarz auf weiß“ erhalten oder vom Bildschirm ablesen.

Das Schema des Dualsystems ist einfach. Da es nur die beiden Dualziffern 1 und 0 gibt, setzen sich alle Zahlen aus diesen Ziffern zusammen:

Dezimalzahl	Dualzahl
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

Wichtig: Dualzahlen werden anders als beim Dezimalsystem ausgesprochen; 101 z. B. heißt „Eins-Null-Eins“ und nicht etwa hundertundeins!

Beim Addieren von Dualzahlen verfährt man ähnlich wie beim Dezimalsystem, ein entstehender Übertrag wird in der vorderen Spalte mitaddiert. Allerdings passiert dies schon, wenn man 1 und 1 zusammenzählt, was 10 (Eins-Null) ergibt und der Dezimalzahl 2 entspricht. Beispiel: 4 und 6 sollen addiert werden.

$$\begin{array}{r}
 100 (= 4) \\
 + 110 (= 6) \\
 \hline
 1010 (= 10)
 \end{array}$$

Wie „rechnet“ ein Rechner?

Es wurde schon erwähnt, daß eine elektronische Datenverarbeitungsanlage mit nur zwei Größen arbeitet, die man im Dualsystem mit 1 und 0 bezeichnet und für die bei der elektrischen Impulsdarstellung die Buchstaben H für 1 und L für 0 verwendet werden. H (von engl. high = hoch) steht für „Spannung vorhanden“ und L (von engl. low = niedrig) für „Spannung nicht vorhanden“.

Im Computer können alle bekannten

**Mit welchen
Rechenverfah-
ren arbeitet
der Computer?**

Rechenoperationen durchgeführt werden, wobei zur Lösung der Aufgaben aber stets Additions- oder

Subtraktionsverfahren benutzt werden. Das erfordert zwar eine große Menge elektronischer Schalter, Zähler, Addierer, Speicher und anderer Bauelemente, ermöglicht aber den technisch einfachsten Weg der Ausführung.

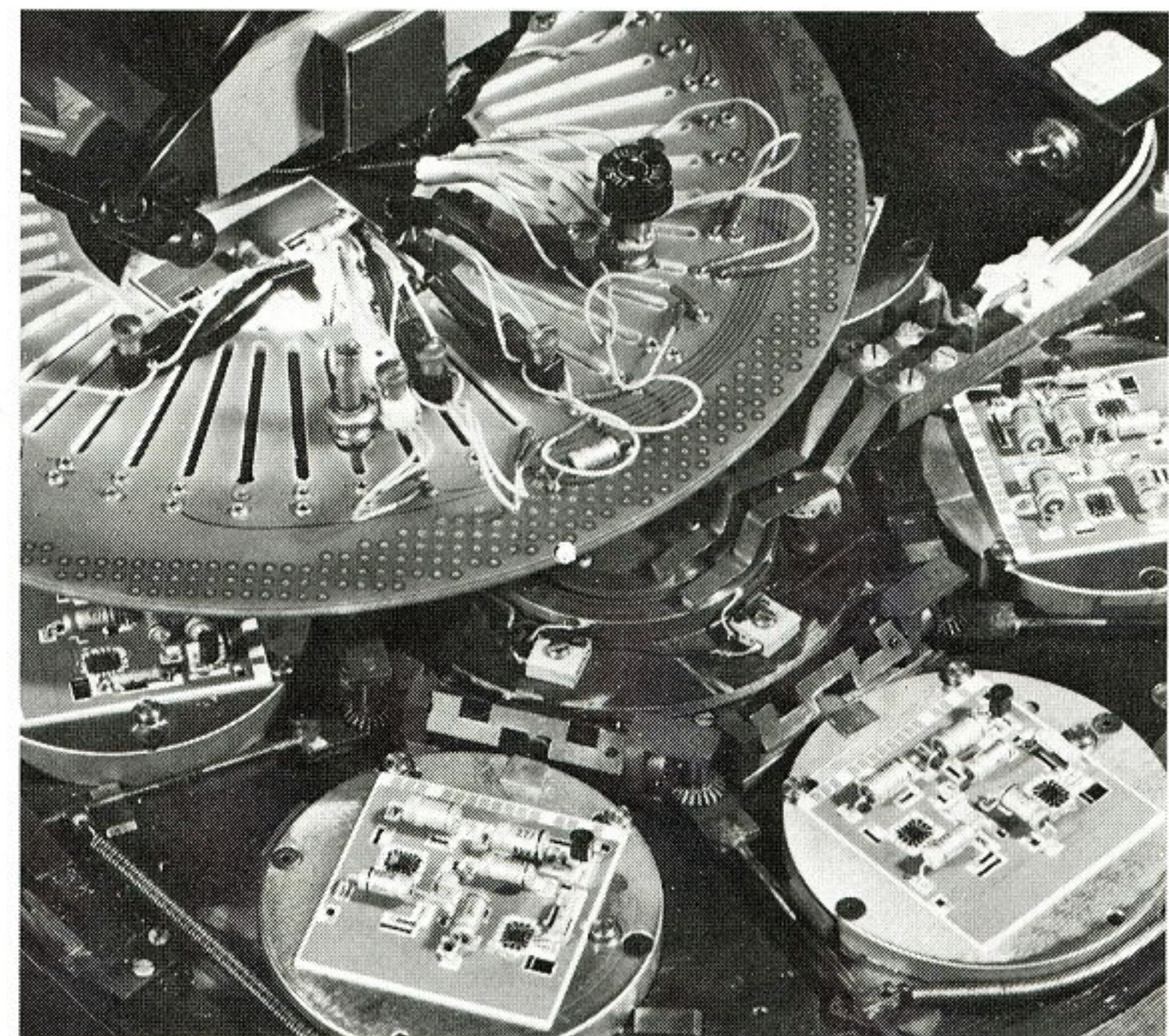
Leider ist es nicht möglich, die sehr verzwickten und komplizierten Zusammenhänge eines Rechengangs im Computer hier verständlich zu erläutern. Bei aller Einfachheit des verwendeten Zahlensystems ist der elektronische Aufwand nämlich sehr umfangreich. Selbst auf dem nur wenige Millimeter großen Chip eines Taschenrechners sind Hunderte oder Tausende von elektronischen Schaltfunktionen untergebracht.

Dort ist auch das Arbeitsprogramm gespeichert. Es wurde schon bei der Herstellung des Rechner-Chips auf fotochemischem Weg durch Zusammenschluß verschiedener leitender und nicht leitender Verbindungen eingegeben und bleibt dort unveränderbar erhalten.

Vom Prinzip her werden beim elektronischen Rechnen die eingangs erwähnten H- und L-Impulse zusammengezählt. Bei der vorliegenden Aufgabe $4 + 6 = 10$ wären das eine HLL-Folge (100) und HHL-Folge (110), die zusammen die neue Reihe HLHL (1010) ergeben. Wenn man bei einem Taschenrechner also die Tasten (4) (+) (6) (=) drückt, werden in der elektronischen Schaltung zunächst die Impulsfolgen 4, + und 6 erzeugt, dann der Addiervorgang durchgeführt, an den sich das Umwandeln der Dualsumme in die Dezimalzahl und deren Anzeige im Ergebnisfeld anschließen.

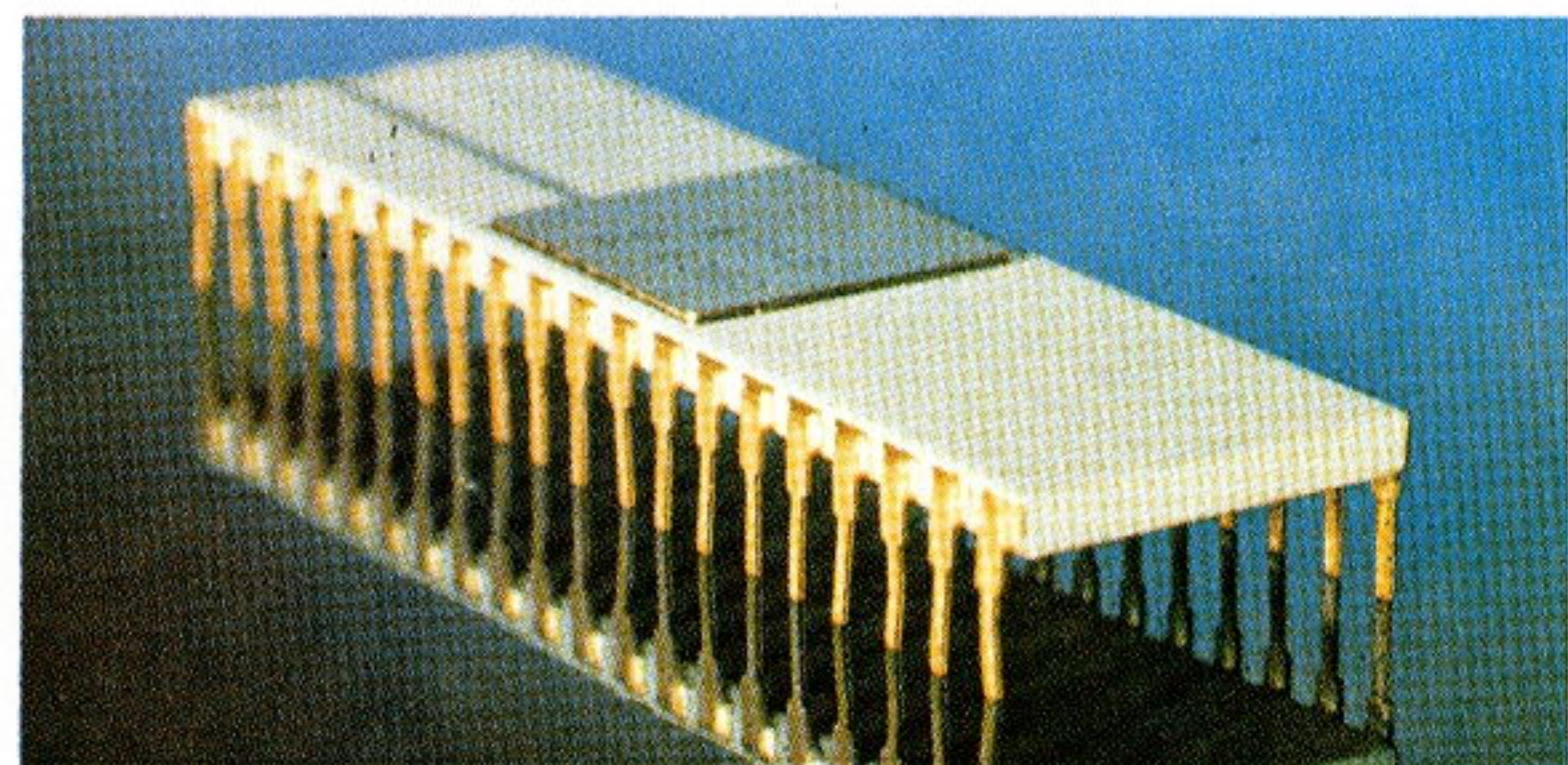


Das „Innenleben“ eines IC wird meist mit Hilfe eines Computers in vergrößertem Maßstab entworfen.

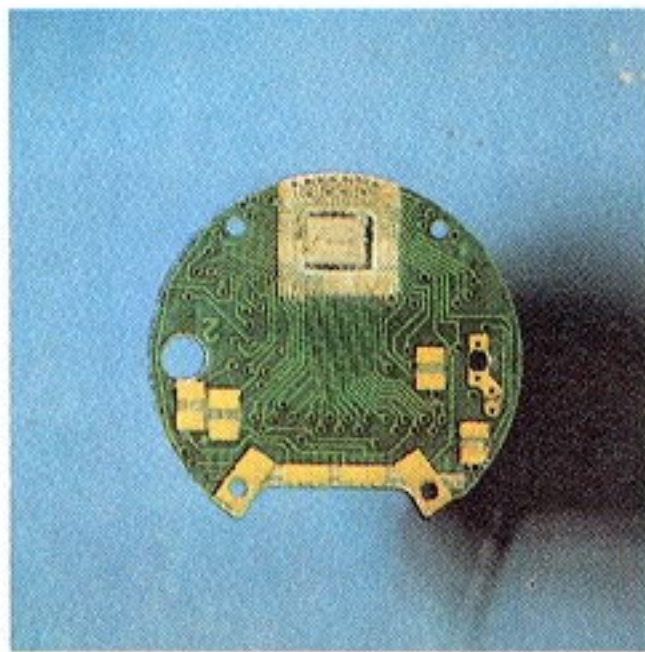


Das IC ist hier bereits in einem Modul (Funktions-einheit) enthalten und wird mit einem Laserstrahl auf höchste Genauigkeit gebracht.

Mit seinen vielen Anschlüssen sieht der Mikroprozessor wie ein elektronischer Tausendfüßler aus.

