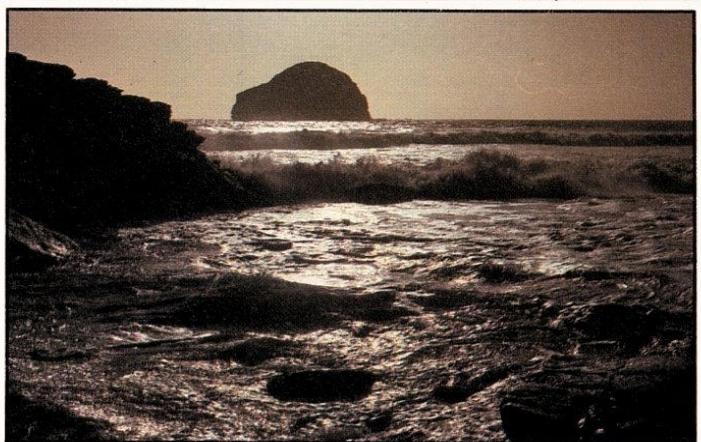
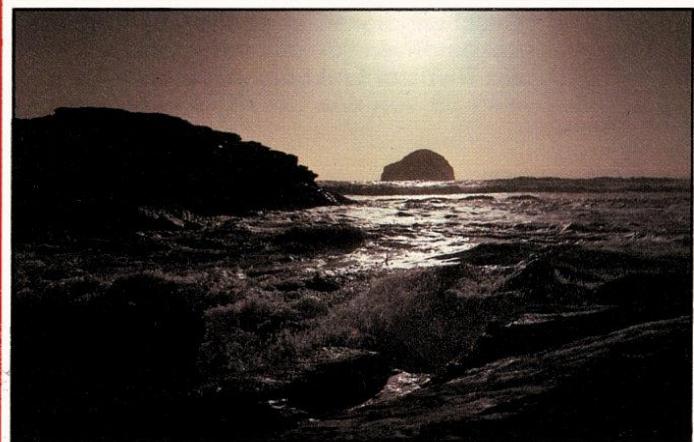


HEFT 58 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

Technik und Erfindungen von AbisZ
mit Tausenden von Fotografien und Zeichnungen



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Telefon	1597
Telemetrie	1603
Teleobjektiv	1605
Teleskop (Fernrohr)	1607
Teppichherstellung	1613
Textilfaserstoffe	1617
Thermodynamik	1621

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDEN WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

WIE GEHT DAS ist eine wöchentlich erscheinende Zeitschrift. Die Gesamtzahl der 70 Hefte ergibt ein vollständiges Lexikon und Nachschlagewerk der technischen Erfindungen. Damit Sie auch wirklich jede Woche Ihr Heft bei Ihrem Zeitschriftenhändler erhalten, bitten Sie ihn doch, für Sie immer ein Heft zurückzulegen. Das verpflichtet Sie natürlich nicht zur Abnahme.

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

Deutschland: Das einzelne Heft kostet auch beim Verlag nur DM 3. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280 380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort HEFTE.

Österreich: Das einzelne Heft kostet öS 25. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363 130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei Kennwort: HEFTE.

Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

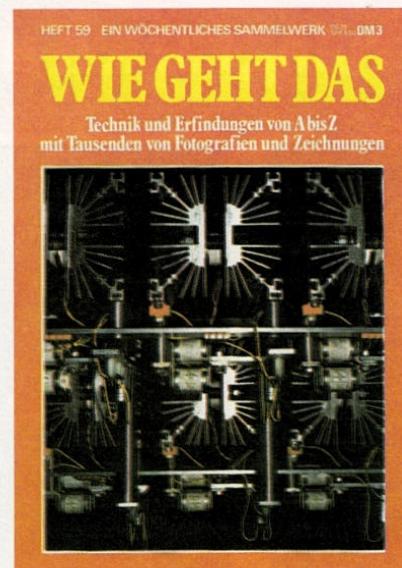
INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen.

Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

In Heft 59 von Wie Geht Das

Der Thyristor ist ein Halbleiterbauelement, das zur Steuerung des Elektrizitätsflusses z.B. bei einem stufenlos zu regulierenden Lichtschalter im Haushalt oder bei den Schaltkreisen zur Geschwindigkeitskontrolle elektrischer Lokomotiven angewandt wird. Wie ein Thyristor funktioniert, können Sie in Heft 59 von Wie Geht Das nachlesen.



Die ersten praktisch verwendbaren Tonbandgeräte wurden in den dreißiger Jahren in Deutschland hergestellt. Seitdem hat die Technik beträchtliche Fortschritte in der Leistungsfähigkeit von Tonbandgeräten ermöglicht. Die Entwicklung des modernen Tonbandgeräts ist das Thema eines Artikels im nächsten Heft von Wie Geht Das.

SAMMELORDNER

Sie sollten die wöchentlichen Ausgaben von WIE GEHT DAS in stabile, attraktive Sammelordner einheften. Jeder Sammelordner faßt 14 Hefte, so daß Sie zum Schluß über ein gesammeltes Lexikon in fünf Ordnern verfügen, das Ihnen dauerhaft Freude bereitet und Wissen vermittelt.

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

1. Sie können die Sammelordner direkt bei Ihrem Zeitschriftenhändler kaufen (DM 11 pro Exemplar in Deutschland, öS 80 in Österreich und sfr 15 in der Schweiz). Falls nicht vorrätig, bestellen Sie den Händler gern für Sie die Sammelordner.

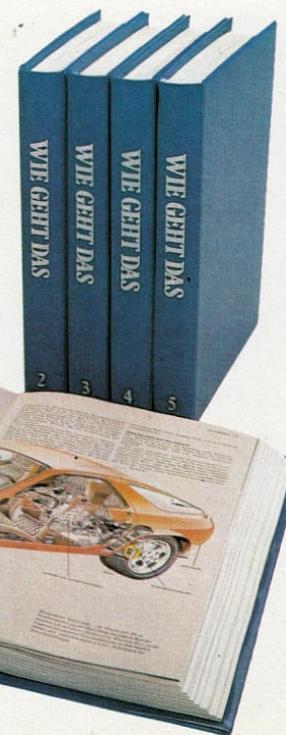
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto Wien 2363 130. Oder legen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Sammelordner schnell und sicher bekommen. Überweisen Sie durch Ihre Bank, so muß die Überweisungskopie Ihre vollständige Anschrift gut lesbar enthalten.



TELEFON

Seit es Alexander Bell (1847 bis 1922) im Jahre 1876 gelang, die ersten gesprochenen Worte per Draht seinem Assistenten im Nachbarraum zu übermitteln, hat sich ein Telefonnetz mit über 400 Millionen Fernsprechanschlüssen auf der Welt entwickelt.

Bell war der erste, der zur Sprachübertragung einen konstant fließenden Strom einsetzte. Der Stromfluß durch den Draht wurde proportional zu den vom Wandler umgesetzten Schallwellen stärker oder schwächer. Allerdings nimmt bei großen Leiterlängen der elektrische Widerstand so stark zu, daß die Stromänderungen am Empfangsort nicht mehr zu erkennen sind.

Der damalige Aufbau einer Übertragungsstrecke war einfach. Ein einzelner Eisendraht verband zwei Telefone. Der Stromkreis war geerdet, d.h. die Erde diente als Rückleiter.

In den USA und zum Teil auch in Europa wurde die Entwicklung durch zu viele Telefongesellschaften in privater Hand behindert. Jede Gesellschaft besaß ein eigenes Verbindungssystem, zwischen den Systemen war oftmals kein Austausch möglich. Manchmal ließen sich nicht einmal die technischen Einrichtungen austauschen.

In Deutschland erkannte der damalige Generalpostmeister Heinrich von Stephan frühzeitig die Bedeutung eines einheitlichen Fernmeldebewesens; Schwierigkeiten wegen mangelnder Verträglichkeit verschiedener Systeme traten im damaligen Deutschland nicht auf.

Das heutige öffentliche Fernsprechnetz wird in Deutschland von der Bundespost betrieben und unterhalten. Die Teilnehmerdichte ist regional verschieden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist das deutsche Verteilungsnetz sternförmig aufgebaut.

Der technische Fortschritt trieb die Entwicklung weiter. Edison (1847 bis 1931) erfand das Kohlemikrofon, das heute noch in den meisten Telefonapparaten zu finden ist. Ericsson (1803 bis 1889) baute den ersten Apparat, in dem Sender und Empfänger vereinigt waren.

Obgleich die äußere Form der Telefonapparate von dieser Zeit an starken Veränderungen unterworfen war, hat sich am prinzipiellen Aufbau nicht viel geändert. Nach wie vor enthält jeder Fernsprechapparat eine Sprechkapsel zur Umwandlung der Schallwellen in elektrische Schwingungen (siehe MIKROFON), ebenso ist eine Hörkapsel notwendig, die umgekehrt arbeitet. Der Fernsprechapparat muß eine Einrichtung zum Anwählen besitzen, Ziffern müssen einstellbar sein, und es muß ein Rufton ertönen, damit der Fernsprechteilnehmer erkennt, daß ein Gespräch für ihn anliegt.

Sender und Empfänger

Die Schallwellen werden durch einen Kohlegrieß-Druckübertrager (Sprechkapsel) in elektrische Signale umgewandelt. Der Übertrager besteht aus einer dünnen Metallscheibe—

Das Innere eines modernen Telefonapparates: die Leitungs- und Klingelvorrichtungen sind deutlich zu erkennen.



Rechts: Die Diagramme zeigen vereinfacht die Telefonhör- und -sprechkapsel mit einer auseinandergenommenen Darstellung des Wählmechanismus. Die Nocken öffnen und schließen die Wählkontakte zur Erzeugung der Wählpulse, während die Wähl scheibe in ihre Ruhelage zurückläuft.

der Membran—and einer Dose, die Kohlekörnchen enthält. Die Kohlekörnchen stehen in direktem Kontakt mit der Membran. Unter Einwirkung von Schallwellen vibriert die Membran, wodurch die Kohlekörner unterschiedlichen Drücken ausgesetzt werden. Die Druckänderungen bewirken eine Widerstandsänderung der Gesamtanordnung. Die Kohlekörner werden ständig vom elektrischen Strom durchflossen, jede Widerstandsänderung hat eine Stromflußänderung zur Folge.

Der Empfänger (Hörkapsel) kehrt diesen Vorgang um. Die Hörkapsel besteht aus einer Metallmembran, die vom äußeren Rand her straff eingespannt ist und in engem Abstand zu den beiden Polen eines Elektromagneten liegt. Zusätzlich ist die Membran mit dem Feld eines Dauermagneten vormagnetisiert. Durchfließt der Sprechwechselstrom die Spulen des Elektromagneten, ändert sich die Membranstellung im Takt des Stromes. Die Bewegung der Membran verursacht Schalldruckänderungen. Auf diese Weise wandelt der Empfänger elektrische Signale in akustische Signale um (siehe auch LAUTSPRECHER).