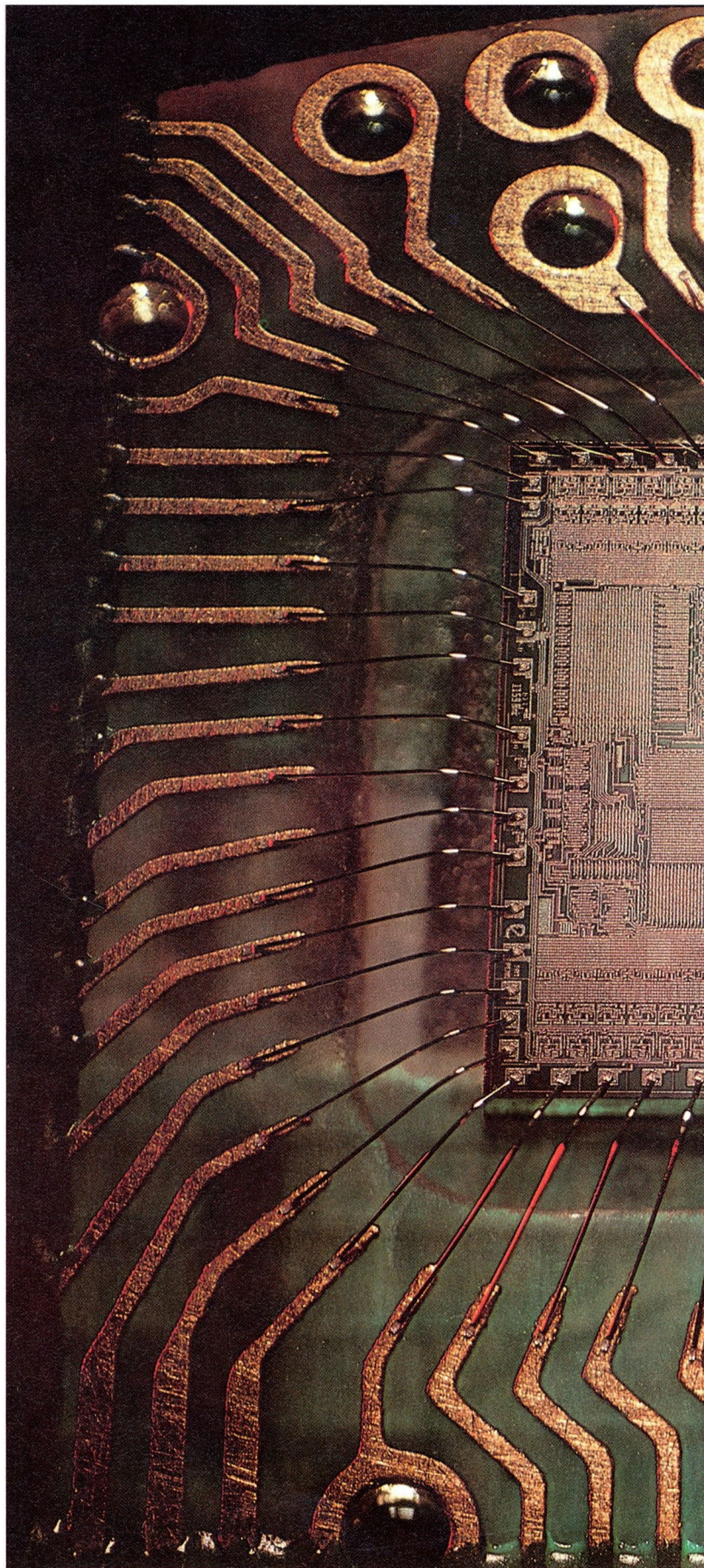


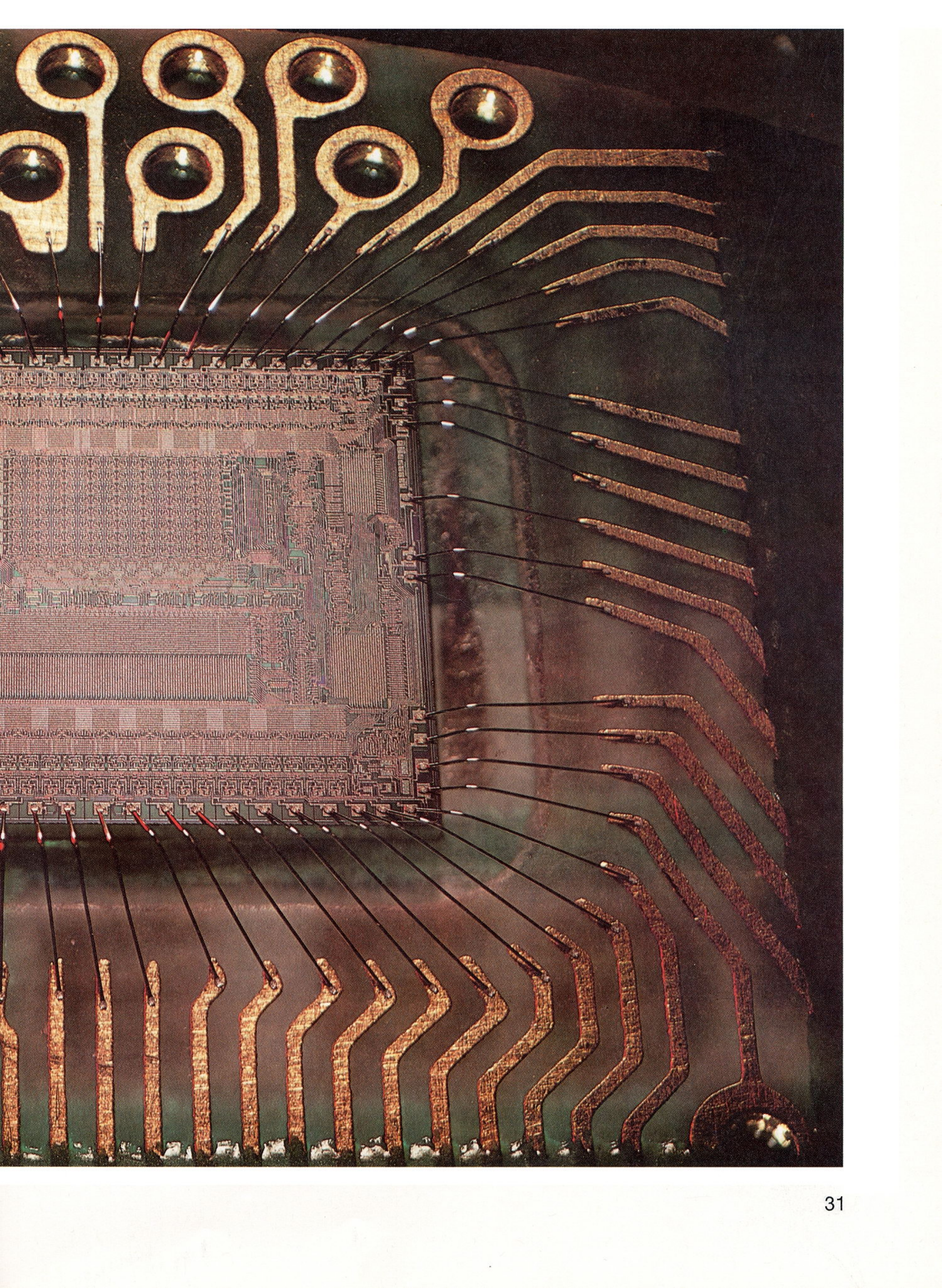
Wie eine Quarzuhr funktioniert



Die hoch integrierte Schaltung in einer Quarz-LCD-Uhr (hier in Originalgröße) ist kaum größer als ein Fünf-Mark-Stück. Ihr Gehirn ist der 4 x 5 mm große „Chip“ mit fast 10 000 elektronischen Schaltern (rechts stark vergrößert).

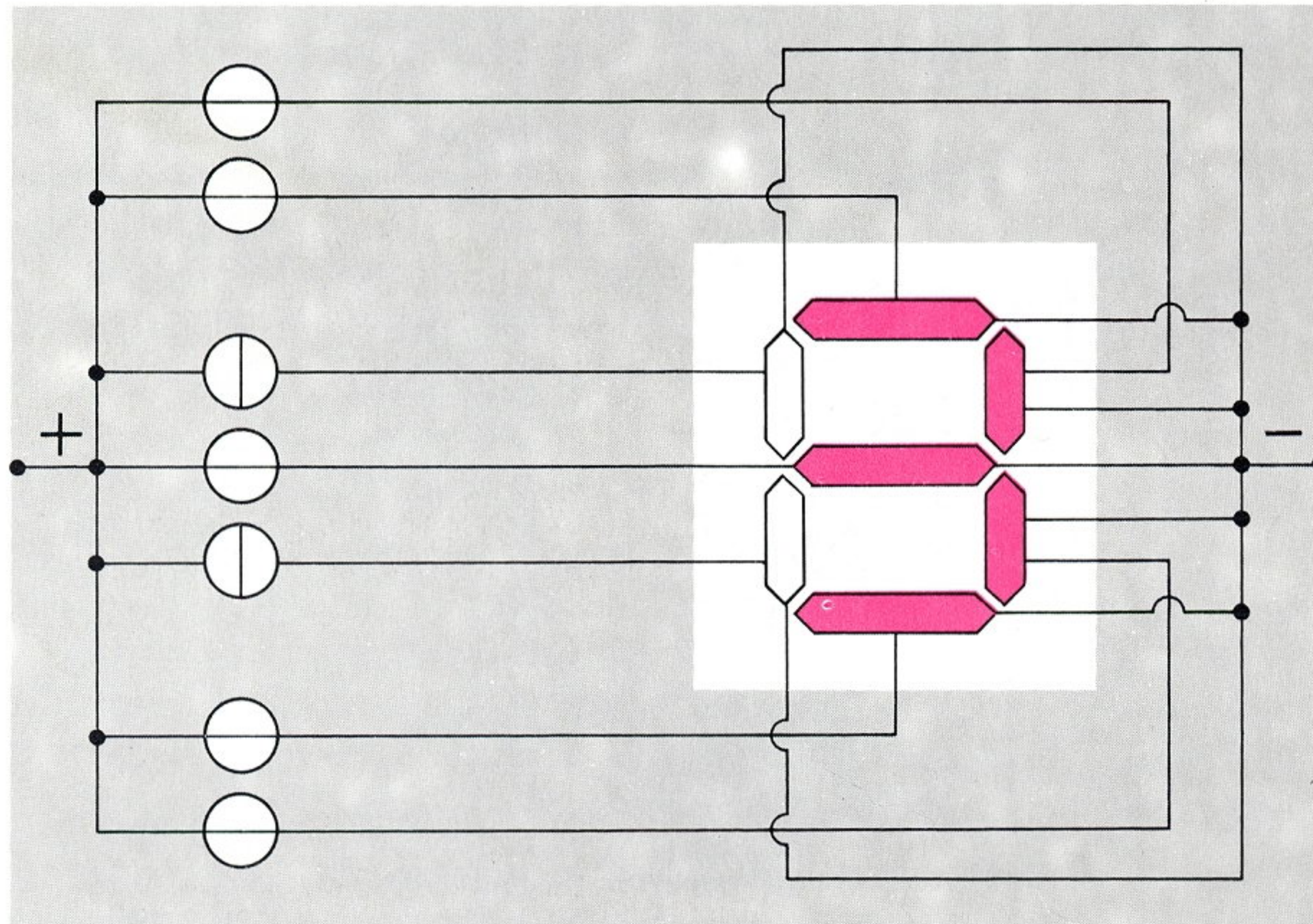
Vor etwa 100 Jahren entdeckte der französische Physiker Pierre Curie (der später mit seiner Frau Marie die radioaktiven Elemente Polonium und Radium fand), daß Kristalle zu schwingen beginnen, wenn man sie unter Strom setzt. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde kann man beliebig verändern: Je stärker die Stromspannung, desto höher die Schwingungszahl.





Im Jahr 1933 griffen die deutschen Physiker Adelberger und Scheibe Curies Idee auf und bauten die erste Quarzuhr der Welt. Dieses Wunderwerk an Präzision ging in einer Million Tagen (2737,8 Jahre) nur eine Sekunde nach. Adelberger und Scheibe setzten einen Quarzkristall so unter Strom, daß er genau 32 768mal pro Sekunde schwang. Jede Schwingung verursachte einen elektrischen Impuls, der an einen „Teiler“ weitergeleitet wurde. Der Teiler

Weltraum zu erforschen. Der Zwang, zahllose elektronische Geräte in engen Weltraumkapseln unterbringen zu müssen, führte zu einer technischen Revolution: An die Stelle der Transistoren trat der „Chip“, ein oft nur wenige Quadratmillimeter großes Halbleiterplättchen aus Silizium, auf dem bis zu 80 000 Schaltungen angebracht werden konnten. Der Weg zu den elektronischen Mini-Uhren und vielen anderen Anzeige- und Meßgeräten war frei.



Jede Ziffer einer LCD-Uhr besteht aus sieben Teilstrichen. Jeder Teilstrich ist mit einer Leitung an den Chip angeschlossen. Wenn durch eine Leitung Strom fließt, leuchtet der dazugehörige Teilstrich auf. Sind alle sieben Leitungen frei, bilden alle Teilstriche die Ziffer 8. Auf unserer Grafik sind zwei Leitungen gesperrt, man sieht die Ziffer 3. Um Stunden und Minuten, durch einen Punkt getrennt, anzeigen zu können, braucht man also 29 Leitungen.

„schluckte“ jeden zweiten Impuls und gab die verbliebenen 16 384 Impulse an einen zweiten Teiler weiter. So wurde nach insgesamt 15 Teilern die Zahl der Impulse schließlich auf je einen pro Sekunde herabgestuft.

Diesen einen Impuls benutzten die beiden Physiker als Antrieb, gleichsam als Ersatz für Uhrfeder und Unruh, die die altgewohnten Uhren antreiben.

Diese erste elektronische Uhr ging zwar ungewöhnlich genau, sie war aber auch ungewöhnlich groß. Mit all ihren Schaltungen aus Spulen, Widerständen und Röhren hatte sie etwa die Maße eines ausgewachsenen Wohnzimmer-schranks.

Dann beschlossen die Amerikaner, den

Was geschieht nun in einer Quarzuhr? Bei analogen, also Zeigeruhren, wird der eine Impuls pro Sekunde verstärkt und treibt einen winzigen Elektromotor, der über ein Räderwerk wie in herkömmlichen Uhren Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger bewegt.

Bei Digitaluhren dagegen bewegt und dreht sich nichts mehr. Hier zählt der Chip die Sekundenimpulse; nach je 60 Impulsen entsteht ein neuer Impuls, der den Minutenzähler speist. Stunden-, Tage- und Monatszähler werden ähnlich betrieben.

Die jeweilige Zeit wird über den Chip auf der Anzeigetafel sichtbar gemacht. Wie das funktioniert, zeigt die Grafik auf dieser Seite.



In diesem Walzwerk überwacht ein Computer mit über 2000 Meßwerten den Produktionsablauf. Er vergleicht ununterbrochen Soll- und Ist-Werte; stimmen sie nicht überein, schlägt er Alarm und zeigt den Fehler an; bei einigen Geräten korrigiert er den Fehler über einen Regler selbst.

Wo man die Elektronik anwendet

Es gibt heute nur noch wenige Bereiche unseres Lebens ohne Elektronik. Sie begleitet uns von morgens bis abends auf Schritt und Tritt, wenn wir ihr Wirken auch nicht überall bewußt wahrnehmen. Ob wir telefonieren, fernsehen oder radiohören – immer ist die Elektronik im Spiel. Doch auch außerhalb unserer Wohnungen sind wir von der Elektronik abhängig: Wie sicher wären Luft- und Seefahrt ohne Radar? Was fingen die Wissenschaftler ohne Elektronenmikroskope an? Wo wäre die Raumfahrt ohne Computer? Nur wenige Beispiele für viele Anwendungen, von denen wir nun einige typischen kennenlernen werden.

Diese Frage kann niemand genau be-

Wo fand die erste Radiosendung statt?

antworten. Wohl alle Versuche zum Aussenden von elektromagnetischen Wellen waren auch mit Empfangseinrichtungen gekoppelt, denn

anders konnte das drahtlose Übertragen ja nicht nachgewiesen werden. Und kurz nach der Jahrhundertwende begannen in fast allen Ländern der Welt derartige Versuche.

Da war beispielsweise der Amerikaner Fessenden, der im Jahre 1906 einen Hochfrequenzgenerator von 100 kHz mit einem Mikrofon zusammen-

schaltete. Mit den Schallwellen seiner Stimme beeinflusste er über das Mikrofon die Senderwellen. Das gelang auch mit Musik und anderen Klängen. Am Weihnachtsabend 1906 hörten die Funker auf den Schiffen im Atlantischen Ozean jedenfalls zu ihrer Überraschung eine über Funk kommende „Radiosendung“, die aus mehreren Musikstücken und einer Ansprache von Professor Fessenden bestand. Vielleicht war es wirklich das erste Rundfunkprogramm der Welt.

Ungefähr zehn Jahre später probierte man schon Röhrensender aus, und 1920 – wieder zur Weihnachtszeit – wurde in Deutschland das erste Instrumentalkonzert von der Post-Funkstelle Königswusterhausen versuchsweise verbreitet. Es folgten weitere Übertragungen, die dann schließlich 1923 zum Unterhaltungsrundfunk in Deutschland führten.

Radiowellen im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich

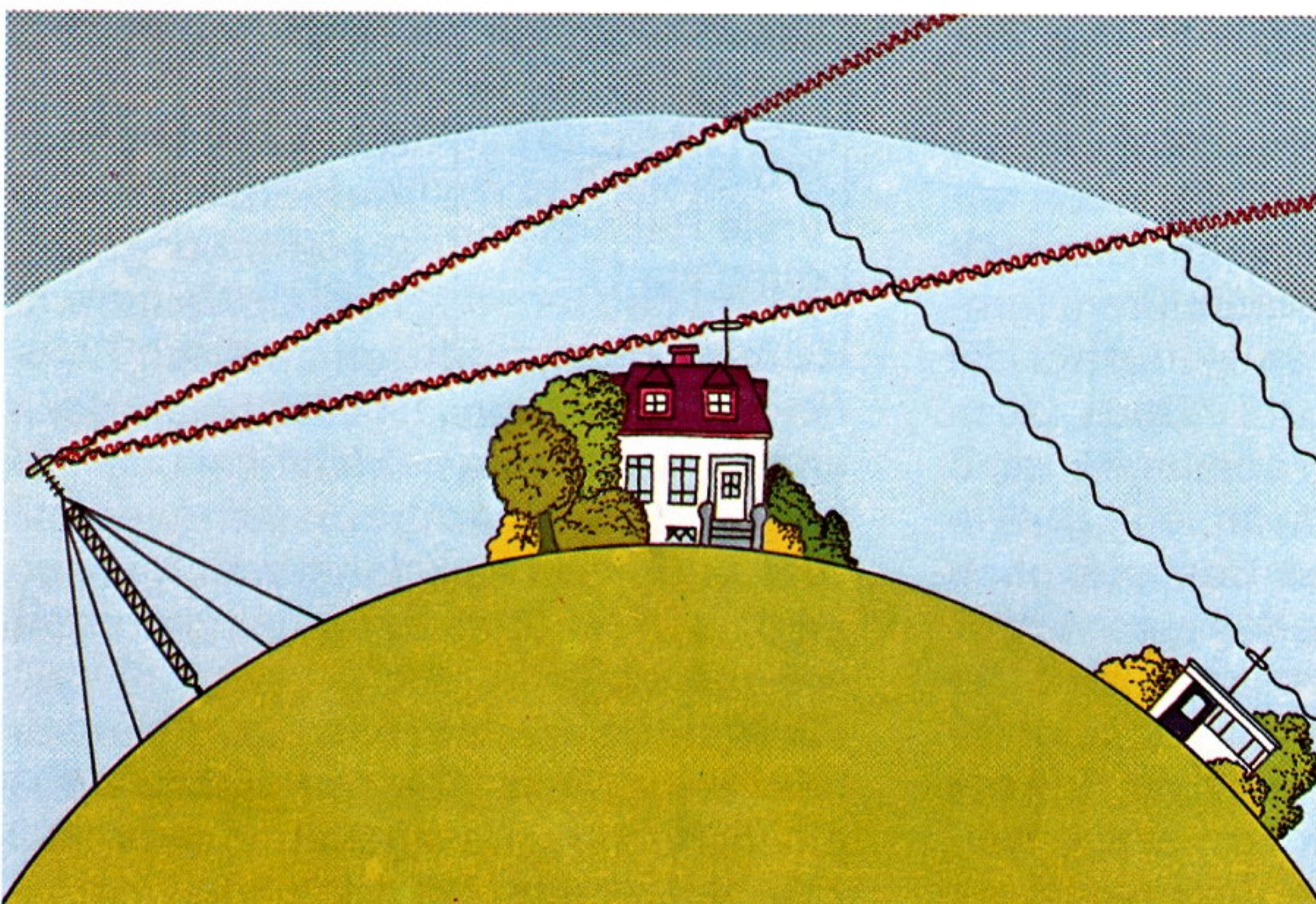
Wie gelangen Radiowellen auf die andere Seite der Erde?

können praktisch jeden Ort der Erde erreichen; die Entfernung spielt keine Rolle. Diese

Wellen können so große Entfernungen

überwinden, weil sie von der sogenannten Ionosphäre reflektiert werden. Diese Region erstreckt sich 50 bis 300 km über der Erdoberfläche und ist angefüllt mit elektrisch geladenen Teilchen. Diese Teilchen sind Atome der Gase, aus denen die Luft besteht, haben jedoch eines oder mehrere ihrer Elektronen verloren und sind daher positiv elektrisch geladen. Sie werden Ionen genannt; nach ihnen hat die Ionosphäre ihren Namen.

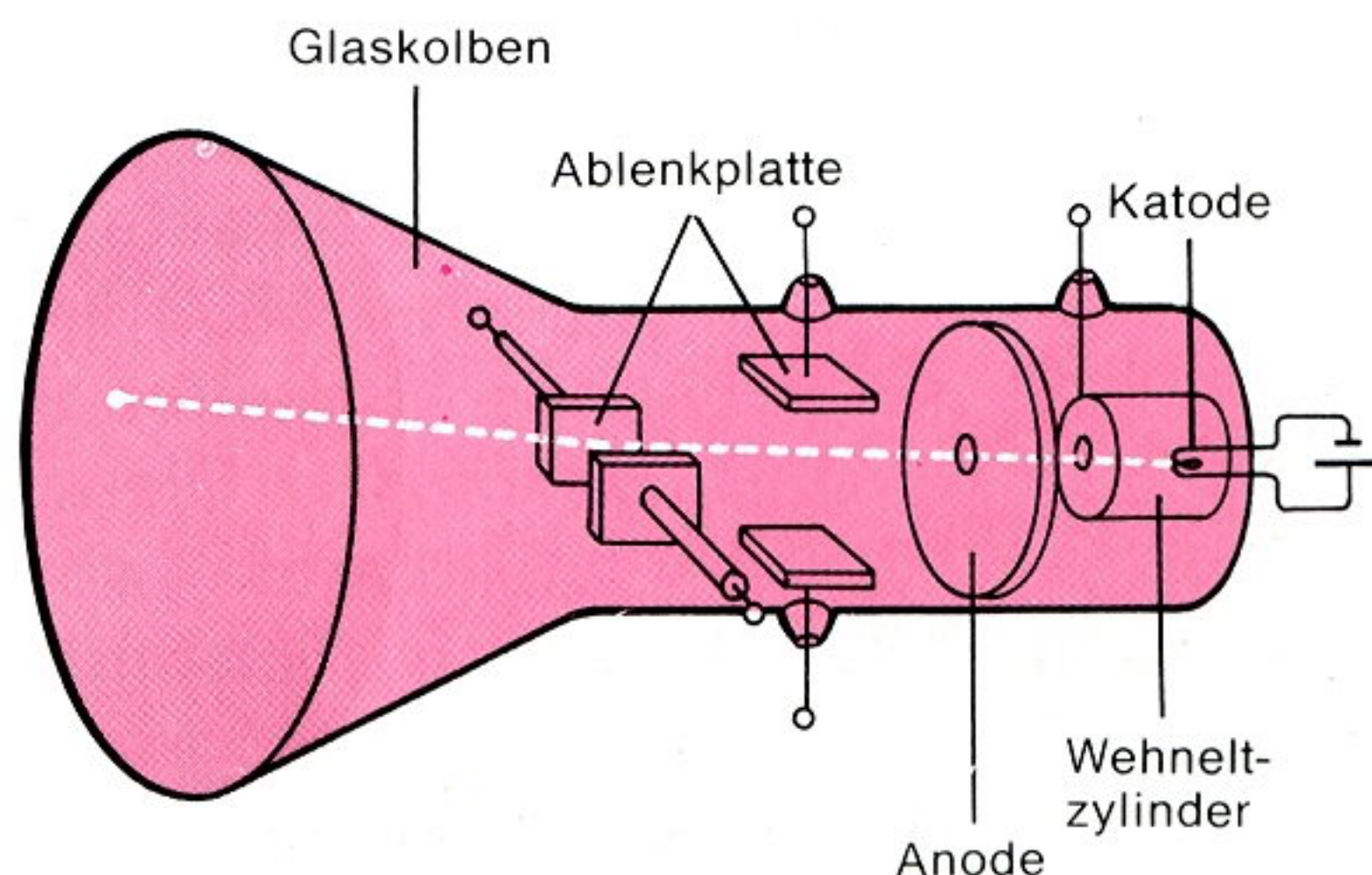
Wenn die von der Sendeantenne kommenden Radiowellen in schräger Linie die Ionosphäre erreichen und zur Erde zurückgeworfen werden, kommen sie viele Kilometer von der Sendestation entfernt wieder zur Erde. Sie werden dann von der Erde wieder zur Ionosphäre reflektiert, und dieses Spiel setzt sich fort, so daß auf diese Weise Radiowellen die ganze Erde umkreisen. Ultrakurze Radiowellen des UKW-Funks und die sehr kurzen Fernsehwellen werden von der Ionosphäre nicht reflektiert. Sie durchdringen sie und können deshalb nicht über weite Entfernungen gesendet werden. Man kann sie nur im Sichtbereich der Sendeantenne empfangen, über den Horizont hinaus wandern sie von der Erdoberfläche in den Weltraum.



Wie Billardkugeln werden Lang-, Mittel- und besonders Kurzwellen immer wieder von der Ionosphäre und der Erdoberfläche reflektiert und erreichen so jeden Ort der Erde. Ultrakurzwellen und die ebenfalls sehr kurzen Fernsehwellen dagegen durchstoßen die Ionosphäre und werden nicht reflektiert. Sie können nur in Sichtweite des Senders empfangen werden.

Das elektronische Innenleben eines Fernsehgerätes ähnelt in vielen Punkten dem eines Radiogerätes. Transistoren, integrierte Schaltungen, Widerstände und Kondensatoren sind hier wie dort auf den Leiterplatten des Chassis zu einer elektronischen Schaltung zusammengefaßt. Fernsehbilder werden nämlich genau wie die Schallwellen beim Radio mit Hilfe von

Wie wird das Fernsehbild gesendet?



Die Bildröhre: Aus der Katode austretende Elektronen werden im Wehnelt-Zylinder zu einem Strahl gebündelt und durch ein Loch in der Anode auf den Schirm geworfen. Dort erscheinen sie als leuchtender Punkt. Auf dem Weg zum Schirm passieren sie ein horizontales und ein vertikales Plattenpaar, die sie je nach anliegender Spannung horizontal oder vertikal ablenken. So wandert der leuchtende Punkt über den Bildschirm.

elektromagnetischen Wellen gesendet, die empfangen und verstärkt werden müssen.

Nimmt im Fernsehstudio eine Fernsehkamera ein bestimmtes Objekt auf, so tritt das von diesem reflektierte Licht durch das Objektiv in die Kamera ein. Hier treffen die Lichtwellen innerhalb einer Spezialröhre auf eine besonders lichtempfindliche Schicht und bilden dort ein elektrisches Ladungsbild ab. Am anderen Ende der Aufnahmeröhre befindet sich eine Katode, von der Elektronen emittiert werden und durch die Röhre zur Schicht fliegen. Dort

wandeln sie das elektrische Ladungsbild in schwache elektrische Ströme um, die in ihrer Stärke ein Abbild des aufgenommenen Objektes sind.

Der Elektronenstrahl schreibt dabei blitzschnell und unaufhörlich horizontale Linien über die lichtempfindliche Schicht und bewegt sich auch noch zweimal in der Sekunde von oben nach unten. Während der ersten *Abtastung* „schreibt“ der Elektronenstrahl $312\frac{1}{2}$ Zeilen waagerechte Zeilen und bei der zweiten Abtastung ebenfalls $312\frac{1}{2}$ Zeilen. Jeder Abtastvorgang dauert $\frac{1}{50}$ Sekunde, so daß die Schicht von beiden Abtastungen in insgesamt $\frac{1}{25}$ Sekunde überstrichen wird.

Die aus der Fernsehkamera herauskommenden schwachen elektrischen Bildsignale werden elektronisch verstärkt und in eine bestimmte Form gebracht. Anschließend „modulieren“ sie eine Trägerwelle und werden mit ihr vom Sender über die Antenne ausgestrahlt.