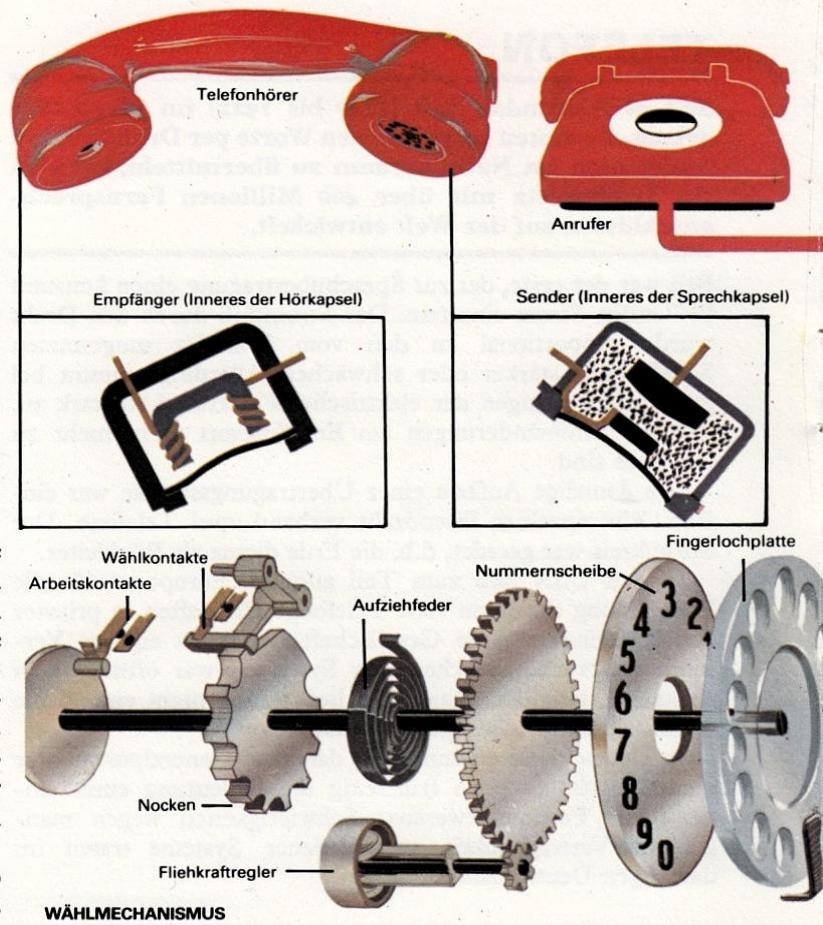
Das Problem der ersten Fernsprechverbindungen war, daß die Widerstandsänderungen des Kohlekörner-Übertragers sehr viel kleiner als der Gesamtwiderstand der Verbindungsleitungen waren. Dadurch blieben auch die Signalstromänderungen sehr schwach — ein Problem, das sich mit zunehmender Leiterlänge noch verschlimmerte. Edison überwand diese Schwierigkeiten, indem er eine Anpassungsschaltung in die Verbindungsleitungen einbaute, deren wesentliches Bauteil ein Transformator war. Die Schaltung war so aufgebaut, daß der zur Funktion notwendige Gleichstrom durch den Schallwandler fließen konnte, während die ihn überlagernde Signalkomponente — der Sprechwechselstrom — verstärkt wurde. Dieses entscheidend wichtige Bauteil findet man heute in allen modernen Fernsprechapparaten.

Die Verbindung zum Amt

Der Gleichstrom, den eine Batterie in der Ortsvermittlungsstelle liefert, wird zur Kennung zwischen dem Teilnehmer und dem Amt ausgenutzt. Der elektrische Kreis zwischen dem Fernsprechteilnehmer und dem Amt schließt sich beim Abheben des Handapparates über Kontakte. Bei früheren Systemen, vor Einführung der automatischen Wähleinrichtungen, mußte der Teilnehmer die Kurbel eines Handgenerators drehen, wodurch im Amt entweder ein Lämpchen aufleuchtete, ein Glockenzeichen ertönte oder eine Anzeige ausgelöst wurde. Der Handgenerator wurde auch benutzt, um das Gesprächsende anzuzeigen. Bei den modernen Telefonapparaten wird dem Amt das Gesprächsende durch Auflegen des Hörers auf die Gabel angezeigt, dabei werden die Kontakte getrennt.

Nachdem im Handvermittlungsamts eine Leitungsanforderung angezeigt wurde, mußten vom Bedienungspersonal entsprechende Verbindungen auf Schaltpulten gesteckt werden. Mit Anschlußleitungen, die an beiden Enden Stecker besaßen, ließen sich zwei Telefonkreise verbinden.

Heute wird mit Hilfe eines Nummernwählers eine der Ziffernfolge entsprechende Anzahl Pulssignale zur automatisch arbeitenden Fernsprechvermittlung gesendet. Der Nummernwähler dient zum Einstellen der Schaltglieder im Wählamt. Betätigt man die Wähl scheibe, unterbricht der im Apparat



befindliche Nummernschalter-Impulskontakt die zum Amt führende Stromschleife. Wählt man z.B. die Null, werden während des Rücklaufes der Scheibe zehn Stromunterbrechungen erzeugt. Dazu wird während des Einstellvorganges zunächst eine Feder aufgezogen, die nach dem Loslassen der Scheibe über ein Zahnradgetriebe den Rücklauf erzwingt. Im Rücklaufvorgang unterbricht der Impulskontakt den Stromkreis gemäß der eingestellten Ziffer. Die Rücklaufgeschwindigkeit und somit auch die Geschwindigkeit der erzeugten Impulse wird durch einen Fliehkraftregler gesteuert. Der Regler ist in die Mechanik des Wählers eingebaut.

Seit einigen Jahren gibt es Telefonapparate, bei denen die Wähl scheibe durch Tastenwahlknöpfe ersetzt wurde. Man hat hierzu verschiedene Schaltungen entwickelt, die im allgemeinen aus winzigen elektronischen Schaltkreisen bestehen.

Rechts: Die Arbeitsweise in einem Drehwähleramt. Hebt der Anrufer den Telefonhörer ab, sucht der zu diesem Apparat gehörende Einzelwähler (a) einen freien ersten Gruppenwähler (b). Danach wird über eine zusätzliche Einrichtung ein Rufton zum Anrufer zurückgesendet. Die gewünschte Nummer kann nun durchgewählt werden. Ist z.B. die erste Ziffer eine 7, hebt sich der Hebdrehwähler der ersten Gruppe auf Kontaktbank 7 und schaltet zu einer zweiten Wählgruppe, der alle Nummern unterstehen, die mit 7 beginnen. Im Bild ist der 8. Wähler dieser Gruppe frei (c); er stellt die nächste Verbindung her. Nach Wahl der Ziffer 6 hebt sich der Wähler auf Bank 6; er ist verbunden mit einer 3. Gruppe, die alle Nummern bearbeitet, die mit 76 beginnen. Er findet den zweiten Wähler in dieser Gruppe frei (d). Wähler c wird mit ihm verbunden. Wähler d hebt sich auf Kontaktbank 4 und dreht dort auf den 9. Kontakt, der nun endgültig mit dem Teilnehmer 7649 verbunden ist.



JOHN MARSHALL

Oben: Die Kabel, an denen der einzelne Teilnehmer angeschlossen ist, sind je nach Größe des Ortsnetzes mehrdrig ausgeführt. Große mehrdrige Kabel können bis zu 4 800 Drahtpaare besitzen. Die großen Kabel teilen sich nach und nach in kleinere auf, die kleinen Teilnehmergruppen versorgen. Die kleineren Kabel enden meist bei Verteilungspunkten. Von dort aus laufen Einzelpaar-Kabel zum Teilnehmer. Mehrdrige Kabel besitzen aluminium- oder kupferlegierte Leiter, die mit Papier oder Polyethylen isoliert sind.

Die Bildfolge oben und S. 1600 oben zeigen den Weg eines Überseegesprächs. Das Ortsvermittlungsam (links) überträgt das Gespräch dem Fernvermittlungsam (rechts), das mit den internationalen Verbindungen belegt ist. Das Fernamt vermittelt den Weg zum Bestimmungsland.

Die Bundespost hat seit August 1974 in Perlach (bei München) die erste öffentliche Fernsprech-Ortsvermittlungsstelle in Betrieb genommen, die auf der Basis eines elektronischen Wählsystems (EWS) arbeitet. Dieses neuartige System soll schrittweise das bewährte, herkömmliche ablösen; einige Leistungsmerkmale für den Teilnehmer seien hier kurz angeführt. Der Telefonapparat ist mit einer elektronischen Tastwahl ausgerüstet; die Mechanik entfällt. Es stehen zwölf Tasten zur Verfügung, zehn für die Ziffern, zwei als Sonder-tasten für besondere Betriebsmöglichkeiten. Jeder Taste sind zwei Frequenzen zugeordnet, d.h. nach Druck auf eine Taste werden die dem Zeichen entsprechenden beiden Frequenzen aus dem Tonfrequenzbereich über die Verbindungsleitung zur Vermittlungsstelle gesendet. Im Tastwahlapparat befinden sich die dafür notwendigen Schwingungserzeuger, die Tonfrequenzgeneratoren. Sie werden von der Vermittlungsstelle über die Leitungen mit Strom versorgt. Das Amt übernimmt die Frequenzen in entsprechenden Empfangseinrichtungen. Man spricht bei dieser Art der Zuordnung von Zeichen zu Frequenzen von einem Mehrfrequenzcode.

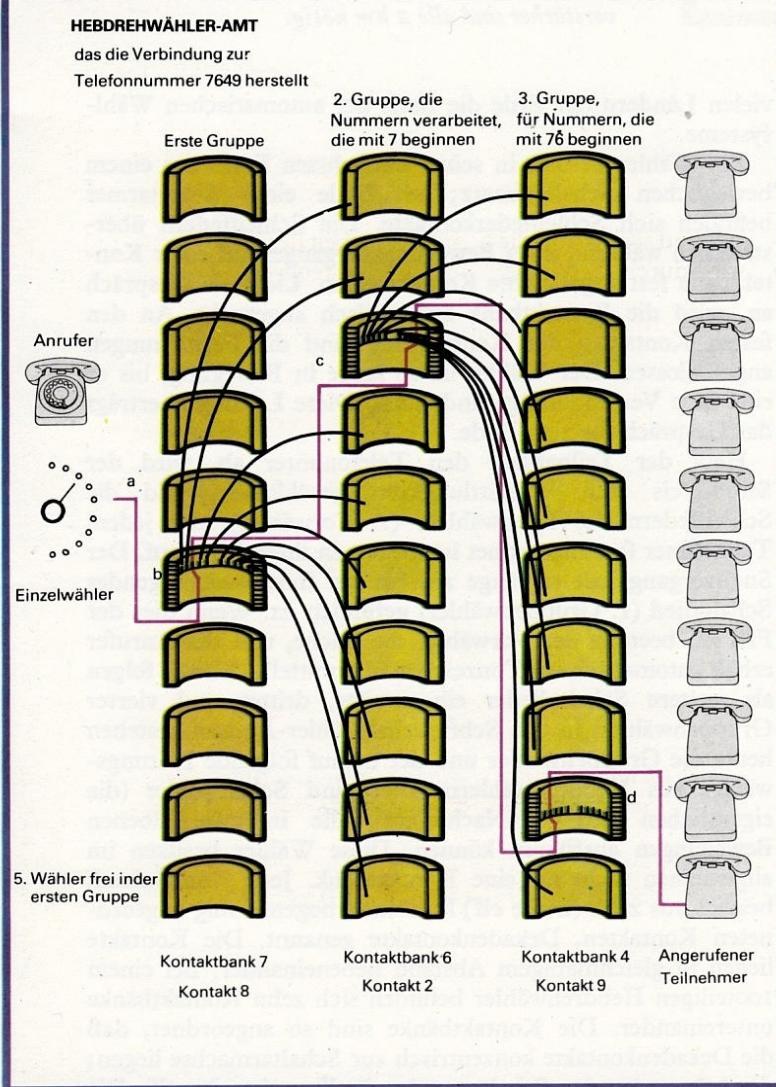
Im Telefonapparat sind Halbleiterspeicher eingebaut. Der Teilnehmer kann hier oft benutzte, vielziffrige Telefonnummern unter einer ein- oder zweistelligen Ziffer abspeichern und braucht zum Abruf der gespeicherten Nummer nur noch die Kurzziffer einzutasten. Das System errechnet die entsprechende Langrufnummer und baut die Verbindung auf.

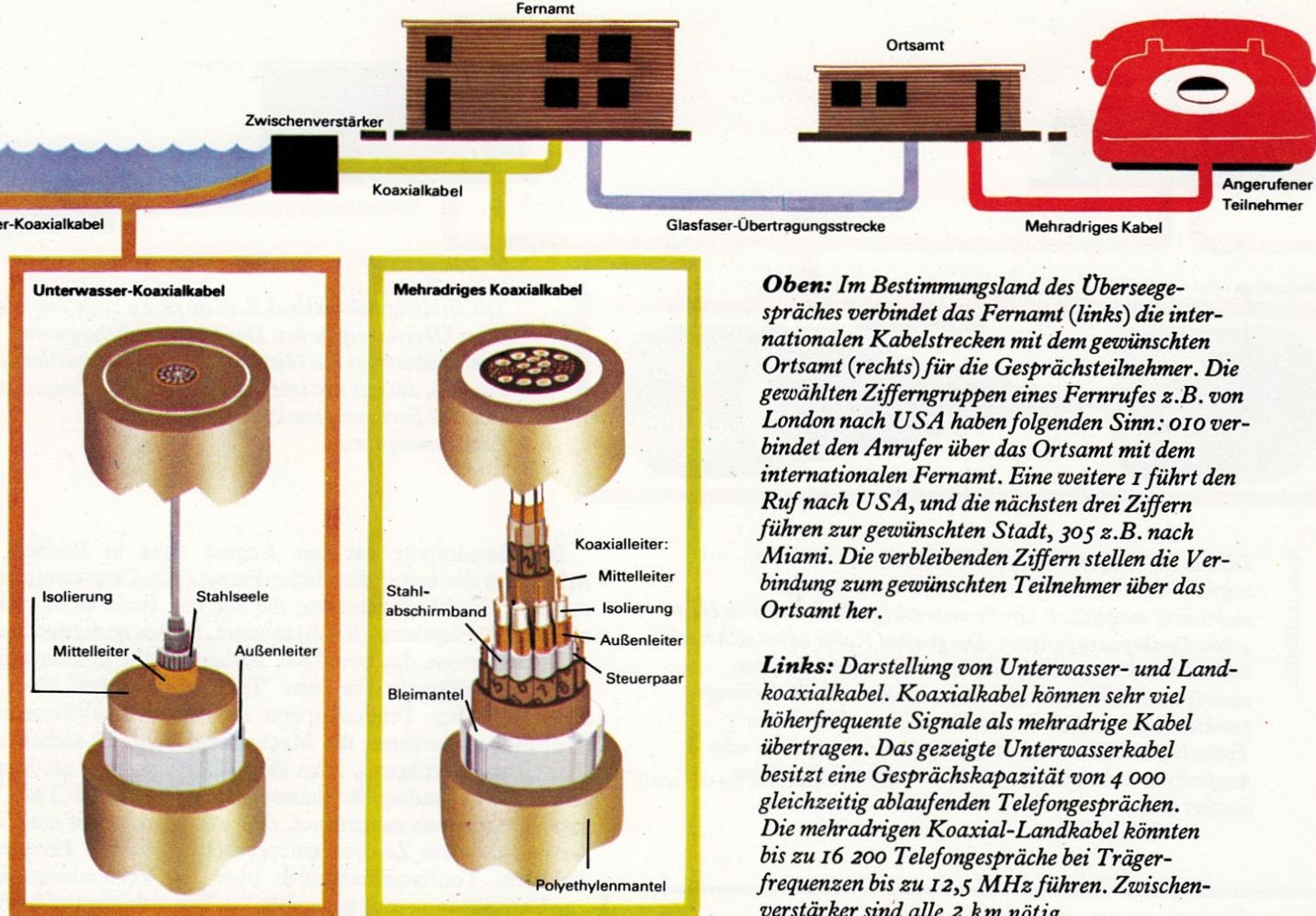
Ist der Teilnehmer zur Zeit des Anrufes nicht anwesend, kann die Gesprächsanforderung automatisch zum Fernsprech-auftragsdienst umgeleitet werden. Dort werden Anrufe beantwortet und Mitteilungen weitergeleitet.

Ein weiteres Bauteil im Telefonapparat ist die Klingel oder der Tonruf. Beide werden mit Wechselstrom vom Vermittlungsamt betrieben. Die Klingel wird von einem Drehanker betätigt, an dessen Ende ein Hämmchen gegen zwei Glocken schlägt. Der Drehanker schwankt im Rhythmus des Wechselstromes, der durch die beiden Spulen eines Elektromagneten fließt. Telefone mit dem angenehmer klingenden Tonruf besitzen eine Oszillatorschaltung mit Verstärker und einem kleinen Lautsprecher.

Verteilungssysteme

Ursprünglich waren die Telefone über reine Kupfer-, Bronze- oder galvanisierte Eisendrähte mit Überlandleitungen zu den Fernsprechhämmern verbunden. Überlandleitungen besitzen eine Reihe von Nachteilen: Um die Witterungseinflüsse gering zu halten, müssen dicke Drähte, als sie der Strom erfordert, verwendet werden. In der Nachbarschaft von Hochspannungsanlagen sind sie Induktionsstörungen ausgesetzt. Ebenso ungeschützt sind sie gegen atmosphärische Störungen. Leitungen und Masten stören das Landschaftsbild,





Oben: Im Bestimmungsland des Überseege-spräches verbindet das Fernamt (links) die internationalen Kabelstrecken mit dem gewünschten Ortsamt (rechts) für die Gesprächsteilnehmer. Die gewählten Zifferngruppen eines Fernrufes z.B. von London nach USA haben folgenden Sinn: 010 verbindet den Anrufer über das Ortsamt mit dem internationalen Fernamt. Eine weitere 1 führt den Ruf nach USA, und die nächsten drei Ziffern führen zur gewünschten Stadt, 305 z.B. nach Miami. Die verbleibenden Ziffern stellen die Verbindung zum gewünschten Teilnehmer über das Ortsamt her.

Links: Darstellung von Unterwasser- und Land-koaxialkabel. Koaxialkabel können sehr viel höherfrequente Signale als mehradriges Kabel übertragen. Das gezeigte Unterwasserkabel besitzt eine Gesprächskapazität von 4 000 gleichzeitig ablaufenden Telefongesprächen. Die mehradrigen Koaxial-Landkabel könnten bis zu 16 200 Telefongespräche bei Trägerfrequenzen bis zu 12,5 MHz führen. Zwischenverstärker sind alle 2 km nötig.

außerdem ist der Aufbau und die Unterhaltung solcher Strecken mit hohen Kosten verbunden. Heute baut man nur noch kurze Leitungen in Gebieten geringer Teilnehmerdichte. Im allgemeinen verlegt man große, mehradriges Kabelstrecken in unterirdischen Schächten. Die Kabel besitzen entweder einen Papier- oder einen Polyethylenisoliermantel, der die Aluminium- oder Cadmium-Kupferleiter umgibt. Kabel dieser Art können bis zu 4800 Leiterpaare enthalten.

Große Hauptkabel teilen sich nach und nach in kleinere Kabel bis hin zu Verteilungsstellen auf. Von diesen Verteilungsstellen gehen Einzelpaarkabel zum Telefon des Fernsprechteilnehmers.

Vermittlungsstellen

Die Hauptkabel verlaufen unterirdisch zu den Vermittlungssämttern und enden dort in Leitungsverteilern. Hier werden die Kabel in ihre Aderpaare aufgeteilt und mit den Baugruppen des Amtes verbunden.

Die nationalen Telefonsysteme unterscheiden sich in einigen Varianten voneinander, obgleich in technisch hochentwickelten Ländern die Fernmeldeämter heute alle automatisch arbeiten. Der erste entscheidende Schritt zur Beseitigung der Handvermittlungssämtter wurde mit der Erfindung eines elektromechanischen Wahlschalters im Jahre 1889 von Almon B. Strowger, einem Leichenbestatter aus Kansas City, eingeleitet. Er hatte die Idee, Schalter mit mehreren Schaltstellungen im Vermittlungsaamt zu installieren. Die Schalter sollten durch Betätigen der Wahlscheibe des Telefonapparates die Verbindungen automatisch herstellen. Je nach eingestelltem Drehwinkel der Scheibe wurde eine entsprechende Impulsserie erzeugt.

Die Schalter nach dem Strowgerschen Prinzip heißen Wähler, man findet sie, dem technischen Fortschritt angeglichen, noch in einigen Vermittlungssämttern. Sie sind in

vielen Ländern der Erde die Basis der automatischen Wählsysteme.

Ein Wähler besteht in seiner einfachsten Form aus einem beweglichen Schaltarmsatz; am Ende eines Schaltarmes befinden sich Schleifedekontakte. Die Schleifedern überstreichen während ihres Bewegungsvorganges auf einer Kontaktbank fest angebrachte Kontaktreihen. Liegt ein Gespräch an, wird die Kontaktbank automatisch abgesucht. An den festen Kontakten der Kontaktbank sind die Fernleitungen angeschlossen. Der Wähler ist so lange in Bewegung, bis er eine freie Verbindung gefunden hat. Diese Leitung überträgt das Gespräch bis zum Ende.

Hebt der Teilnehmer den Telefonhörer ab, wird der Stromkreis zum Vermittlungsaamt geschlossen, und die Schleifedern des Drehwählers (1. Vorwähler), der jedem Teilnehmer fest zugeordnet ist, beginnen ihren Suchlauf. Der Suchvorgang hält so lange an, bis ein freies nachfolgendes Schaltglied (1. Gruppenwähler) gefunden ist. Wenn dies der Fall ist, beendet der Vorwähler die Suche, und der Anrufer erhält automatisch ein Tonzeichen übermittelt. Oftmals folgen als weitere Schaltglieder ein zweiter, dritter und vierter Gruppenwähler. In den Schrittschaltwähler-Ämtern bestehen heute die Gruppenwähler und der darauf folgende Leitungswähler aus Hebdrehwählern. Dies sind Schaltwähler (die eigentlichen Strowger-Nachfolger), die in zwei Ebenen Bewegungen ausführen können. Diese Wähler besitzen im allgemeinen mehr als eine Kontaktbank. Jede Kontaktbank besteht aus zehn (heute elf) horizontal bogenförmig angeordneten Kontakten, Dekadenkontakte genannt. Die Kontakte liegen in gleichmäßigem Abstand nebeneinander. Bei einem 100teiligen Hebdrehwähler befinden sich zehn Kontaktbänke untereinander. Die Kontaktbänke sind so angeordnet, daß die Dekadenkontakte konzentrisch zur Schaltarmachse liegen; die Achse trägt den Schaltarm, der die Kontakte abgreift. Die

Anordnung ist so aufgebaut, daß der Schaltarm mit zwei Bewegungen jeden Kontakt — mit Hilfe einer Vertikalbewegung (Heben) und einer Drehbewegung (Drehen) — erreichen kann. Der Schaltarm wird mit einer Hebstoß- und einer Drehstoßklinke arretiert.

Wählt der Anrufer die Nummer 3487, hebt die zuerst gewählte Ziffer — die 3 — den Kontaktarm des ersten Gruppenwählers in die dritte Kontaktreihe. Die Reihenkontakte sind mit den Sprechleitungen zum 2. Gruppenwähler verbunden. Der 1. Gruppenwähler bewegt sich entlang der dritten Reihe, bis er einen Kontakt gefunden hat, an dem ein gesprächsfreier 2. Gruppenwähler liegt. Wird eine freie Leitung gefunden, bewegt sich der Schaltarm des 2. Gruppenwählers in die vierte Reihe (4 war die zweite gewählte Ziffer), und der gleiche Vorgang wie beim ersten Gruppenwähler läuft ab.

Die Suche setzt sich fort, bis endgültig ein Leitungswähler gefunden ist, an dessen Kontakten die Fernsprechverbindung zum Teilnehmer liegt. Die dritte gewählte Ziffer hebt den Schaltarm auf Schritt 8 und die vierte dreht ihn im Uhrzeigersinn auf den Kontakt, an dem die Nummer 3487 angeschlossen ist. Die Steuerschaltung des Leitungswählers ist so aufgebaut, daß die Leitung des Angerufenen überprüft werden kann. Wenn die Leitung frei ist, betätigt ein Wechselstrom die Glocke und es ertönt ein Klingelzeichen. Bei belegter Leitung erhält der Anrufer ein Besetztzeichen, und der Anruf wird nicht vom Gebührenzähler erfaßt. Wird die Gabel nach Gesprächsende aufgelegt, fallen alle Wähler in ihre Grundstellung zurück.