Der Fernsehempfänger besitzt eine

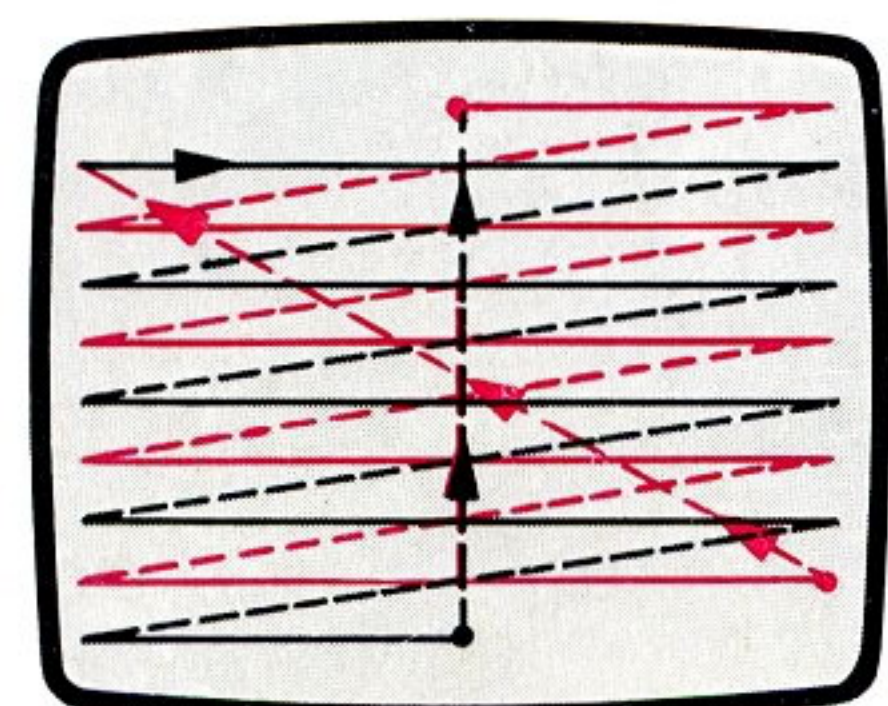
Wie wird das Fernsehbild empfangen?

große Elektronenröhre, die wir allgemein als Bildröhre bezeichnen. Ihr vorderer Teil, der sogenannte

Bildschirm, besteht aus einem Material, das punktwise für kurze Zeit aufleuchtet, wenn es von Elektronen getroffen wird. Ganz hinten in der Bildröhre befindet sich eine Katode zur Elektronenaussendung.

Wenn die vom Sender kommenden Fernsehwellen die Antenne erreichen,

So „schreibt“ der Elektronenstrahl im Zeilensprungverfahren auf dem Bildschirm.



werden sie über das Anschlußkabel zum Fernsehempfänger geleitet. Dort verstärkt man sie und steuert mit den verstärkten Strömen den Elektronenstrahl der Bildröhre, und zwar auf zweifache Weise. Zum einen wird die Richtung des Elektronenstrahls beeinflußt und zum andern seine Stärke. Als Resultat überstreicht der Elektronenstrahl ebenfalls 50mal in der Sekunde den Bildschirm, und dieser leuchtet mehr oder weniger hell auf, wobei er genau das Bild zeigt, das von der Kamera im Studio eingefangen wurde.

Wie kommt es, daß wir ein klares Bild sehen, obwohl in Wirklichkeit nur Streifen von helleren oder dunkleren Punkten über den Schirm laufen? Unser Sehvermögen ist so beschaffen, daß wir optische Eindrücke, die schneller als 25mal in der Sekunde aufeinanderfolgen, als eine fortlaufende Bildfolge wahrnehmen. Für unsere Augen verschmelzen also die sich blitzschnell über den Schirm bewegendenden Lichtzeilen zu einem einzigen Bild.

Wenn unser Fernsehgerät dennoch

**Wie gelangen
Fernsehbilder
auf die andere
Seite der Erde?**

Programme empfangen soll, die auf der anderen Hälfte der Erdkugel gesendet werden, könnte

man die Fernsehwellen durch Drähte um die halbe Erde zu unserer lokalen Sendestation übertragen. Das wäre teuer und umständlich. Die Sendungen könnten auch über weite Entfernungen von Bergspitze zu Bergspitze weitergestrahlt werden; wenn aber große Meere zwischen den Kontinenten liegen, versagte auch diese Methode. Deshalb schuf man vor einer Reihe von Jahren eine bessere Möglichkeit, Fernsehwellen überallhin zu senden: über *Nachrichtensatelliten*.

Der erste Nachrichtensatellit war „Echo I“, ein riesiger Ballon aus Alu-

miniumfolie mit dem Durchmesser eines zehn Stockwerke hohen Gebäudes. Im Sommer 1960 wurde er mit einer Rakete in eine Umlaufbahn um die Erde geschossen. Der Ballon umkreiste die Erde in einer Höhe von etwa 1700 km. Radio- und Fernsehwellen, die den Ballon erreichten, wurden zur Erde reflektiert. Das war noch eine recht simple Methode, aber man konnte immerhin schon Fernsehwellen etwa 5000 km weit ausstrahlen. „Echo I“ verglühte am 24. Mai 1968 in der Erdatmosphäre.

Im Sommer 1962 wurde ein neuartiger

Wie unterscheidet sich „Echo I“ von „Telstar I“?

Nachrichtensatellit auf eine 5600 km hohe Umlaufbahn gebracht. Dieser Satellit erhielt den Namen „Telstar 1“

und war eine kleine Radio- und Fernseh-Sendestation. Anstatt die Sendungen einfach zu reflektieren, empfing „Telstar 1“ Radio- und Fernsehsendungen, zeichnete sie auf Magnetband auf und strahlte sie verstärkt wieder aus. Dieses etwas komplizierte Verfahren war nötig, weil der Satellit sich auf seiner Umlaufbahn fortbewegte und sich jeweils nur kurze Zeit im Sendebzw. Empfangsbereich aufhielt. Er konnte also eine Sendung beim Überfliegen der USA aufzeichnen und sie bei Erreichen der europäischen Küste auf ein Kommando der dortigen Empfangstation wieder abspielen und zur Erde senden.

„Telstar 1“ konnte gleichzeitig ein Programm empfangen und ein anderes ausstrahlen. Wollte eine europäische Sendestation z. B. ein Programm für Amerika übertragen, übermittelte sie ihre Sendung dem Satelliten zur gleichen Zeit, da dieser eine Sendung für die europäische Station ausstrahlte. Dann reiste er weiter um die Erde, bis er die Westküste Amerikas erreichte,

So kommt ein Sportbericht von Deutschland in die USA

Wenn ein wichtiges Ereignis, z. B. ein Basketballspiel, von Deutschland in die USA „life“, also direkt, übertragen werden soll, wird es vom Aufnahmewagen zum nächsten Funkhaus und von dort über „Funkfelder“ wie bei einem Staffellauf drahtlos nach Raisting (Oberbayern) übertragen.

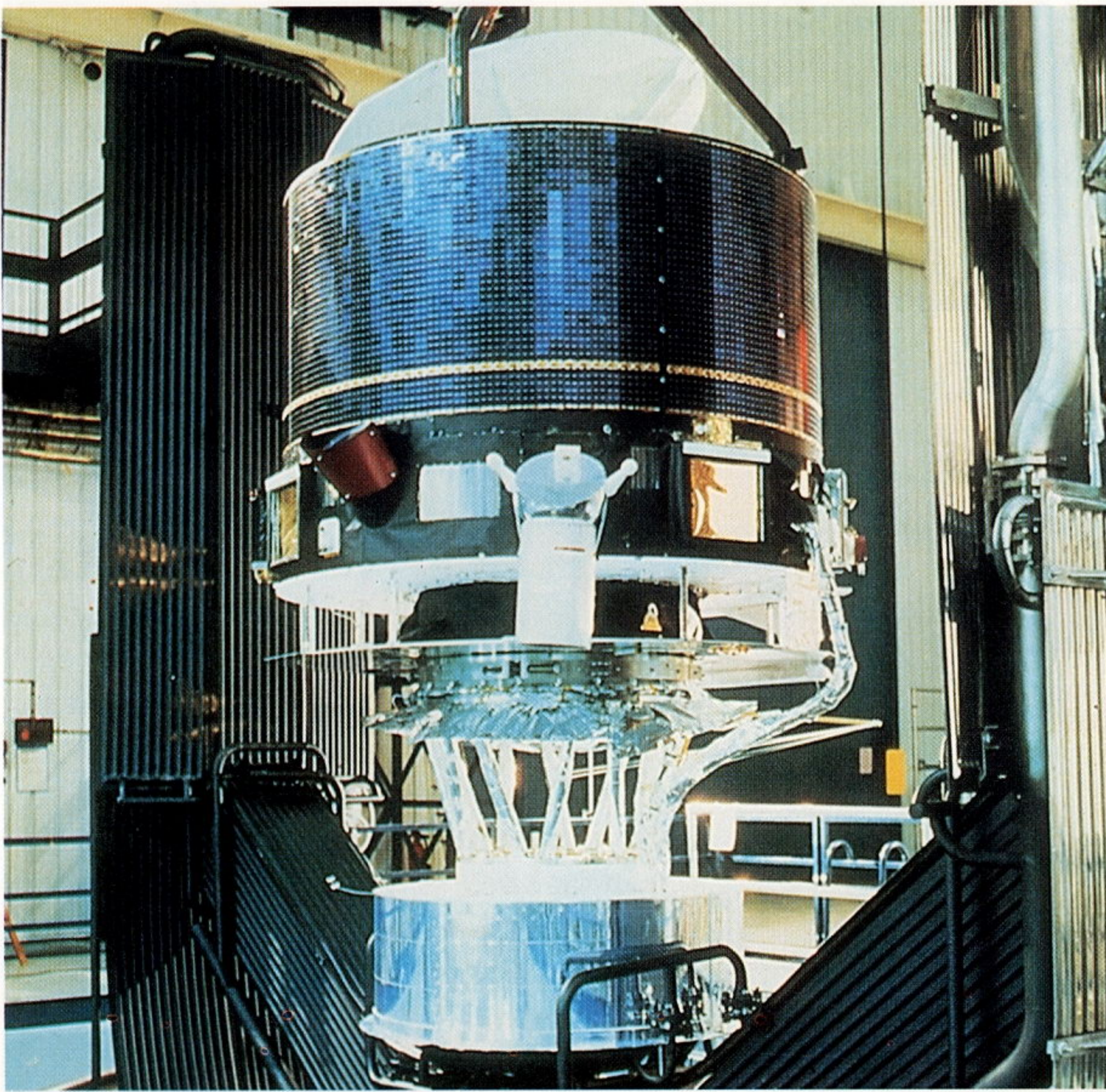


In Raisting steht die Erdefunkstelle der Deutschen Bundespost mit ihrer Antennenanlage. Antenne 1 ist zum Schutz gegen Witterungseinflüsse mit einer wellendurchlässigen Kunststoffhülle verkleidet. Raisting funkt die Sendung zu Intelsat V. Im Hintergrund sieht man den Ammersee.



Sechs Nachrichtensatelliten vom Typ Intelsat V sind über dem Atlantik (3), über dem Pazifik (1) und dem Indischen Ozean (2) „aufgehängt“. Sie empfangen Sendungen und geben sie weiter. In den USA wird die Sendung wieder über Funkfelder im ganzen Land verbreitet und ausgestrahlt.





Um den Kometen Halley aus der Nähe zu erforschen, wurden ihm sechs Satellitensonnen entgegen geschickt. Die europäische Sonde „GIOTTO“ (unser Foto) näherte sich Halley als einzige bis auf wenige hundert Kilometer und übermittelte im Februar 1986 in Computerdaten verschlüsselte Bilder des Kometenkerns und Meßdaten aus dem Schweif. Daraus haben Wissenschaftler neue Erkenntnisse über Herkunft und Zusammensetzung des Kometen gewinnen können. Halley wird erst im Jahr 2062 wieder in Erdnähe kommen.

und strahlte das gespeicherte europäische Programm an die amerikanische Station aus. „Telstar 1“ verstummte im Februar 1963 und ist inzwischen in der Erdatmosphäre verglüht.

Einen anderen Typ von Nachrichtensatelliten gibt es seit 1963. Der erste war „Syncom 1“. Er wurde in eine etwa 36 000 km über der Erde

Wie kann man einen Satelliten am Himmel „aufhängen“?

befindliche Umlaufbahn gebracht. Seine Umlaufgeschwindigkeit war so bemessen, daß sie genau der Erdumdrehung entsprach und er daher stets über der gleichen Stelle der Erdoberfläche blieb; er schien gleichsam am Himmel „aufgehängt“. Aus solcher Höhe konnte dieser Satellit jeden Ort auf einem Drittel der Erdoberfläche mit seinen Sendungen erreichen. Drei solche stationäre, d. h. feststehende Nach-

richtensatelliten, in gleicher Entfernung voneinander können deshalb die ganze Erde mit ihren Sendungen erreichen. Seitdem haben die Amerikaner und die Russen und später auch andere Länder neue, verbesserte Nachrichtensatelliten entwickelt. Die bisher leistungsfähigsten sind die der Serie „Intelsat“, mit denen man zwei Farbfernsehprogramme und 14 000 Telefongespräche gleichzeitig übermitteln kann. Nicht nur Radio- und Fernsehprogramme werden von Nachrichtensatelliten aufgenommen und ausgestrahlt. Sie vermitteln auch transatlantische Telefongespräche, empfangen und senden Fotos, Landkarten und Illustrationen für Zeitungen und Zeitschriften. Ab 1986 werden private Haushalte über einen in 36 000 km Höhe „geparkten“ Satelliten TV-SAT mit einem nur 80 cm großen Parabolspiegel auf dem Hausdach Sendungen auch aus Übersee direkt empfangen können.

Millionen Menschen in aller Welt haben am Fernseher mit-erlebt, wie der US-Astronaut Neil Armstrong am 21. Juli 1969 als erster Mensch den Mond betrat. Die Elektronik und speziell die Computertechnik spielten bei Flug und Landung eine überragende Rolle. Doch auch die Übertragung der Fernsehbilder vom Mond zur Erde war eine Glanzleistung.

Was senden die Sonden aus dem Weltraum?