Theoretisch müßte ein Wähleramt wie dieses einem Teilnehmer Verbindungsmöglichkeiten zu 9999 weiteren Teilnehmern schaffen, denn es stehen zehn Verbindungsmöglichkeiten zum 1. Gruppenwähler mal zehn zum 2. und mal einhundert vom Leitungswähler abzüglich einem Anschluß vom Anrufer zur Verfügung. In Wirklichkeit ist die Kapazität nicht so groß. Die oberste Kontaktreihe der 1. Gruppenwähler ist mit Anlagenteilen verbunden, die es ermöglichen, Ferngespräche zu führen. Der Code 118 ist für Gespräche mit

der Fernsprechauskunft reserviert, 110 und 112 führen zu Leitungen mit Notdiensten.

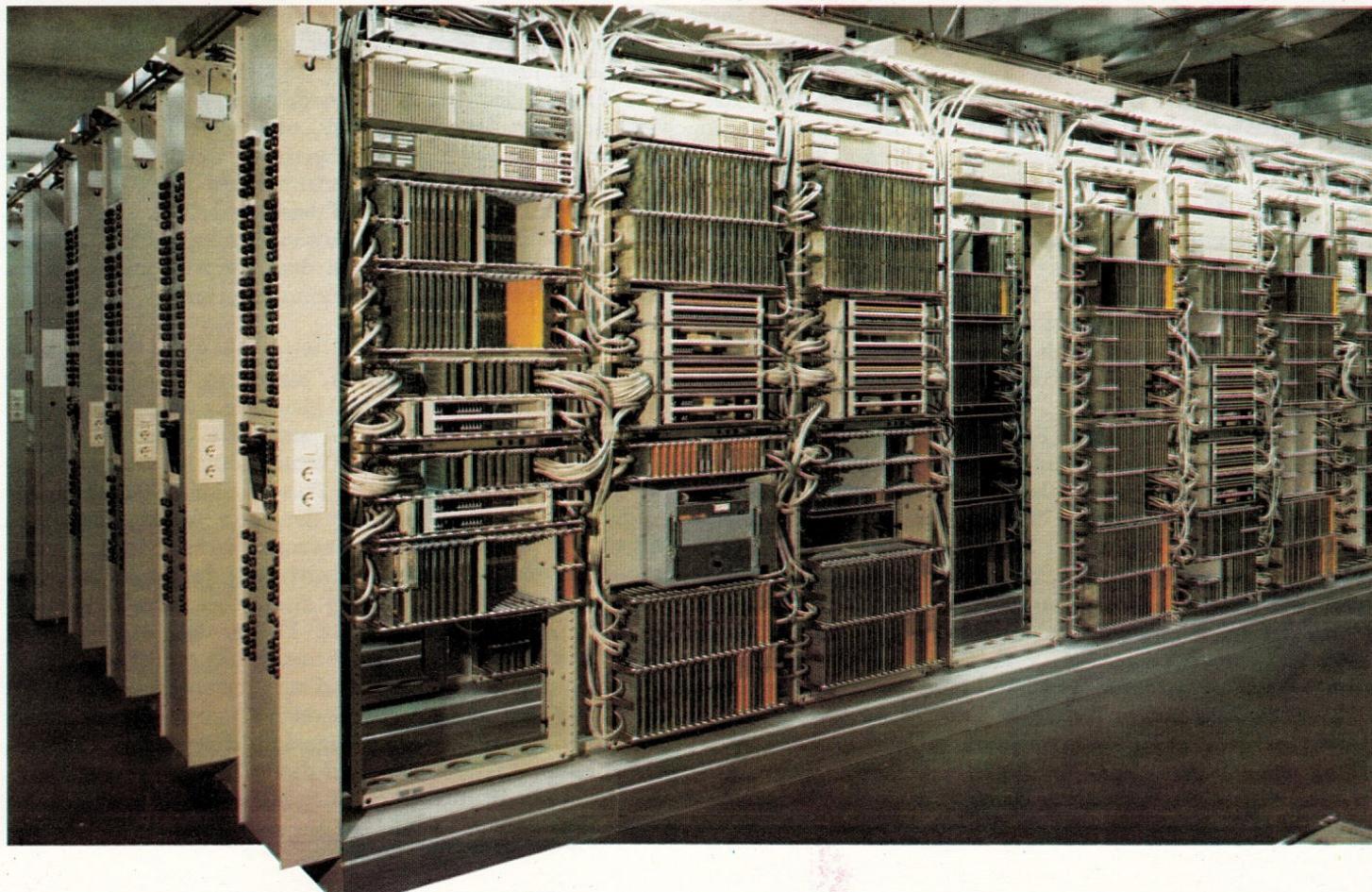
Eine weitere Kontaktbank ist mit den zweiten Gruppenwählern verbunden, um Leitungen naheliegender Ämter freizugeben; eine Kontaktbank der 2. Gruppenwähler ist für weiter entfernte Wahlämter vorgesehen. Manchmal sind auch Gruppenwähler einer dritten Gruppe vorhanden; sie sind als weitere Auswahlmöglichkeit in Gebieten hoher Fernsprechdichte notwendig.

Alle diese Vorkehrungen nehmen mindestens vier Kontaktbänke in Anspruch, so daß die Kapazität auf 6000 Zuführungen beschränkt bleibt.

Leitungen, die aus anderen Wählämttern eingehen oder vom Vermittlungsdienst kommen, werden direkt zu den 1. Gruppenwählern geführt. Sie haben dann zum Teilnehmer und zum anderen Amt sofortigen Zugang und natürlich auch zu abgehenden Leitungen weiterer Ämter. Der Zugang zu abgehenden Leitungen befähigt das Wählamt, als Schaltzentrale zwischen anderen Wählämttern zu arbeiten. Auf diese Weise ist es nicht erforderlich, zusätzliche Schaltungen zwischen den einzelnen Ämtern aufzubauen. Der Wählcode für eine solche Verbindung ist dann so aufgebaut, daß der Weg des Anrufers durch das nächstgelegene Vermittlungssamt zum Zwischenamt führt. Ein weiterer Code vervollständigt die Leitungsverbindung vom Zwischenamt zum Vermittlungsamt, das der Anrufer als letztes benötigt.

Insgesamt ist das Bundesgebiet hierarchisch in Gruppen von Vermittlungssämlern unterteilt. Für die Abwicklung des Selbstwählfernverkehrs hat man die Ortsnetze in Fernwählerämter-Bereiche zusammengeschlossen, denen jeweils ein Netzknotenpunkt zugeordnet ist. Das Landesfernwahlnetz ist, absteigend von der höchsten zur untersten Netzebene, eingeteilt in Zentralamtsbereiche mit dem Zentralamt (ZA)

Unten: Moderne elektronische Telefonzentralen anlagen wie die hier abgebildete, werden von Computern gesteuert.



als Knoten, Hauptamtsbereiche (HA) mit dem Hauptamt als Netzknoten, Knotenamtsbereiche mit dem Knotenamt (KA) als Netzknoten und die Ortsamtsbereiche mit je einem Endamt (EA) als Endpunkt des Landesfernwahlnetzes. Jedem Ortsamtsbereich ist eine bestimmte mehrziffrige Kennzahl zugeordnet, die nach der Verkehrsausscheidungsziffer 0 und vor der Rufnummer des gewünschten Teilnehmers gewählt werden muß. Die 1. Ziffer kennzeichnet das ZA, die 2. das HA, die 3. das KA und die vierte das EA.

Systeme mit gemeinsamer Stelleinrichtung

Obwohl heute noch Ämter mit der beschriebenen Ausrüstung bzw. den verbesserten Edelmetall-Motor-Drehwählern (EMD-Wählern) ausgerüstet sind, treten immer mehr Systeme mit gemeinsamen Stelleinrichtungen in den Vordergrund.

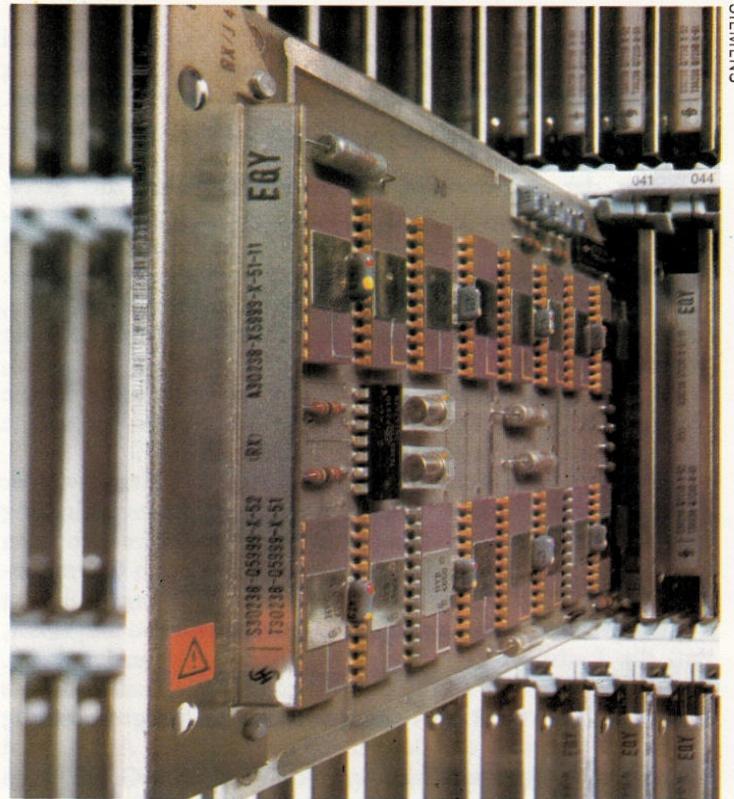
In Systemen dieser Art läuft die Rufinformation zunächst zu einer zentralen Erfassung, wo sie bearbeitet wird und wo der Weg durch das Amt gesucht wird, den der Ruf nehmen soll. Der Anrufer braucht nicht zu warten, bis alle Schalter abgesucht sind und eine freie Leitung reserviert wird.

Ein solches System ist das Crossbar-System, ein System, das mit Koordinatenschaltern arbeitet.

Der Koordinatenschalter besteht aus einer matrixartig angeordneten Vielzahl von Relais. Jedes Relais besitzt mehrere Kontaktfedersätze, die vom Relaisanker betätigt werden. Jeder Fernsprechteilnehmer erhält mehrere Anschlüsse und eine Logikschaltung zugeordnet, die sicherstellt, daß nicht zwei Anrufer einen gemeinsamen Anschluß belegen. Die Kontaktfedersätze bilden ein Netzwerk fester Edelmetallkontakte, von denen aus ein Weg elektrisch gewählt wird. Dieses System besitzt weitaus weniger bewegliche Teile als das frühere, es ist schneller und arbeitet ruhiger. Mittlerweile ist es in Europa und in USA weit verbreitet; allerdings ist auch schon ein weiter entwickeltes System in Gebrauch, bei dem Reedrelais eingesetzt werden. Dieses System ist dabei, die Vorgänger abzulösen.

Ein Reedrelais besteht aus magnetischen Kontaktzungen, die in einer Glaskolben eingeschmolzen sind. In der Glaskolben befindet sich eine Schutzgasfüllung. Um die Röhre ist ein Elektromagnet angebracht, der die Kontakte schaltet. Jeder eingegebene Kontakt besteht aus ferromagnetischem Material. In den Glaskolben sind Anschlußdrähte zu den Kontaktzungen eingeschmolzen. Das Schutzgas im Inneren der Röhre verhindert, daß die Kontaktobерflächen verschmutzen. Fließt ein Strom durch den Elektromagneten, ziehen sich die Kontakte an und der Stromkreis wird geschlossen. Geht zum Amt eine Leitungsanforderung ein, stellt eine dem Teilnehmer zugeordnete Baugruppe den Ruf fest und gibt Signale zur Stelleinrichtung ab. Die Stelleinrichtung sucht einen Weg durch die Reedrelais-Schalter. Ein ausgewähltes Überwachungsrelais setzt eines von mehreren Registern. Wählt der Anrufer die Nummer, hält das Überwachungsrelais entsprechende Reedrelais in Speicherstellung. Die Relais im Register bleiben offen, während die Stelleinrichtung überprüft, ob die Leitung nicht belegt oder fehlerhaft ist. Bei freier Leitung wählt und schaltet die Stelleinrichtung einen Weg vom angerufenen Teilnehmer zum gesetzten Überwachungsrelais und überprüft erneut, ob die Verbindung ordnungsgemäß durchgeschaltet ist. Das Überwachungsrelais veranlaßt einen Rufton zum angerufenen Teilnehmer und gibt einen Ton zum Anrufer.