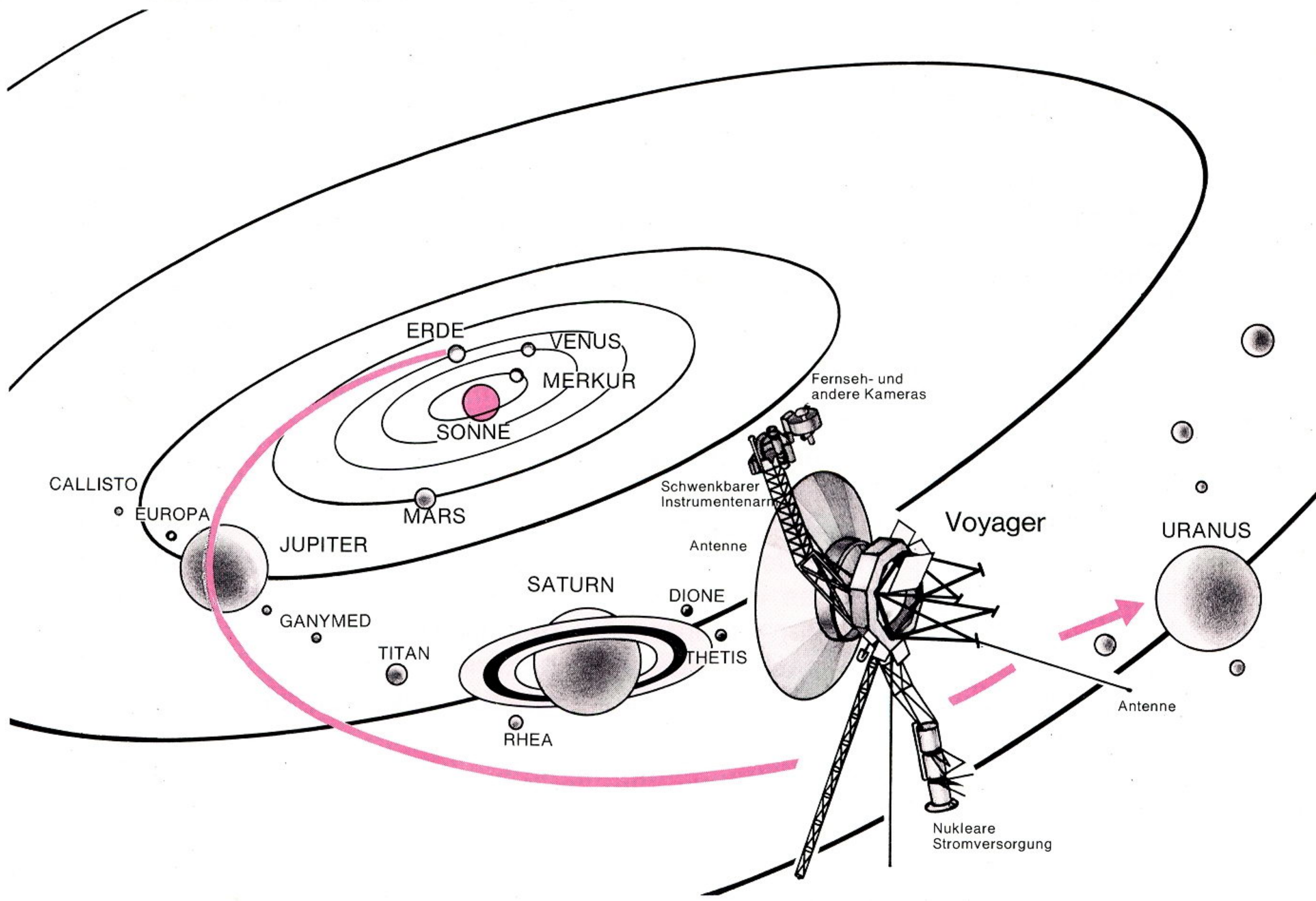
Seither wurden in der Weltraum-Elektronik weitere Fortschritte gemacht: Raumsonden lieferten Fernsehaufnahmen der Marsoberfläche sowie präzise Meßdaten und gestochen scharfe, hervorragende Farbbilder des größten Planeten unseres Sonnensystems, des Jupiters und seiner Monde.

Ende des Jahres 1977 wurden in Cape Canaveral (USA) zwei mit Elektronik

vollgestopfte Raumsonden, „Voyager I“ und „Voyager II“, zu einer Reise ohne Wiederkehr gestartet. Nach Jupiter, den sie 1979 erreichten, flogen sie 1981 an Saturn vorbei. Von ihm lieferten sie Aufnahmen, mit deren Hilfe man entdeckte, daß Saturns Ringsystem aus Hunderten von Einzelringen besteht. „Voyager II“ fliegt 1986 an Uranus vorbei und wird 1989 sogar noch Neptun passieren. Dann verlassen beide Sonden unser Sonnensystem und verschwinden in der Tiefe des unendlichen Weltraums.

Die einzige Verbindung zur Erde besteht über Funkwellen, die von einem Bordsender mit 28 Watt ausgestrahlt werden. Sie kommen auf der Erde so schwach an, daß sie von 64 Meter großen Superantennen aufgefangen werden müssen, die an drei Punkten der Erde aufgestellt sind: in Kalifornien, Spanien und Australien. Dadurch ist

Am 20. August und 5. September 1977 wurden in Cape Canaveral (USA) die Raumsonden „Voyager I“ und „Voyager II“ zu Flügen in die Tiefe des Alls gestartet. Sie sind mit Fernsehkameras und zahlreichen Meßgeräten ausgestattet. Ihre Parabolantennen haben einen Durchmesser von je 3,70 m. 1979 flogen sie an Jupiter und 1981 an Saturn vorbei. Von beiden Planeten sendeten sie scharfe Farbfotos, die den Wissenschaftlern neue Erkenntnisse vermittelten. Bevor die beiden Sonden unser Sonnensystem verlassen, fliegt „Voyager II“ 1986 an Uranus und 1989 an Neptun vorbei.



trotz der Erddrehung sichergestellt, daß man stets über eine dieser Antennen Kontakte mit den Raumsonden hat. Sie erhalten über Funkwellen natürlich auch Befehle von der Erde, und im April 1978 konnte der ausgefallene Radioempfänger von „Voyager 2“ mit einem Funksignal ganz bestimmter Art sogar wieder repariert werden. Als „Voyager 1“ als erste Sonde am 5. März 1979 nur wenige tausend Kilometer am Jupiter vorbeiflog, lagen 678 Millionen Kilometer zwischen ihr und der Erde: eine Entfernung, für die selbst die lichtschnellen Funkwellen mehr als 37 Minuten Zeit brauchten.

Schon vor fast 400 Jahren dachten

**Wann arbeitete
der erste
Computer?**

viele Leute darüber nach, ob man mit Maschinen das Rechnen vereinfachen könne. Einer von ihnen war der schwäbische Mathematiker Wilhelm Schickard, der um 1620 die wohl erste Rechenmaschine der Welt baute, die sogar schon automatische Funktionen aufwies. Der eigentliche Vorläufer heutiger Computer war aber die „analytische Maschine“ des englischen Mathematiker Charles Babbage. Sie sollte mit Lochkarten gesteuert werden und ein Gedächtnis von 200 Zahlen aufweisen. Leider konnte der Erfinder seine Pläne nicht voll verwirklichen, weil die Mechanik seinerzeit technisch noch nicht soweit war.

Wieder aufgegriffen wurden die Ideen

**Wer verwendete
als erster das
Dualsystem?**

eines Rechenautomaten in den 40er Jahren unseres Jahrhunderts. In Deutschland war es der junge Ingenieur Konrad Zuse, der außerdem zum erstenmal das duale Zahlensystem mit seinen zwei Aussagen 0

und 1 benutzte. Unter Verwendung elektromechanischer Bauteile (Relais) konnte er 1941 den ersten programmgesteuerten Rechner der Welt vorstellen. Daten für Rechen- und Speicherwerk wurden über eine Tastatur eingegeben, ein Lampenfeld zur Anzeige von vier Dezimalstellen diente als Ausgabe. Das Rechenprogramm war auf einem Kinofilmstreifen abgelocht.

Das Zeitalter der ersten wirklich *elektronischen Rechner* begann 1946 in den USA. Dort entstand an der Universität



Konrad Zuse 1950 vor seiner Rechenmaschine. Sie wurde mit Lochstreifen gesteuert und war der erste Dualsystem-Rechner der Welt.

von Pennsylvania der „Electronic Numerical Integrator And Computer“, kurz *ENIAC* genannt. Es war ein Riesengerät mit über 18 000 Elektronenröhren und verbrauchte soviel Strom wie 2500 Glühlampen von je 60 Watt. Dieser Computer konnte aber schon rund 2000mal schneller rechnen als seine elektromechanischen Vorgänger. Das Multiplizieren von zwei zehnstelligen Zahlen dauerte nur knapp $\frac{3}{1000}$ Sekunden. ENIAC hat trotz der nun folgenden schnellen Entwicklung von im-

mer besseren elektronischen Rechnern noch bis 1955 erfolgreich gearbeitet.

Bei der Einrichtung von automatisierten Arbeitsabläufen stattet man Maschinen mit elektronischen Steuerungen aus, die von Programmen bestimmter Art beeinflusst werden. Man nennt sie *numerische Steuerungen*, weil die Informationen für die ma-

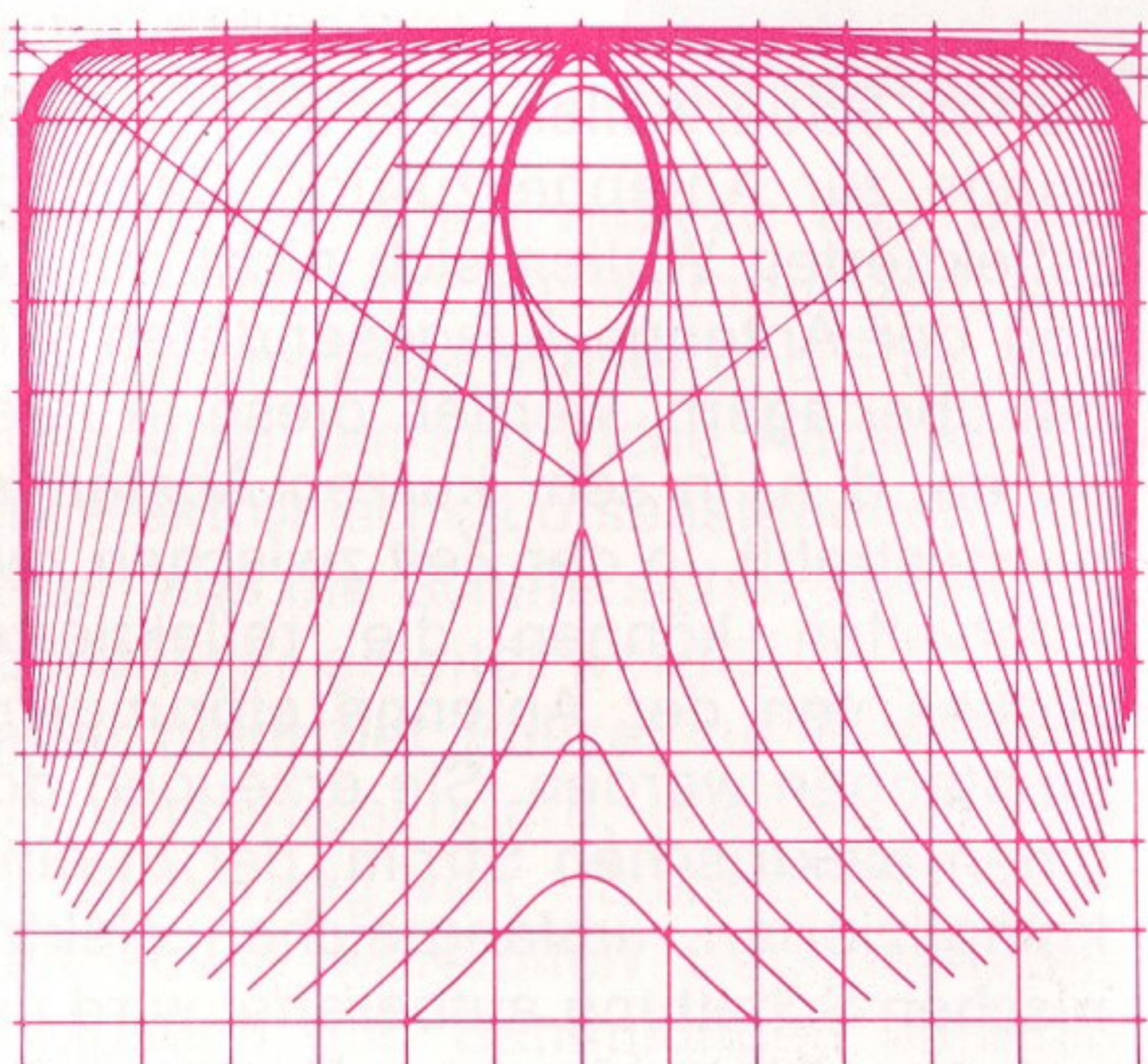
Was ist eine Prozeßsteuerung?

Bei der Einrichtung von automatisierten Arbeitsabläufen stattet man Maschinen mit elektronischen Steuerungen aus, die von Programmen bestimmter Art beeinflusst werden.

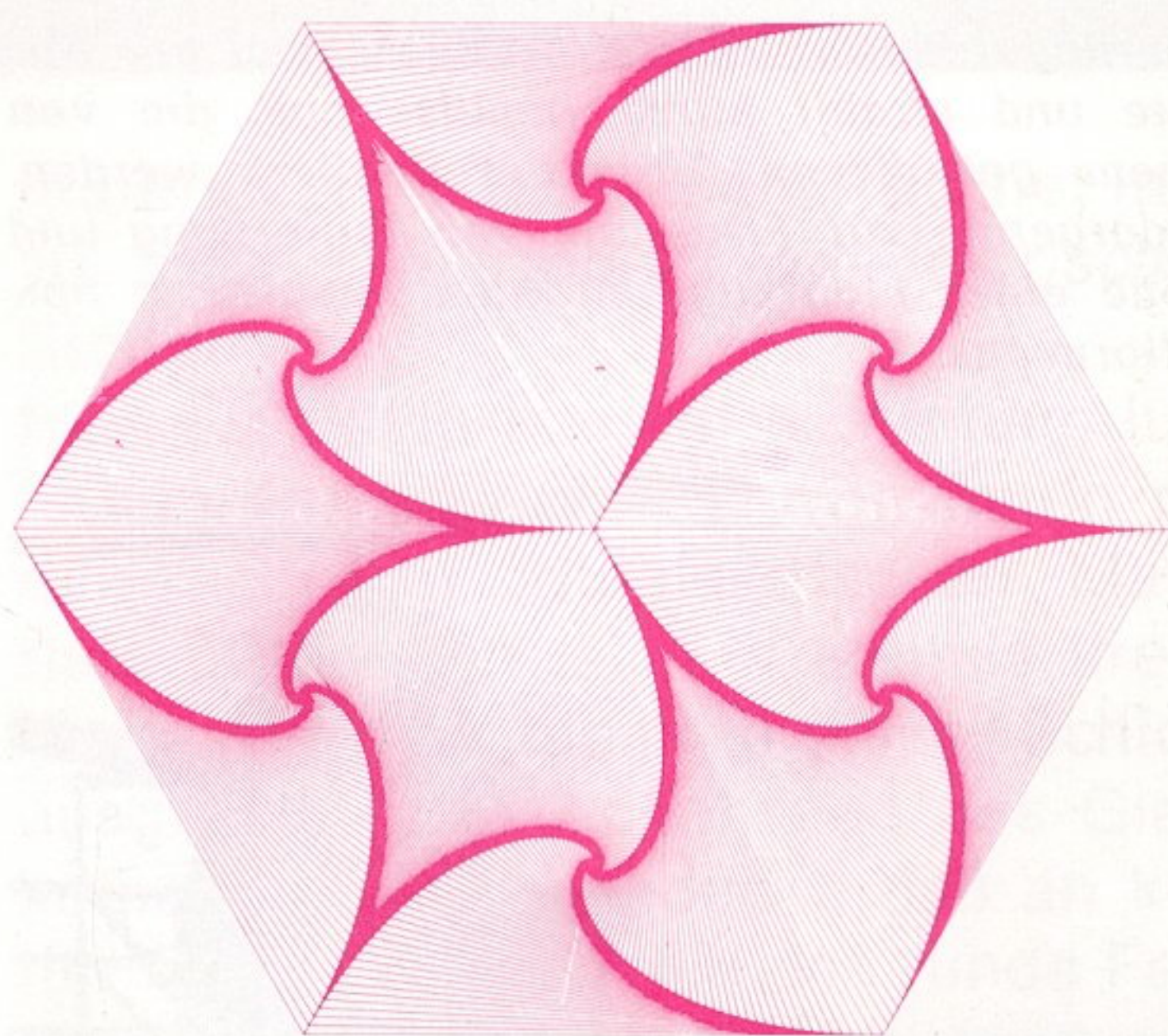
bau und auf Werften, aber auch an Textilmaschinen oder Zeichenmaschinen werden sie eingesetzt. Die beiden Zeichnungen unten belegen, wie vielfältig solche Maschinen verwendbar sind.