Die Register und die Stelleinrichtung werden für weitere Leitungsanforderungen freigegeben. Die Kontrolle der Verbindung bleibt dem Überwachungsrelais überlassen. Die Einstelleinrichtung kann zwar nur eine bestimmte Leitung in der Zeiteinheit zusammenstellen, sie arbeitet aber so schnell, daß dieser Nachteil nicht bemerkt wird.



Elektronische Wählamtanlagen benutzen Steckerschaltungen; sie machen die Wartung und Reparatur einfacher.

Andere Entwicklungen

Gleichgültig, welche Schaltungen sich in einem Wählamt befinden: Das Problem, elektrische Ströme auf weite Entfernung auszusenden, bleibt immer gleich. In den Anfangsjahren der Telefontechnik wurden dafür sehr dicke Kabel eingesetzt. Wegen des großen Querschnittes besaßen sie geringe Widerstände — der Strom blieb groß genug.

Heute werden innerhalb einer zu überbrückenden langen Distanz mehrere Verstärker in die Leitung geschaltet. Mit dem Einsatz der Amplitudenmodulation können eine Reihe verschiedener Gespräche mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen auf einem Kabel übertragen werden. Als Leitung verwendet man entweder mehradrige Kabel oder Koaxialkabel.

Der Strom wird meist mit Transistorverstärkern verstärkt. Für gewöhnliche Landkabel verwendet man Trennverstärker, um ein Übersprechen zwischen den Adern gering zu halten. Unterwasserkabel erfordern kompliziertere Verstärkeranordnungen.

Bei kürzeren Entfernungen wird ein neuartiges System eingesetzt. Dadurch gelingt es, bis zu 30 Telefongespräche mit Pulscode-Modulation (PCM) gleichzeitig über ein Adernpaar zu führen. Das Prinzip beruht auf einer Umwandlung des anliegenden Analogsignals (kontinuierliche Änderungen) in eine digitale Pulssequenz. Die Pulse stellen binär codiert die Amplitude des Analogsignals dar. Das Analogsignal wird hierzu mit der zweifachen maximal auftretenden Signalfrequenz abgetastet. Weil die Übertragung des Sprachbereiches keine Hi-Fi-Qualität notwendig macht, beschnidet man die höchste Frequenz auf 3,4 kHz. Die Abtastgeschwindigkeit ist auf 8 kHz festgelegt, das bedeutet 8000 Abtastungen in einer Sekunde. Koaxialkabel sind zur Übertragung hochfrequenter Schwingungen in MHz-Bereich gedacht. Mit ihrer Hilfe kann man daher viele PCM-Signale gleichzeitig übertragen. In der Empfangsstation werden die PCM-Signale mit einem PCM-Decodierer in das ursprüngliche Analogsignal zurückgewandelt.

TELEMETRIE

Telemetriesysteme können Daten über große Entfernnungen — z.B. zwischen der Erde und Satelliten oder Raumschiffen — übertragen.

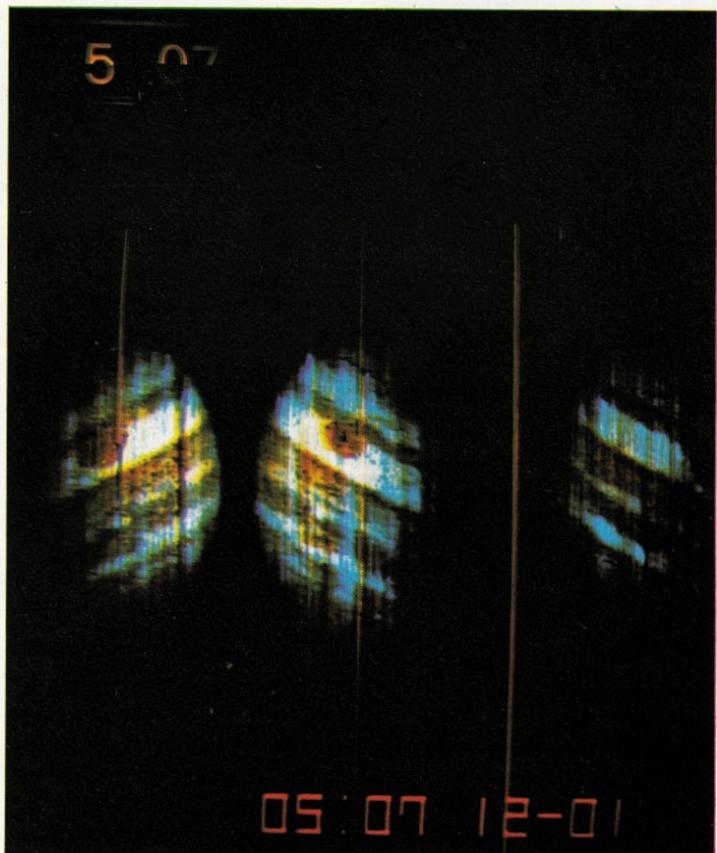
In der Telemetrie misst man physikalische Größen wie Spannung, Druck oder Temperatur und überträgt sie an eine Empfangsapparatur, die die gemessenen Größen anzeigt oder aufzeichnet. Die Verbindung zwischen Detektor und Empfänger können elektrische Leitungen, Radio- oder Mikrowellen sein.

Ein Telemetriesystem besteht aus einem Detektor, einem Übertragersystem, einem Empfängersystem und einer Ausgabeeinheit, die die Daten anzeigt oder aufzeichnet.

Elektrische Telemetrie

Elektrische Telemetrie, die z.B. zur Überwachung von Kraftwerken benutzt wird, besteht in der einfachsten Form aus einem Fernmeßsystem. In einem Umspannwerk werden Spannungs- und Stromtransformatoren dazu benutzt, Volt- und Ampermeter anzusteuern. Durch Verwendung von Meßdrähten, die das Volt- und Ampermeter mit Meßgeräten im zentralen Steuerraum verbinden, kann hier eine Ablesung der Meßwerte erfolgen. Dieses System arbeitet recht gut über kurze Entfernnungen, wenn die Anzahl der Ablesegeräte klein ist. Da jede Information eine eigene Schaltung oder einen eigenen Kanal besitzen muß, wird ein solches System teuer und nicht mehr anwendbar bei einer großen Anzahl von Kanälen über größere Entfernnungen.

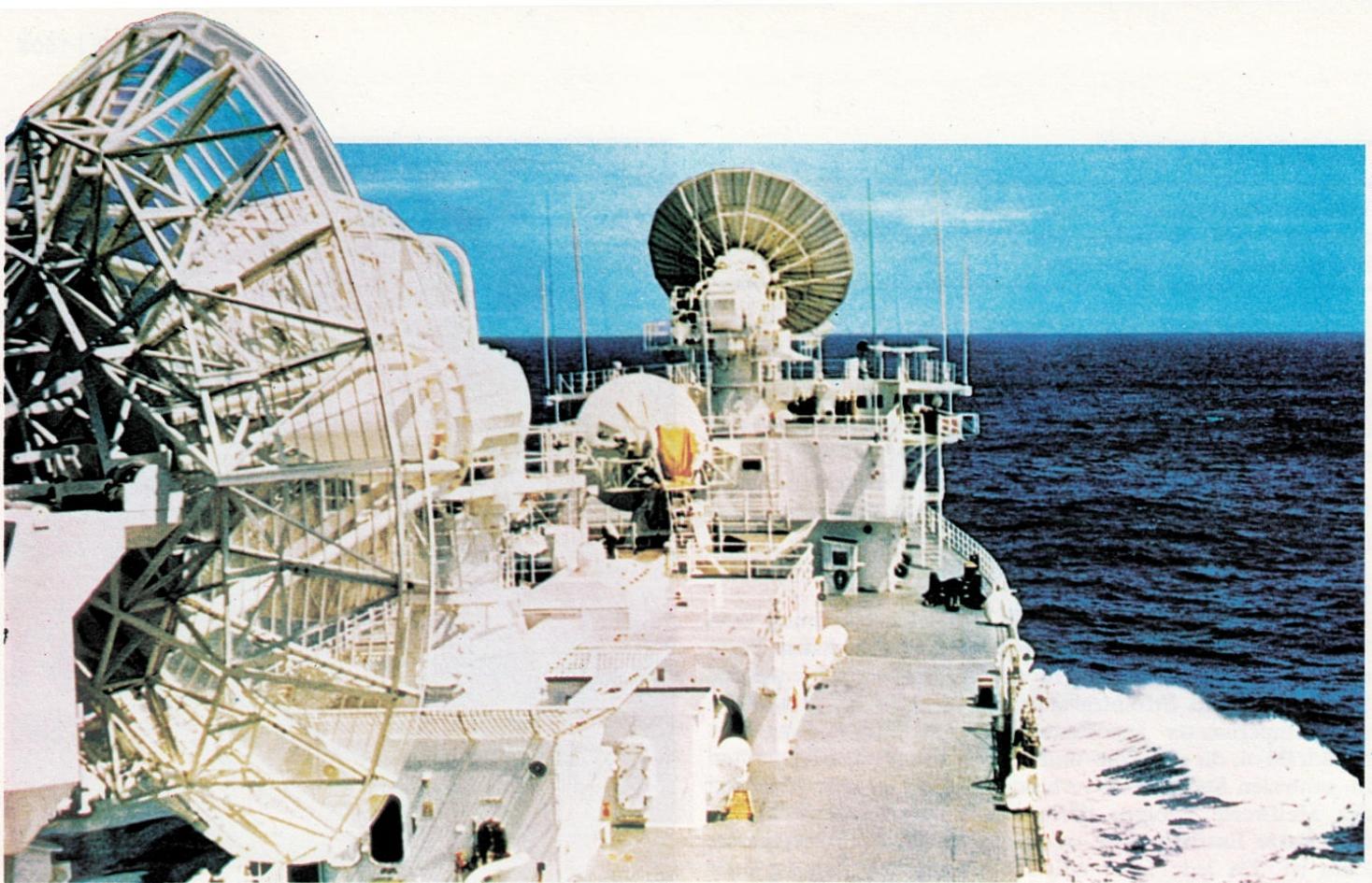
Eine Variation dieses Systems verwendet Geräte, die elektrische Pulse erzeugen, deren Frequenz dem Wert der gemessenen Größe proportional ist. Diese Pulse werden an das Empfangsgerät übertragen, das die Pulse wieder in Spannungs-, Strom- oder Leistungswerte umsetzt. Dieses Verfahren ist als Pulsfrequenztelemetrie bekannt. Bei der Pulsweiten-



Oben: Farbaufnahmen des Planeten Jupiter, die über eine Entfernnung von 800 Millionen Kilometer von der Raumsonde 'Pionier 10' übertragen wurden.

Unten: Ein Kontrollraum, in dem die Systemdaten an farbigen Kathodenstrahlröhren wiedergegeben werden.





PHOTRI

telemetrie werden die Längen der Pulse, die den gemessenen Werten proportional sind, und nicht deren Frequenzen, übertragen.