Die Programme sind meistens auf Lochstreifen gespeichert. Diese gibt man dem Prozeßrechner ein, er setzt die binären Informationen in die vielen kleinen Einzelschritte um, die nötig sind, um z. B. ein Werkstück auf einer Drehbank vollautomatisch herzustellen.

Der Computer – Konstrukteur und Künstler



Aus eingegebenen Zahlen, Daten und Formeln errechnet und zeichnet ein Computer den Bauplan, hier den Bug eines Tankers.



Dieses hübsche Ornament zeichnete kein Grafiker, sondern ein Computer. Es besteht aus vielen, immer neu abgewandelten Dreiecken.

schinellen Arbeitsprozesse gewöhnlich in Zahlenform vorliegen. Sie erleichtern das Umwandeln der Steuerungsinformationen in die Maschinensprache, d. h. in binäre Signale.

Numerische Steuerungen sind digital arbeitende elektronische Schaltungen, die über Meß- und Anschlußeinrichtungen auf verschiedene Maschinenantriebe einwirken können. Man findet sie an Fräs- und Drehbänken, Bohr- und Schweißmaschinen in der metallverarbeitenden Industrie, z. B. im Automobil-

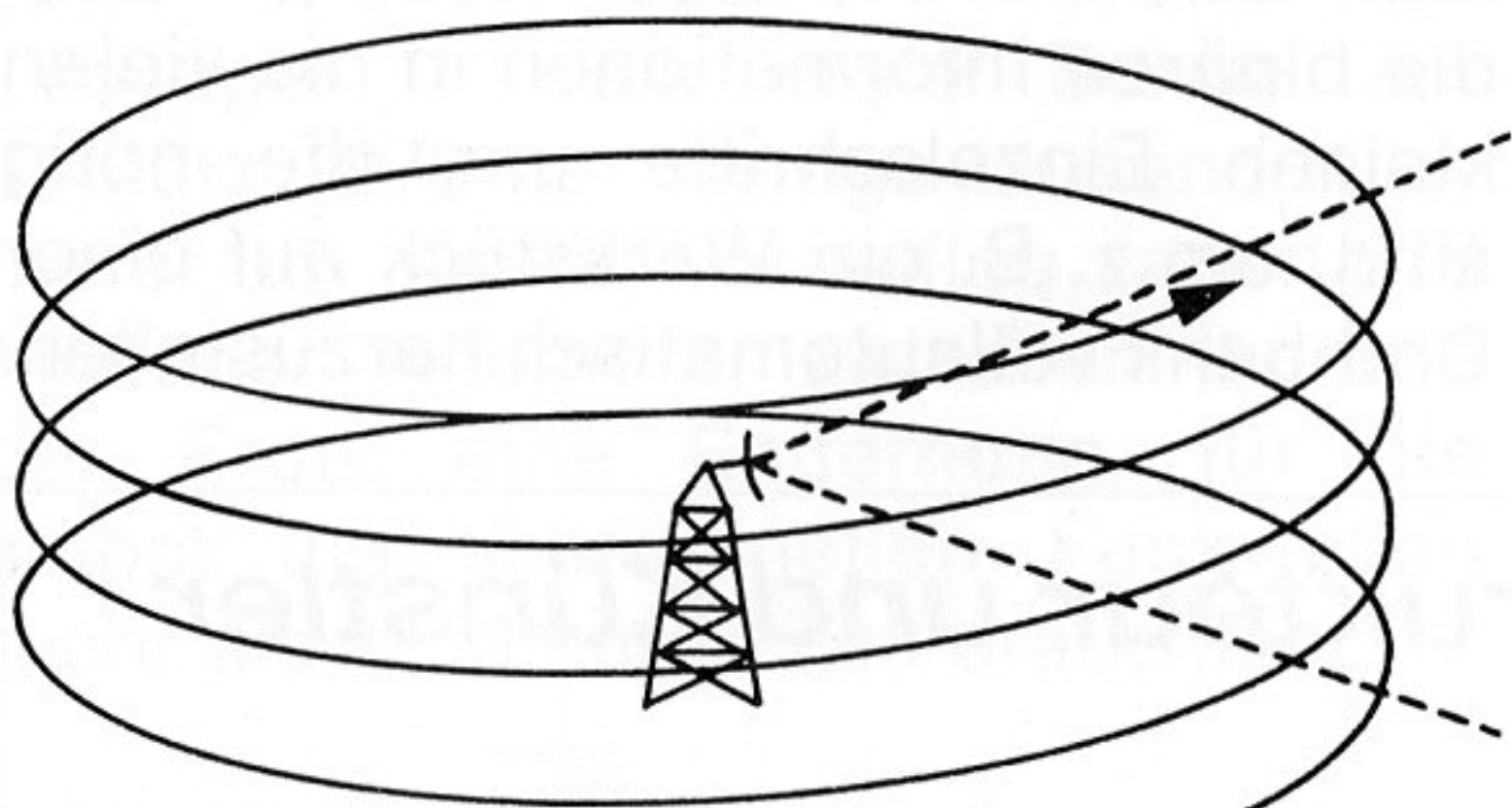
Während des Zweiten Weltkrieges ver-

Wie funktioniert das Radar?

suchten beide Parteien, gegnerische Flugzeuge und Schiffe mit Hilfe elektromagnetischer Wellen

möglichst frühzeitig zu orten, um rechtzeitig Abwehr- oder Angriffsmaßnahmen treffen zu können. Funkmeßtechnik nannten es die deutschen Wissenschaftler, während die Alliierten dafür die Abkürzung *Radar* prägten, abgelei-

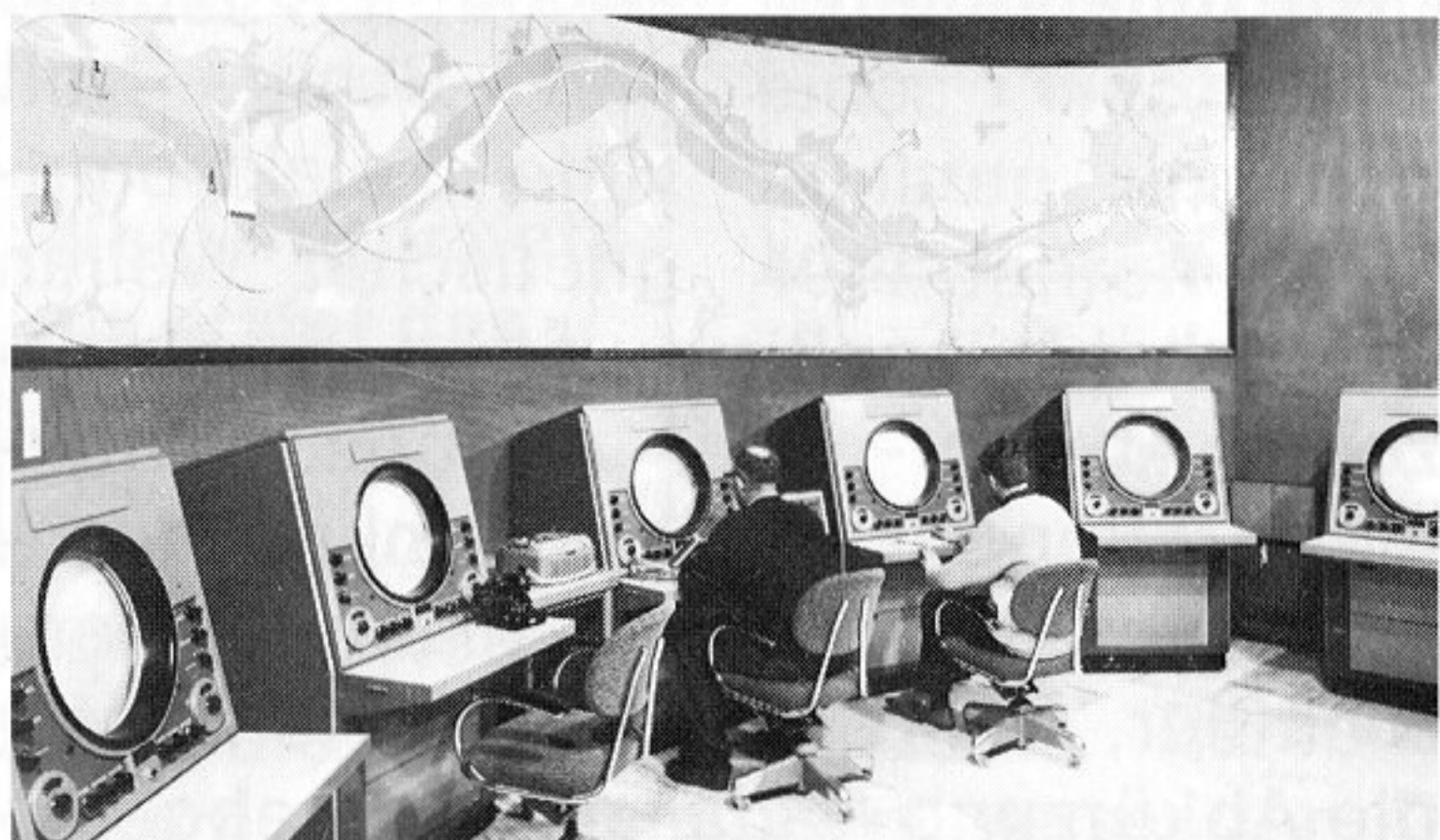
tet von „Radio Detection And Ranging“. Radar ist eine elektronische Anlage, mit der sehr kurze Wellen gesendet werden. Treffen diese auf feste Gegenstände, so werden sie reflektiert, und zwar um so besser, je kürzer die elektromagnetischen Wellen sind. Radarwellen gehören zu den kürzesten Wel-



Der Radarschirm dreht sich etwa 15mal pro Minute und strahlt kurze Impulse aus, die von einem getroffenen Objekt reflektiert werden. Radargeräte zur Erfassung von Entfernung und Höhe eines Flugzeugs strahlen Impulse in Spiralform aus.



Auf dem 200 m hohen Mast einer Überlandleitung ist die Radaranlage Hetlinger Schanze des Elbe-Radarleitweges aufgebaut. Die Bilder dieser und 12 weiterer Anlagen werden über Richtfunk auf die Sichtgeräte der Radarzentrale Brunsbüttelkoog (unten) übertragen. Von dort aus wird der Schiffsverkehr überwacht.



len, die gesendet werden können; man nennt sie *Mikrowellen*. Die Radarantenne hat die Form einer großen runden oder ovalen gitterartigen Schale, bei der die eigentliche Antenne im Mittelpunkt der Schale angeordnet ist. Die Mikrowellen werden von der Antenne in den Raum ausgestrahlt, von dem Gegenstand, auf den sie treffen, reflektiert und von der gekrümmten Innenfläche der Antennenschüssel wieder aufgefangen.

Radarwellen breiten sich, wie alle elektromagnetischen Wellen, mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 km in der Sekunde aus. Treffen sie z. B. auf ein 15 km von der Antenne entfernt fliegendes Flugzeug, so kehren die reflektierten Radarwellen in etwa $\frac{1}{10\,000}$ Sekunde zur Antenne zurück. Damit die reflektierten Wellen sich nicht mit den von der Antenne ausgesendeten Wellen überlagern, werden diese in Intervallen, d. h. in sehr kurzen Abständen ausgestrahlt. In der Zeit zwischen zwei Intervallen können die reflektierten Wellen von der Antenne störungsfrei empfangen werden. Sie erzeugen dort einen elektrischen Strom, der in einer komplizierten, umfangreichen elektronischen Schaltung aufbereitet wird und auf dem Bildschirm des Radargerätes eine Darstellung der näheren oder weiteren Umgebung gibt. Der Gegenstand, der die Wellen reflektiert hat, zeigt sich dabei als ein kleiner Lichtfleck, der über den Leuchtschirm wandert, wenn es sich um ein Fahrzeug oder Flugzeug handelt. Da die Radarwellen auch von Wolken reflektiert werden, können auf diese Weise auch Sturmgebiete geortet und so von Piloten der Verkehrsflugzeuge umflogen werden.

Doch nicht nur in Flugzeugen oder auf Flughäfen benutzt man das Radar. Es hat sich auch in der Schifffahrt zu einem unentbehrlichen Navigationshilfsmittel entwickelt, selbst kleine Küstenschiffe und Motorboote sind heute mit Radar

Auf vielen Straßen wird die Beleuchtung automatisch eingeschaltet: Eine Fotozelle mißt ununterbrochen das Tageslicht. Sobald die Helligkeit einen bestimmten Wert unterschreitet, werden die Leuchten automatisch eingeschaltet.



ausgestattet. Auch nahezu alle wichtigen Häfen und Flußmündungen, wie z. B. bei uns Elbe, Weser und Ems, verfügen über umfangreiche Radarketten und elektronische Lotsenstationen, von denen aus die Schiffe sicher durch das Fahrwasser geleitet werden.