Multiplex-Telemetrie

Damit Telemetriesignale über *einen* Kanal übertragen werden, können, dürfen die einzelnen Signale zeitlich nicht zusammenfallen. Dies wird durch verschiedene Bündelungs- oder Multiplexverfahren erzielt, von denen ein Beispiel die Zeitmultiplextechnik (auch TDM = Time Division Multiplex; siehe MODULATION) ist. Die Zeitmultiplextechnik tastet jedes zu übertragende Element zyklisch ab und überträgt die Signale in einer Ablauffolge an die Empfangsstation. Der Empfänger tastet die ankommenden Signale ab, wobei jede Pulsfolge an das entsprechende Anzeige- oder Aufzeichnungsgerät weitergeleitet wird. Die Übertragung und der Empfang der Pulsfolge werden von einem Synchronisierpuls, der zu Beginn eines Abtastzyklus ausgesendet wird, begleitet. Zeitmultiplex kann Pulsfrequenz- oder Pulsweiten-Systeme verwenden.

Radio-Telemetrie

Bei der Radiotelemetrie findet die Datenübertragung zwischen zwei Stationen mit Hilfe von Radiosignalen statt. Diese Radiosignale werden von einem Zwischenträgersignal, das die Daten enthält, moduliert. Der Zwischenträger kann einen Datenkanal enthalten, oder er kann selbst zeitgebündelt sein. Die häufigste hier verwendete Modulationsart ist die Frequenzmodulation. Das Trägersignal kann durch eine Gruppe von Zwischenträgersignalen, die jeweils eine andere Frequenz haben, moduliert werden.

Neben der Frequenzmodulation (FM) kennt man auch die Pulsmodulation. In diesem Falle wird das übertragene Signal durch Änderung des Phasenwinkels der Trägerwelle dargestellt.

Die verschiedenen Bündelungsmethoden und verschiedenen Arten der Modulation werden auf unterschiedliche Weise so kombiniert, daß die Übertragung von Daten mit Hilfe der Telemetrie die verschiedenen Anforderungen am besten erfüllt. Viele Steuerungssysteme für Flugkörper verwenden FM-FM-Telemetrie, bei der die Trägerwelle durch eine

Oben: Die USNS 'Vanguard' der NASA. Sie kann Signale, die von Satelliten oder Raumschiffen kommen, empfangen. Sie spielte eine bedeutende Rolle beim Apolloprogramm.

Gruppe von Zwischenträgern frequenzmoduliert wird, die selbst wieder durch die auf ihnen befindlichen Datensignale frequenzmoduliert sind. FM-PM-Telemetrie ähnelt der FM-FM-Telemetrie. Hier ist die Trägerwelle phasenmoduliert, und die Zwischenträger sind frequenzmoduliert.

PDM-FM-Telemetrie (PDM = Pulsdauermodulation) verwendet einen pulsweitenmodulierten Zwischenträger, um die Trägerwelle frequenzmodulieren. PDM-PM-Telemetrie verwendet ebenfalls einen pulsweitenmodulierten Zwischenträger, der die Trägerwelle phasenmoduliert. Sollen große Datenmengen übertragen werden, verwendet man PDM-FM-FM-Telemetrie. Dieses System hat eine Trägerwelle, die von verschiedenen Zwischenträgern frequenzmoduliert ist, von denen jeder durch PDM frequenzmoduliert ist.

Anwendungen

Neben der schon erwähnten Überwachung in Kraftwerken findet die Telemetrie auch in Verteilungssystemen wie z.B. Gas-, Öl- oder Wasserpipelines Anwendung. Hierdurch wird es möglich, Durchflußgeschwindigkeiten und Druck in den Pipelines von nur wenigen Kontrollstationen aus kontinuierlich zu überwachen.

Eine der wichtigsten Anwendungen von Telemetrie ist die Übertragung von Daten zu und von Satelliten, Raumsonden und unbemannten Raumschiffen. Das in unbemannten Raumschiffen eingesetzte Telemetriesystem überträgt Daten, die den Kurs, die Position, die Geräte, die Atem- und Pulsfrequenz der Astronauten betreffen.

Satelliten und unbemannte Raumschiffe übermitteln viele Daten, die von den speziellen Aufgaben der Raumkörper abhängen. Abgesehen von den Sensoren, die die an Bord befindlichen Systeme wie z.B. das Energieversorgungssystem steuern, haben Satelliten und Raumsonden Geräte an Bord, die Daten über kosmische Strahlung, magnetische Felder oder neue Rohstoffquellen auf der Erde aufzeichnen.

TELEOBJEKTIV

Mit einem Teleobjektiv können weit entfernte Gegenstände vergrößert werden. Trotz seiner großen Brennweite ist ein solches Linsensystem kürzer und handlicher als eine einzelne Linse mit der gleichen Brennweite.

Die Brennweite eines Objektivs einer Kamera bestimmt die Größe der Abbildung eines Gegenstandes. Will man einen weit entfernten und klein erscheinenden Gegenstand noch hinreichend groß abbilden, so muß man größere Brennweiten benutzen. Bei Abbildung mit einer einfachen Konvexlinse

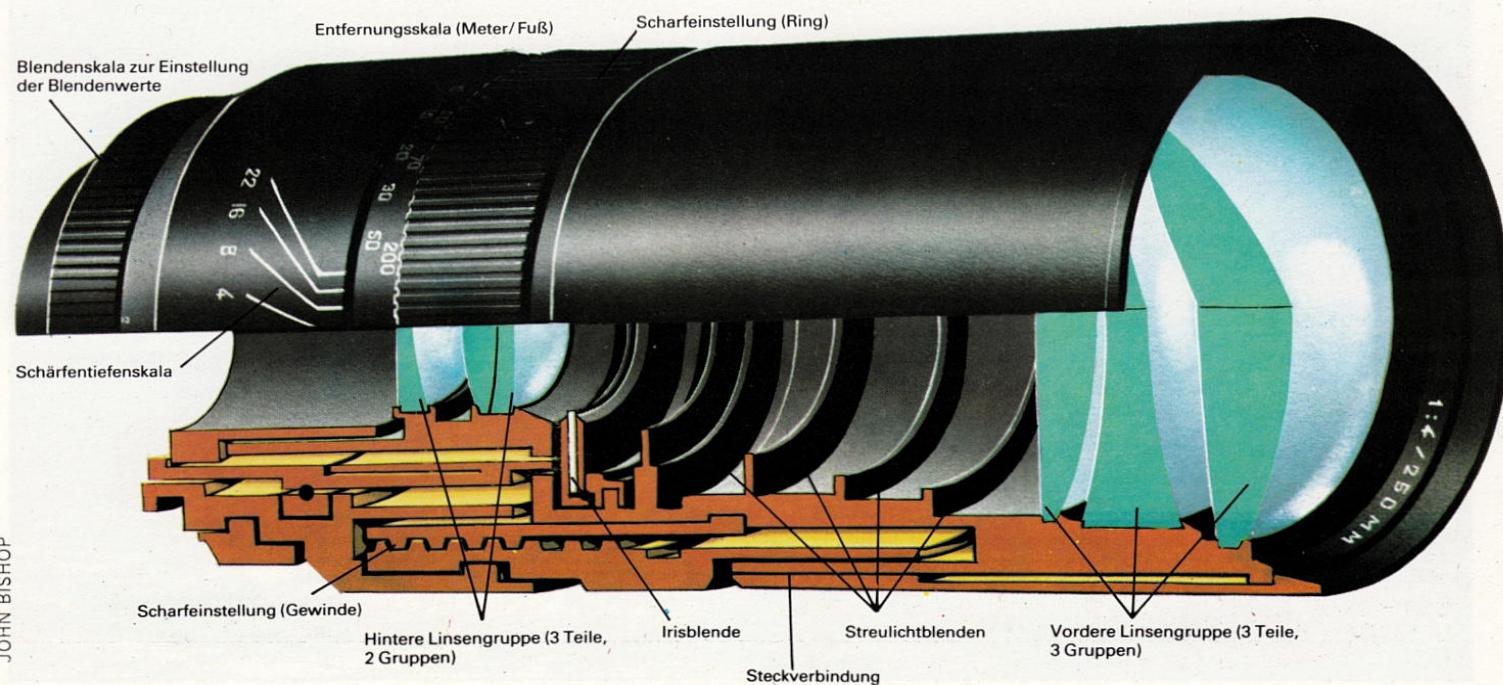
Rechts: Eine 35-mm-Filmkamera mit einem Teleobjektiv von 500 mm Brennweite. Trotz dieser großen Brennweiten ist das System kürzer als 500 mm. Die vordere Linse sitzt etwas innerhalb des Rohres, damit sie von Streulicht aus anderen Richtungen abgeschirmt wird. Wegen seines Gewichtes muß das Teleobjektiv zusätzlich unterstützt werden, um Verbiegungen zu vermeiden.

Unten: Der Aufbau eines typischen Teleobjektivs, hier mit einer Brennweite von 250 mm und einer Lichtstärke von f:4. Die vordere Linsengruppe besteht aus 3 Elementen und würde ein Bild in etwa 500 mm Abstand entwerfen. Die hintere Linsengruppe verringert diesen Abstand auf handlichere Dimensionen. Die Streulichtblenden schirmen Irisblendenöffnung und Film gegen Lichtreflexe von der Innenseite des Rohres ab.

(Sammellinse) bedeutet eine größere Brennweite aber auch, daß der Film immer weiter von der Linse entfernt liegen muß. Damit wird die Kamera immer länger, und man erreicht schnell die Grenzen des praktisch Möglichen. Im Jahre 1891 baute Dallmeyer ein Linsensystem, mit dem man noch größere Brennweiten erreicht, ohne daß die Kamera zu unhandlich wird. Hinter eine normale Konvexlinse stellte er eine Konkavlinse (Zerstreuungslinse). Das von der Sammellinse kommende, sich zusammenziehende (konvergente) Strahlenbündel wird dadurch etwas auseinander gespreizt, also weniger konvergent gemacht, so daß die Brennweite des Linsensystems vergrößert wird. Da der Abstand von der Konkavlinse zum Film erheblich kleiner ist als die effektive



SYNTAX FILMS

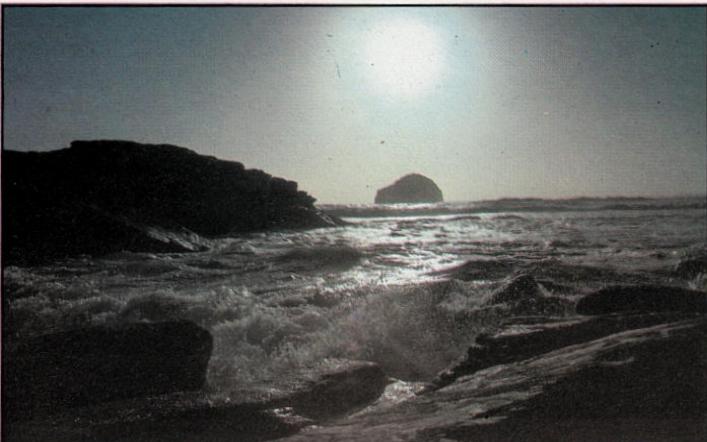


Brennweite des Linsensystems, wird die Kamera kleiner als mit einer Sammellinse der gleichen Brennweite.

In den ersten Teleobjektiven war der Abstand zwischen den beiden Teilen des Linsensystems veränderlich. Damit konnte man verschiedene Vergrößerungen wählen, allerdings war die Scharfeinstellung (Fokussierung) etwas umständlich. Heute werden die meisten Teleobjektive für Fotoapparate mit fester Brennweite hergestellt. Die frühere Methode ist aber in den Vario-Objekten ('Gummilinsen', 'Zoom-Linsen') mit verbessertem Bedienungskomfort wieder aufgetaucht.

Der Vorteil eines Teleobjektivs gegenüber einer Sammellinse mit der gleichen Brennweite lässt sich beim Teleobjektiv durch das Verhältnis zwischen Brennweite und dem Abstand Linsensystem-Film ausdrücken. Bei den meisten heutigen Teleobjektiven liegt dieses Verhältnis bei etwa 2; damit wird die Kamera also nur halb so lang. Für sehr große Brennweiten

Unten: Verschiedene Linsen ergeben verschiedene Aufnahmen. Die 28-mm-Weitwinkellinse (links) erfasst auch den Himmel und die Sonne; die Standard-Linse (55 mm, rechts) hat dieselbe Perspektive wie das bloße Auge, und die mit dem 135-mm-Teleobjektiv gemachte Aufnahme verändert die Perspektive.

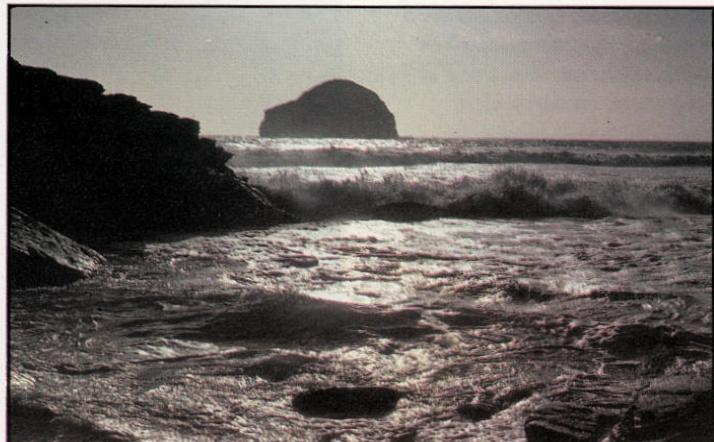


kann man 'katadioptrische' Systeme mit gekrümmtem Spiegel einsetzen (Spiegelobjektive). Wegen der Blendenschirme zum Ausblenden von Streulicht kann man hier jedoch keine der üblichen Irisblenden zur Einstellung der Öffnung benutzen. Statt dessen nimmt man einen Satz von Graufiltern.

Vorsatzlinsen und Wechselobjektive

Ein preiswerter Weg zu einem Teleobjektiv ist die Benutzung einer Vorsatzlinse oder eines Telekonverters. Beim Konverter schraubt man ein kleines Rohr mit Konkavlinse an die Stelle des üblichen Objektivs auf. Damit erreicht man eine zwei- bis dreifache Vergrößerung der Brennweite. Moderne Kameras werden häufig mit einem Satz auswechselbarer Objektive angeboten, unter denen sich auch verschiedene Teleobjektive befinden können.

Das Arbeiten mit Teleobjektiven ist natürlich bei Spiegelreflexkameras einfacher als bei Kameras mit getrenntem Sucher, da das Gesichtsfeld mit zunehmender Brennweite immer mehr abnimmt. Bei großen Brennweiten ist eine Aufnahme nur noch vom Stativ aus möglich, da auch kleinste Bewegungen—wegen des großen Gewichtes des Objektivs auch für die ruhigste Hand unvermeidlich—zu verwackelten Bildern führen.



TELESKOP (FERNROHR)

Mit einem Fernrohr lassen sich Gegenstände erkennen, die für das bloße Auge normalerweise wegen ihres großen Abstandes und ihrer Lichtschwäche nicht sichtbar sind. Mit großen astronomischen Teleskopen kann man Sterne sehen, die mehrere millionenmal lichtschwächer sind als direkt sichtbare Himmelskörper.

Die Idee, weit entfernte Gegenstände scheinbar näher zu rücken, um Einzelheiten klarer erkennen zu können, wurde etwa zu Beginn des 17. Jahrhunderts in die Tat umgesetzt. An verschiedenen Orten tauchten unabhängig voneinander entwickelte Fernrohre auf. Um 1609 konnte man sie praktisch überall kaufen; wenig später begann Galilei (1564 bis 1642) mit Beobachtungen des Sternhimmels und leitete damit einen Umschwung in der Astronomie ein. Neuere Anwendungen der Teleskope finden sich in der Wehrtechnik (Zielfernrohr usw.), in verschiedenen Formen der Beobachtung und Kontrolle von Vorgängen auf der Erde und im Weltraum sowie in der Labortechnik (Spektroskopie). In der Astronomie sind sie nach wie vor das wichtigste Forschungsgerät.

In allen Teleskopen findet man zwei wesentliche Teile:



Die Bezeichnung 'Teleskop' stammt von diesem teleskopisch ausziehbaren Fernrohrtyp, den man zum Transport auf eine kurze Länge zusammenschieben kann. Diese Art von Fernrohr ist heute weitgehend von Binokularfernrohren abgelöst worden.

Zunächst gibt es eine Vorrichtung zur Erzeugung eines (reellen) Bildes. Dieses 'Zwischenbild' wird dann durch eine 'Augenlinse (Okular)' betrachtet. Nach der Art der Bildzeugung unterscheidet man 'dioptrische' Teleskope, bei denen eine Linse (das 'Objektiv') ein Bild entwirft, und 'katoptrische' Teleskope, in denen das Bild durch einen Hohlspiegel erzeugt wird. Diese 'Spiegelteleskope' findet man vor allem in der Astronomie. Es gibt auch kombinierte Teleskope, in denen Linsen und Spiegel gemeinsam verwendet werden. Für sehr weit entfernte Gegenstände entsteht das Zwischenbild im Brennpunkt des Objektivs oder des Hohlspiegels. Das Okular wirkt wie ein einfaches Vergrößerungsglas, durch das

man das Bild betrachtet. Oft ist eine fotografische Aufzeichnung des Bildes erwünscht. Dann verzichtet man auf das Okular und bringt — wie bei einer Kamera — einen Film oder eine Platte in die Brennebene des Objektivs (oder des Spiegels).

Vergrößerung

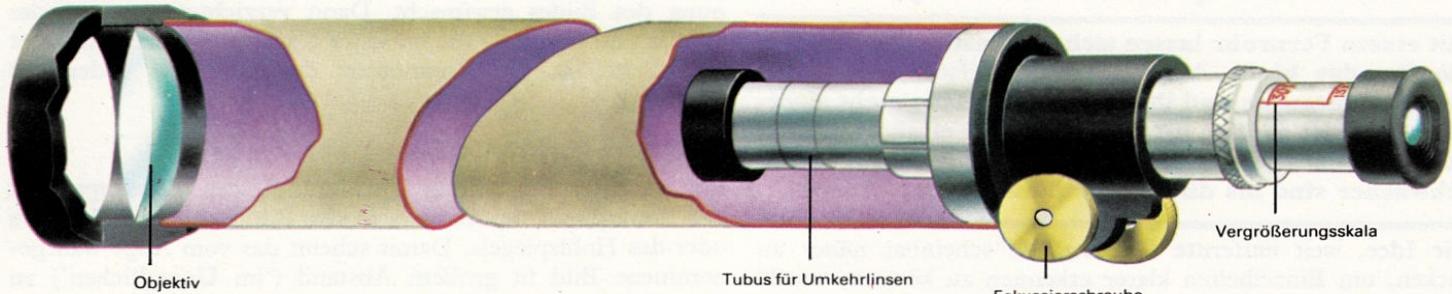
Bei normaler Einstellung ('Justierung') des Teleskops liegt der Brennpunkt des Okulars in der Bildebene des Objektivs oder des Hohlspiegels. Damit scheint das vom Auge wahrge nommene Bild in großem Abstand ('im Unendlichen') zu liegen. (Der Abstand zwischen Okular und Zwischenbild ist dann gleich der Brennweite des Okulars.) Die 'Vergrößerung' des Teleskops ist durch das Verhältnis der Brennweite des Objektivs zur Brennweite des Okulars gegeben. Verschiedene Vergrößerungen lassen sich also am selben Teleskop mit verschiedenen Okularen erzielen. Als Beispiel betrachten wir ein kleines astronomisches Fernrohr mit einer Objektivbrennweite von 120 cm: Mit einem Okular von 1 cm Brennweite erhält man eine 120fache Vergrößerung, während ein Okular mit 2 cm Brennweite eine 60fache Vergrößerung liefert. Mit jedem Okular kann man die Vergrößerung erhöhen, indem man es näher an das Bild des Objektivs oder des Hohlspiegels heranbewegt. Damit wird jedoch auch der scheinbare Abstand für das Auge verringert, und die Betrachtung kann nach einiger Zeit anstrengend werden.

Der Durchmesser (die 'Öffnung') des Objektivs oder Hohlspiegels beeinflusst die größte nutzbare Vergrößerung, da durch einen größeren Objektivdurchmesser bei gleicher Brennweite ein lichtstärkeres Bild entsteht, das man mit dem Okular noch unter höherer Vergrößerung wahrnehmen kann als ein lichtschwaches Bild. Die Helligkeit des Zwischenbildes nimmt mit dem Quadrat der 'Lichtstärke' des Objektivs zu.

HART ASSOCIATES

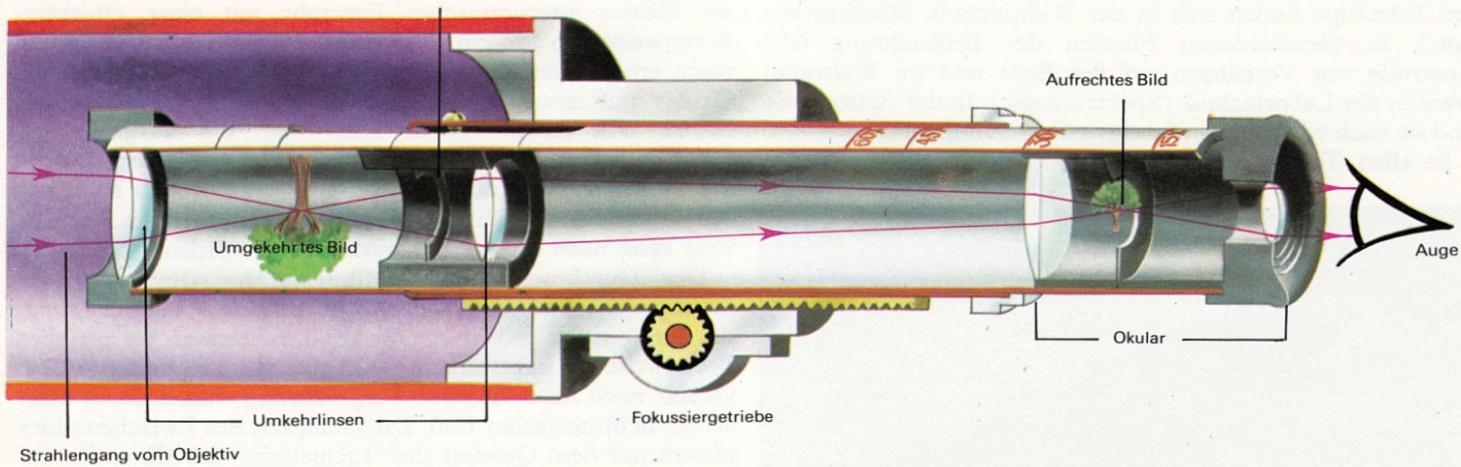
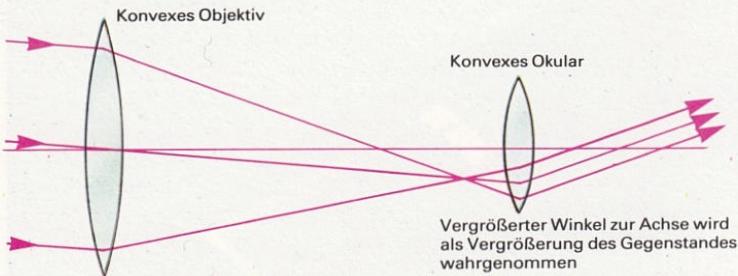
Die Lichtstärke ist gleich dem Öffnungsverhältnis, also dem Verhältnis von Durchmesser zu Brennweite. Eine Linse von 2 cm Durchmesser und 30 cm Brennweite hat demnach eine Lichtstärke von 1:15, üblicherweise mit 'f:15' bezeichnet. Bei der Beobachtung der Sterne, die selbst in den größten Teleskopen noch als punktförmige Zwischenbilder erscheinen, ist die Brennweite unwesentlich, und die Nachweisgrenze der lichtschwächeren Sterne wird nur durch den Durchmesser des Objektivs oder des Hohlspiegels gegeben. Deshalb haben die Astronomen immer größere Teleskope gebaut, mit denen lichtschwächere und weiter entfernte Objekte entdeckt werden konnten.