Radar dient der Polizei zur Ermittlung von Verkehrssündern, ebenso wird es zur Sicherung von Häusern und Räumen sowie wertvollen Gegenständen in Museen und Sammlungen benutzt. Jede Person, die unberechtigt in den Bereich der Radarwellen gerät, löst sofort einen Alarm aus.

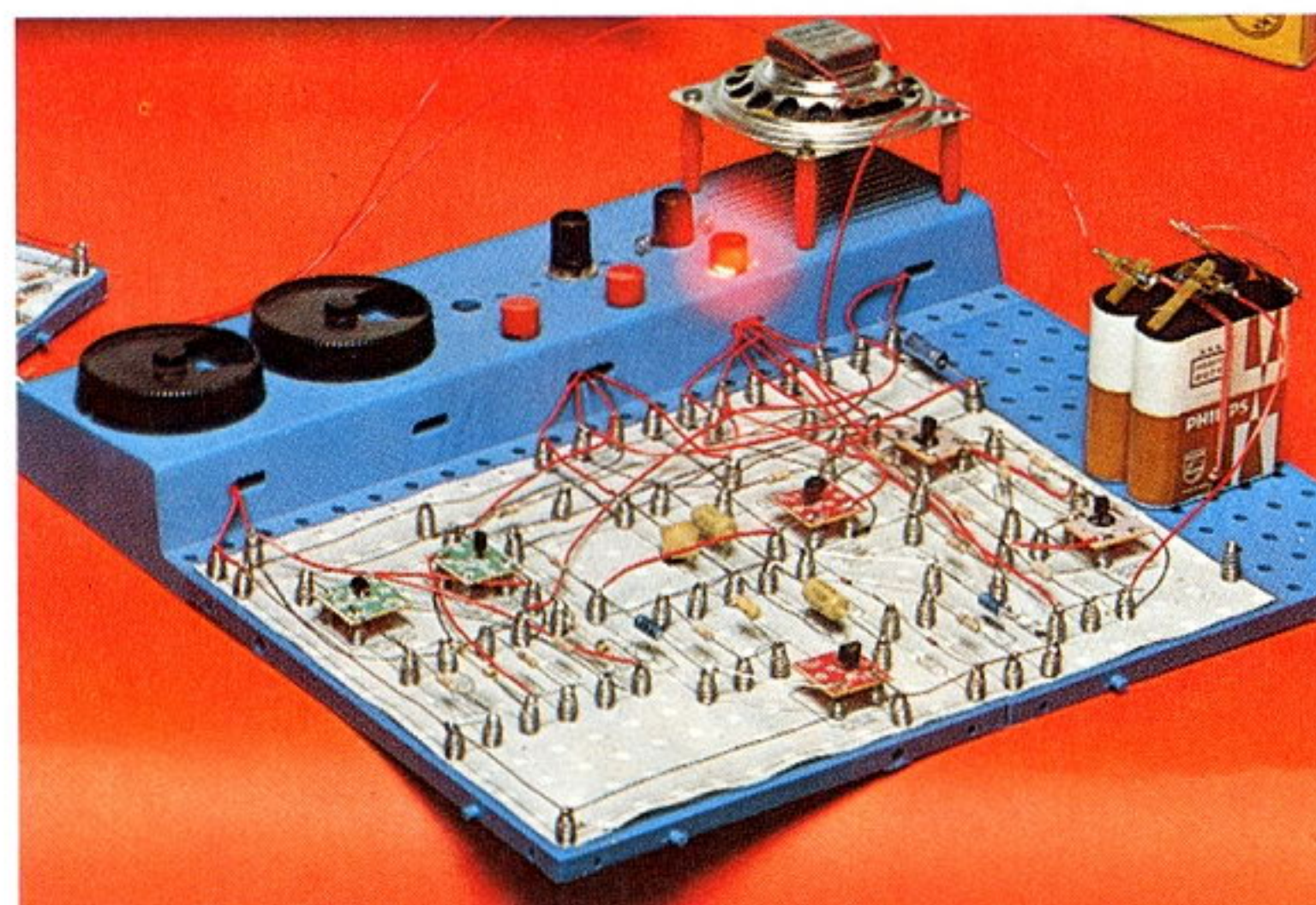
Wissenschaftler entdeckten, daß sie in bestimmten Metallen elektrischen Strom verstärken konnten, wenn sie das Metall mit Licht bestrahlten.

Wie funktioniert eine Fotozelle?

Später erkannte man, daß diese Metalle unter Lichteinwirkung Elektronen abgeben und damit schwache elektrische Ströme erzeugen. Zu diesen Metallen gehören die chemischen Elemente Natrium, Kalzium, Lithium und Zäsium; auch bestimmte Halbleiter-

materialien, z. B. Silizium, rechnet man zu den *licht- oder fotoelektrischen* Stoffen.

Eine Fotozelle besteht aus einem luftleeren Glaskolben, der von innen mit einer Schicht fotoelektrischen Materials überzogen ist. Ein kleines kreisrundes Fenster bleibt in dieser Schicht ausgespart. Die Außenseite des Glaskolbens ist so abgedeckt, daß an keiner Stelle, außer durch das runde Fenster, Licht durch das Glas hindurchtreten kann. Wenn dies geschieht, lösen die Lichtstrahlen aus dem fotoelektrischen Material Elektronen heraus, die



Mit Elektronik-Experimentierkästen, die in Fachgeschäften zu kaufen sind, kann der jugendliche Anfänger Transistorradios, Lichtorgeln, Einbrecher-Alarmanlagen, Polizeisirenen und viele andere elektronische Geräte bauen — ohne Löten!



Auch für die Freizeitgestaltung schuf die Elektronik viele neue Möglichkeiten, von vielfältigen Fernsehspielen und Ton- und Videorecordern, ferngesteuerten Modellflugzeugen und -schiffen bis hin zu elektronischen Heimorgeln, die der Spieler direkt oder über Kopfhörer hören kann.

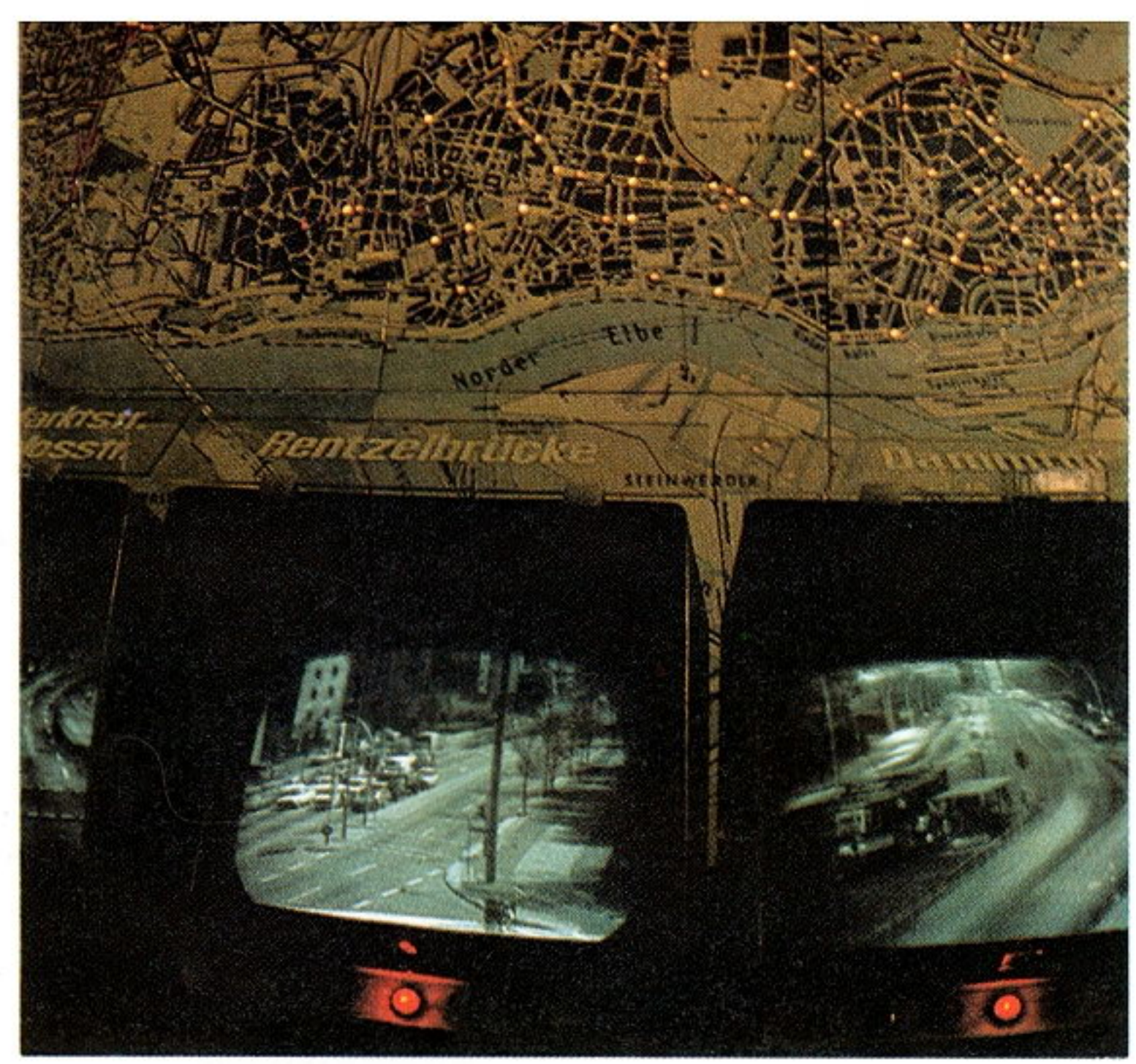
von der Anode der Fotozelle angezogen werden und von dort als schwacher elektrischer Strom in eine elektronische Schaltung gelangen.

Die gleichen Aufgaben werden heute mehr und mehr von Fotodioden übernommen, die wesentlich kleiner und stabiler sind. Sie bestehen aus Halbleitermaterial, das bei Belichtung ebenfalls Elektronen emittiert und kleine elektrische Ströme liefert. Es gibt außerdem noch Fotowiderstände, die beim Auftreffen von Licht mit einer Änderung ihres Widerstandswertes reagieren und ähnliche Funktionen erfüllen können wie Fotodioden.

Jeder hat wohl schon erlebt, wie die Tür eines Kaufhauses, eines Hotels oder eines öffentlichen Gebäudes, das man gerade betreten oder verlassen wollte, sich von selbst öffnet. Sie wurde von einer elektronischen Anlage gesteuert, zu der auch eine Fotozelle oder Fotodiode gehört. Diese bildet mit einer Lichtquelle eine sogenannte *Lichtschanke*.

Wie öffnet sich eine Tür von selbst?

Tür eines Kaufhauses, eines Hotels oder eines öffentlichen Gebäudes, das man gerade betreten



Computer lenken die Verkehrsströme in den Straßen der Großstädte: Elektronische Meßgeräte überwachen die Verkehrslage, zentrale Rechner ermitteln sinnvolle Maßnahmen, und Signalgeräte steuern den Verkehr situationsgerecht. So bleibt er im Fluß, und es entstehen weniger Abgase.

Sie funktioniert auf folgende Weise: Ein Lichtstrahl wird etwa einen Meter vor der Tür quer über den Eingang auf die Fotozelle gerichtet und verursacht in ihr einen elektrischen Strom. Dieser wird verstärkt und hält einen Schalter offen. Wenn wir uns nun durch den Lichtstrahl bewegen, wird der auf die Fotozelle gerichtete Lichtstrahl kurz unterbrochen. Während dieses Augenblicks fließt kein Strom aus der Fotozelle, und der Schalter schließt einen Stromkreis. Hierdurch wird ein Motor eingeschaltet, der die Tür öffnet. Bei Garagentoren löst man z. B. mit einem Infrarotlichtstrahl das Öffnen aus.

Fotodioden werden auch in Kameras verwendet, um die Lichtmenge zu messen, die durch das Kameraobjektiv auf den Film fällt. Der von der Fotodiode erzeugte elektrische Strom steuert über eine Elektronik die Öffnung der Blende oder die Belichtungszeit des Verschlusses. Dadurch erreicht man automatisch eine genau richtige Belichtung des Films.

Fotozellen werden beim Fernsehen und Tonfilm verwendet, zum Sortieren von Waren oder Werkstücken sowie zur Steuerung von Maschinen.

Alle Farben des sichtbaren Lichts unterscheiden sich in Frequenz und Wellenlänge voneinander. Rot hat die niedrigste Frequenz und die

**Wie fängt
„dunkles“ Licht
Einbrecher?**

längsten Wellen. Dann werden die Frequenzen über Orange, Gelb, Grün, Blau immer höher und die Wellen immer kürzer. Violett hat die höchste Frequenz und die kürzeste Wellenlänge. Wellen mit einer niedrigeren Frequenz als Rot sind infrarotes Licht; infrarot heißt „unterhalb Rot“. Wellen mit höherer Frequenz als Violett sind ultraviolettes Licht; ultraviolett heißt „über Violett“. Obwohl wir Infrarot und Ultraviolett als Lichtarten bezeichnen, können wir sie nicht sehen, weil unsere Augen nur den vorher genannten Wellenbereich als Licht sehen.

Nehmen wir an, die Tür eines Lagerhauses soll überwacht werden: Man leitet einen „dunklen“, vielleicht ultravioletten Lichtstrahl quer über den Türeingang, so daß er in eine Fotozelle fällt. Der elektrische Strom aus der Fotozelle geht zu einem Schalter, der offen bleibt, solange der Strahl nicht unterbrochen wird. Sobald ein Dieb an die Tür tritt, unterbricht er den

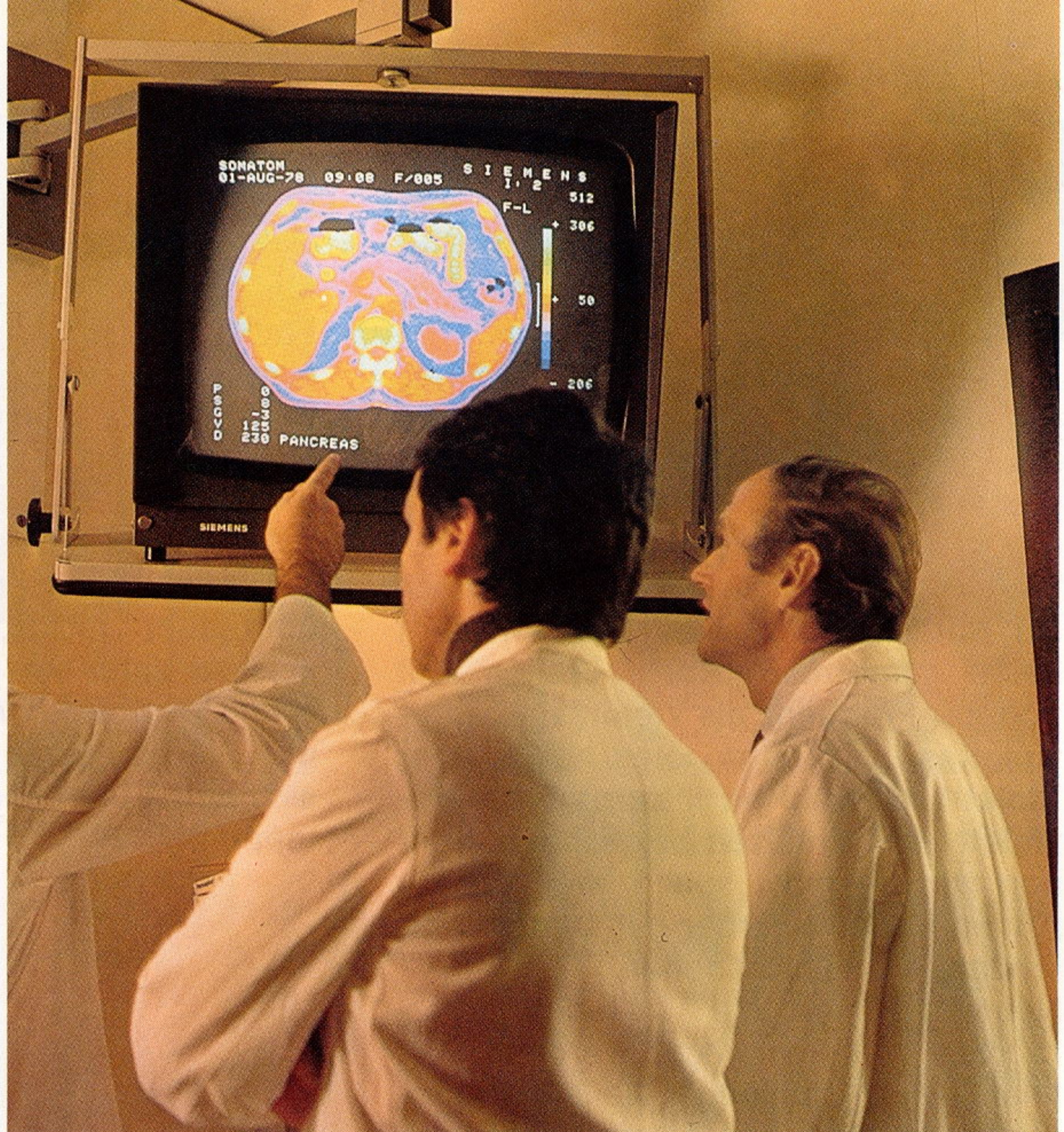
Strahl des ultravioletten Lichts, der Schalter schließt sich, und die Alarmglocke läutet. Der Schalter ist so konstruiert, daß er sich nicht wieder öffnet, wenn der Dieb den Strahl durchschritten hat und das Licht wieder in die Fotozelle fällt. Die Alarmglocke läutet also weiter.

Da „dunkles“ Licht unsichtbar ist, bemerkt der Dieb die Alarmanlage erst dann, wenn er den Alarm ausgelöst hat. Wenn man einen sogenannten „stillen Alarm“ vorgesehen hat, merkt der Dieb überhaupt nichts, weil das Alarmzeichen dann nur in der Wachzentrale ertönt. Auf einer Anzeigetafel können die Wächter erkennen, wo der Dieb sich aufhält und ihn auf frischer Tat ertappen.



Ohne es zu merken, hat ein Einbrecher die unsichtbare Schranke aus ultraviolettem Licht durchbrochen. Entweder leuchtet nun in einem Kontrollraum eine Lampe auf, die dem Wachmann zeigt, wo sich der ungebetene Gast befindet, der Wachmann kann die Polizei rufen oder den Einbrecher selber festnehmen; oder eine Sirene heult auf und der Einbrecher flüchtet.

Ein neues wichtiges Gebiet der elektronischen Medizin ist die Computer-Tomografie: Körperquerschnitte des Patienten — rechts der Magenbereich — werden so klar abgebildet, daß auch Weichteile wie Leber und Niere deutlich sichtbar werden. Dabei tastet ein feiner Röntgenstrahl den Körper unter verschiedenen Winkeln ab und liefert einige hunderttausend Meßwerte, die von einem Prozeßrechner gespeichert und zusammengestellt werden. Schließlich erscheint auf dem Bildschirm ein scharfes Schichtbild des Körperinneren, das der Arzt sofort beurteilen und auswerten kann.



Ein Arzt muß wissen, wie der Beinbruch seines Patienten aussieht, ob das Bein richtig geschieht und ob der Knochen nach der Behandlung wieder gut zusammengewachsen ist. Er legt den Patienten deshalb unter ein Röntgengerät, das durch die Haut und die Beinmuskulatur hindurch Aufnahmen von den Knochen macht. Dieses Beispiel ist nur eines von vielen Anwendungsmöglichkeiten der Röntgenstrahlen in der Medizin. Sie werden benutzt, um das Innere des menschlichen Körpers zu durchleuchten oder zu fotografieren, und geben den Ärzten wertvolle Hinweise auf die Beschaffenheit von Knochen und Organen.

Röntgenstrahlen haben noch viel kürzere Wellenlängen als die des Radars. Da sie auch feste Materie durchdrin-

Wozu braucht man Röntgenstrahlen?

gen können, nennt man sie *harte Strahlung*. Röntgenstrahlen werden in einer speziellen Röhre erzeugt, die das Herz jeder Röntgeneinrichtung ist. Von einer Glühkatode ausgehend, treffen sehr schnelle Elektronen auf eine Metallplatte, in die sie eindringen. Die Metallatome werden dabei stark „geschüttelt“ und senden elektromagnetische Schwingungen, eben jene Strahlen aus, die nach ihrem Entdecker, dem Deutschen Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923), benannt sind.

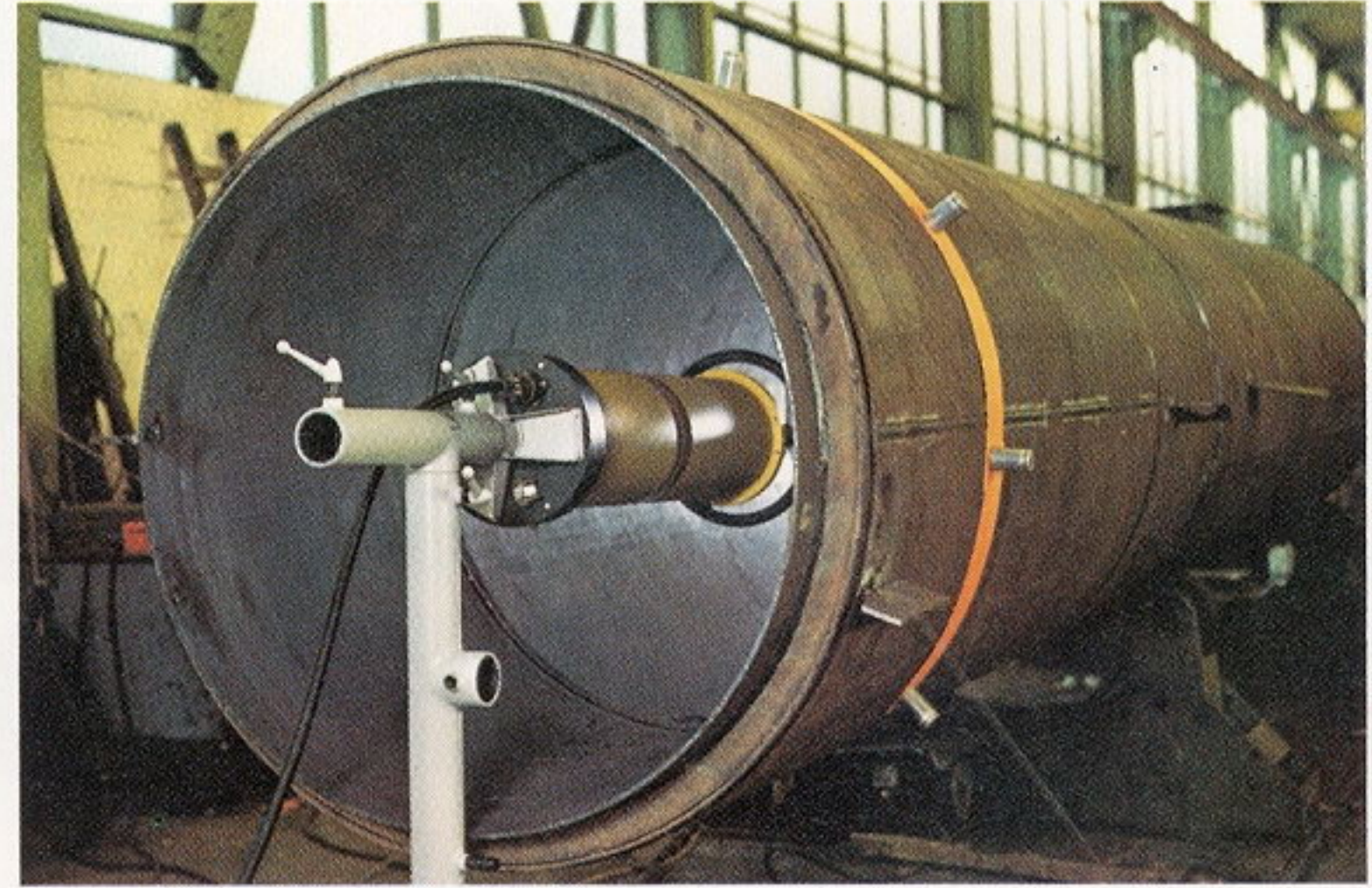
Röntgenstrahlen sind wegen ihrer sehr starken Energie gefährlich und können Körperzellen zerstören, wenn sie zu lange damit bestrahlt werden. Man kann diese Eigenschaft aber auch nutzen und krankes Gewebe gezielt vernichten, wobei die gesunden Körperpartien durch eine sinnreiche Anordnung der Bestrahlungseinrichtung geschützt bleiben.

Wenn auch Röntgengeräte zu den wichtigsten Helfern der Mediziner gehören, sie sind nicht die einzigen elektronischen Geräte in Krankenhäusern, Kliniken und Forschungslaboratorien. Auch Elektronenmikroskope gehören dazu. Sie erschließen dem Betrachter die Welt der Bakterien und Viren durch das Zusammenspiel von Elektronik und Optik. 1 000 000fache Vergrößerungen lassen sogar schon die Zusammenhänge größerer Moleküle sichtbar werden.

Welche elektronischen Helfer gibt es noch in der Medizin?

Fernsehanlagen für die Übertragung von Operationen in die Hörsäle, wo Hunderte von Studenten den Vorgängen mühelos folgen können, sind genauso nützliche elektronische Einrichtungen wie Meßgeräte für Blutdruck, Pulsfrequenz, Sauerstoffverbrauch, Gehirnströme, chemische Analysen und vieles andere mehr. In modernen Krankenhäusern haben die Computer längst Einzug gehalten; sie verarbeiten und speichern nicht nur Unter-

suchungswerte, sondern auch die Krankengeschichten und die Behandlung der Patienten sowie darüber hinaus die gesamten Verwaltungsvorgänge.



Röntgen in der Industrie: Pipeline-Rohre werden mittels Röntgengerät und Fernseheinrichtung auf Fehler an den Schweißnähten kontrolliert.



Links: Nesselkapseln an den Tentakeln einer Hydra (Süßwasserpolyp) in 13 000facher Vergrößerung. Die Aufnahme wurde mit einem Elektronenmikroskop (oben) gemacht. Diese Mikroskope verwenden an Stelle von Lichtstrahlen einen Elektronenstrom und an Stelle von Linsen ein elektromagnetisches System. Dabei entstehen auf dem Leuchtschirm vergrößerte Bilder, die auch fotografiert werden können. Für sehr hohe Vergrößerungen (bis 200 000fach) werden zwei Systeme hintereinander geschaltet.



Mit einem Startgewicht von 350 t hebt ein Jumbo 747 ab. Im Cockpit überwachen Pilot, Copilot und Flugingenieur 130 elektronische Instrumente mit 481 Kontroll- und Warnlampen. 30 akustische Warnsignale, 32 elektronische Rechner sowie 16 Radar- und Radiosender und -empfänger sorgen für sicheren Flug. Einige Instrumente sind aus Sicherheitsgründen doppelt oder gar dreifach vorhanden.

Was bleibt noch zu tun?

Wir haben nun die Anfänge der Elektronik und ihre Bedeutung für Radio, Fernsehen, Computertechnik und viele andere Bereiche kennengelernt. Gewiß blieben noch viele Fragen unbeantwortet. Die Kompliziertheit nahezu aller Verfahren erfordert ein intensiveres Studium, als dieses Buch bieten kann. Aber wir können uns nun die wesentlichsten Vorgänge in elektronischen Anlagen besser vorstellen.

Vielleicht hat mancher den Eindruck gewonnen, das Gebiet der Elektronik sei schon restlos erforscht, alle elektronischen Erfindungen, die möglich sind, seien bereits gemacht. Das ist keineswegs so. Zum Beispiel ist der Vorgang der Elektronenbewegung in seinen Anwendungsmöglichkeiten noch längst nicht ausgeschöpft. Hierzu gehört beispielsweise auch die Erforschung der äußerst schwachen elektrischen Ströme in unserem Körper.

Wir wissen, daß unser Gehirn jedem Computer an schöpferischer Leistung weit überlegen ist, doch wir können es nicht nachbauen. Gewisse Strukturen und Funktionen würden uns aber bei der Entwicklung von noch besseren integrierten Schaltungen und Computersystemen sehr helfen.

Es ist ein sehr schwieriges Unterfangen, Prognosen für die technische Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten zu stellen. Sicher ist nur, daß die Elektronik in unserer Welt von morgen eine noch weit umfassendere Rolle spielen wird als heute. Vieles vom Kommenden ist schon da, sehr oft nur in ersten Anfängen, in Bruchstücken neuer Erkenntnisse. So muß man annehmen, daß diese Entdeckungen und dieses Wissen zu weiteren Entwicklungen führen, die auf manchen Gebieten noch überraschende und neue Lösungen bringen wird.