Terrestrisches Fernrohr



Wiederaufrichten des Bildes in einem terrestrischen Fernrohr

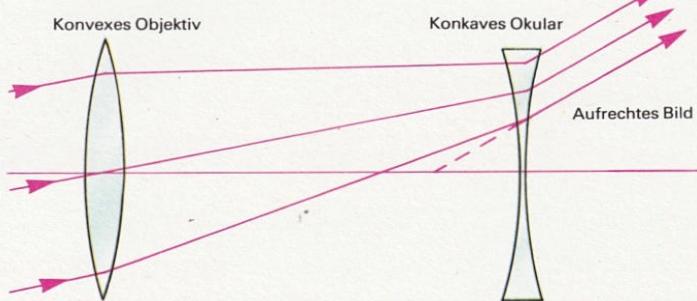
Blende zur Unterdrückung von Wandspiegelungen

Astronomisches Fernrohr
(umgekehrtes Bild)

Die beiden oberen Abbildungen zeigen einen weit verbreiteten Typ des terrestrischen Teleskops mit einem achromatischen Objektiv und einer variablen 15- bis 16fachen Vergrößerung. Ein Teil des Okulars ist genauer dargestellt. Die Vergrößerung wird durch Veränderung des Abstands zwischen den Umkehrlinsen variiert. Im Gegensatz zu 'Zoomlinsen' muß das Fernrohr stets neu fokussiert werden. Das Diagramm unten zeigt Strahlengänge im 'astronomischen' und im 'Galileischen' Fernrohr.

Die Iris des menschlichen Auges kann sich auf höchstens 8 mm Durchmesser öffnen. Ein Fernrohr mit einer Öffnung von 80 mm fängt die hundertfache Lichtmenge ein. Damit werden Gegenstände sichtbar, die nur ein Hundertstel der Leuchtkraft der schwächsten mit dem bloßen Auge sichtbaren Objekte besitzen. Das astronomische Spielgelteleskop von Mount Palomar in Kalifornien hat eine Öffnung von 5 m und nimmt mehrere Millionenmal mehr Licht auf als das menschliche Auge.

Galileisches Fernrohr (Opernglas)



Astronomische Teleskope

Während vor einem Jahrhundert die meisten astronomischen Fernrohre vom dioptrischen Typ waren, sind heute Spiegelteleskope weiter verbreitet.

Die Objektivlinse eines dioptrischen Fernrohrs (oder 'Refraktors') erzeugt am Ende eines Rohres ein umgekehrtes Bild des beobachteten Gegenstands. Dort wird es entweder direkt mit dem Okular betrachtet, das manchmal nur ein einfaches Vergrößerungsglas sein kann. Um das umgekehrte Bild wieder aufzurichten, benötigt man weitere Linsen, die aber auch Lichtverluste hervorrufen. Deshalb wird bei astronomischen Teleskopen auf diese Zusatzlinsen verzichtet.

Die Okulare bestehen normalerweise aus mehreren Linsen, die für ein gutes Gesichtsfeld und eine von Farbfehlern freie Beobachtung (durch achromatische Linsen) sorgen. Auch die Objektivlinsen sollen achromatisch sein; für kleine Brennweiten werden sie jedoch sehr kostspielig.

Dioptrische Teleskope haben deshalb meist Lichtstärken von weniger als f:12, denn auch der Größe der Linsen sind Grenzen gesetzt. Die (innen dicke) Sammellinse kann ja nur

an ihrem dünnen Rand festgehalten werden, und bei zunehmender Größe verformt sie sich immer mehr unter ihrem eigenen Gewicht. Darunter leidet die Qualität der Abbildung. Das größte dioptrische Teleskop der Welt, im Yerkes-Observatorium in Williams Bay, Wisconsin, USA, besitzt ein Objektiv mit einer Öffnung von 102 cm und einer Brennweite von 18,6 m. Es besteht bereits seit 1897 und scheint die Grenze des Möglichen für Refraktor-Teleskope erreicht zu haben.

Heute sind die Astronomen vor allem an sehr lichtschwachen, weit entfernten Objekten interessiert. Deshalb benötigen sie Teleskope extrem hoher Lichtstärke, die man nur mit Spiegelteleskopen erreichen kann. Der (meist parabolische) Hohlspiegel kann sehr stark gekrümmt sein und Lichtstärken von $f:3$ erreichen. Da nur eine Oberfläche und nicht das ganze Volumen an der Bilderzeugung beteiligt ist, lassen sich auch mit großen Durchmessern stabile Abbildungsverhältnisse erzielen, denn der Spiegel kann von unten gestützt werden. Die Spiegelform wird sehr genau in einen Glasblock eingeschliffen, und die konkave Fläche wird mit einer reflektierenden Schicht, meist aus Aluminium, überzogen. Die optische Qualität des Glases, Farbfehler usw. spielen beim Spiegelteleskop keine Rolle.

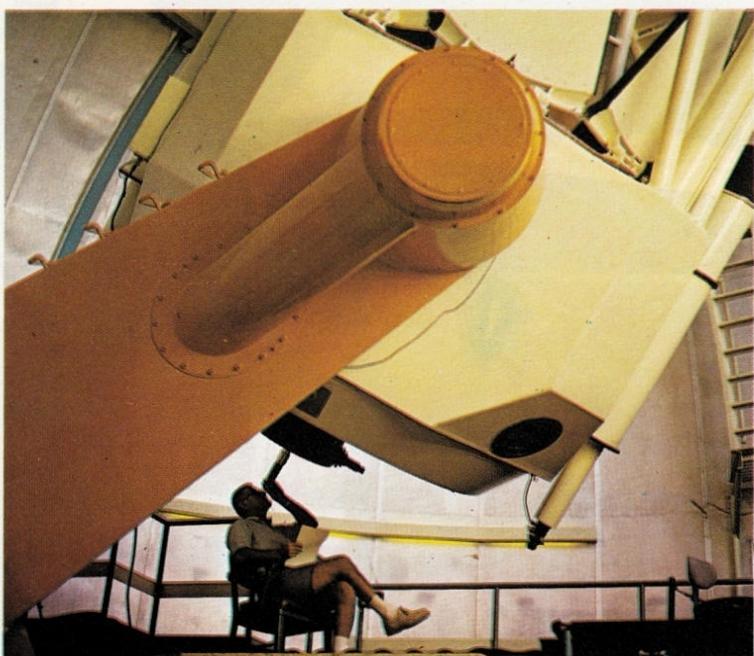
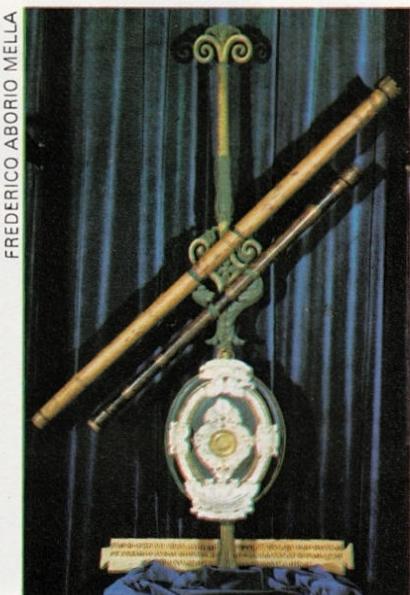
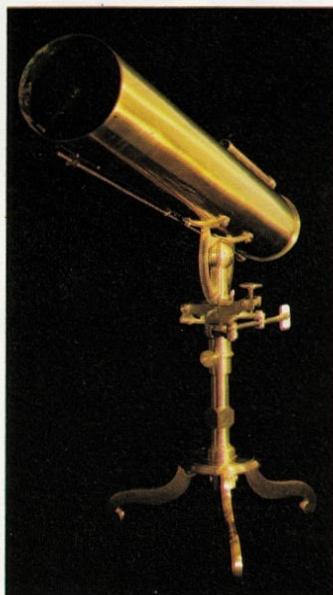
Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Spiegelteleskope.



JAMES BLAKE

Oben: Bei Schießwettbewerben wird die Zielscheibe aus sicherem Abstand mit einem Teleskop hoher Vergrößerung betrachtet. Auch die Gewehre selbst sind oft mit ähnlich gebauten Zielfernrohren ausgerüstet.

SCIENCE MUSEUM/CHRIS BARBER



Das einfachste und bei Hobby-Astronomen beliebteste geht auf Isaac Newton (1643 bis 1727) zurück, der seit 1671 mit einem solchen Typ astronomisch arbeitete. Der konkave Primärspiegel befindet sich am Ende eines Rohres ('Tubus'); das von oben eintretende Licht wird in den in der Nähe des oberen Endes liegenden Brennpunkt reflektiert. Ehe es diesen erreicht, wird es durch einen ebenen 'Fangspiegel', der unter einem Winkel von 45° zur Tubusachse steht, nach außen gelenkt. Damit wird es möglich, das Okular dort aufzubauen, wo der Kopf des Beobachters den Strahlengang des Teleskops nicht stört.

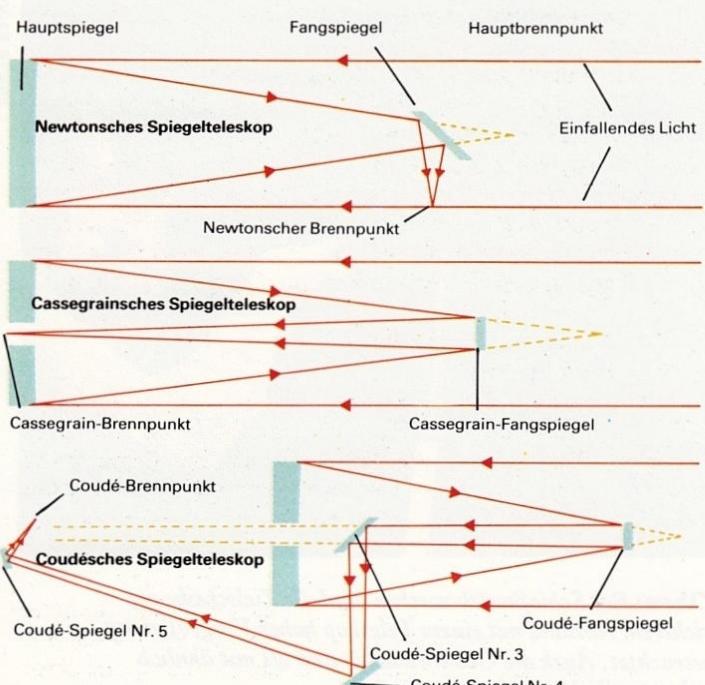
Die Hauptspiegel in Teleskopen nach Newton haben Lichtstärken zwischen $f:5$ und $f:8$. Größere Brennweiten (und damit höhere Vergrößerungen) erreicht man, indem man nach N. Cassegrain den flachen Newtonschen Fangspiegel durch einen konvexen Spiegel ersetzt. Dieser Spiegel reflektiert das vom Hauptspiegel kommende Licht in einem viel engeren Konus wieder entlang der Achse des Tubus. Damit wird die effektive Brennweite vier- bis fünfmal größer, ohne daß man ein entsprechend längeres Rohr bauen muß. Durch ein kleines Loch in der Mitte des Hauptspiegels tritt das zweimal reflektierte Licht aus. Die Lichtstrahlen schneiden sich in dem etwas hinter dem Hauptspiegel liegenden Brennpunkt des Cassegrain-Spiegels.

Diese 'Cassegrain-Teleskope' werden von Astronomen überwiegend benutzt. Oft besitzen sie zwei bis drei austausch-

Links oben: Ein reflektierendes Teleskop aus dem 18. Jahrhundert. Der Entwurf ist gregorianisch — ähnlich wie das Cassegrainsche Teleskop, aber der Fangspiegel ist hier weiter hinten im Rohr angebracht.

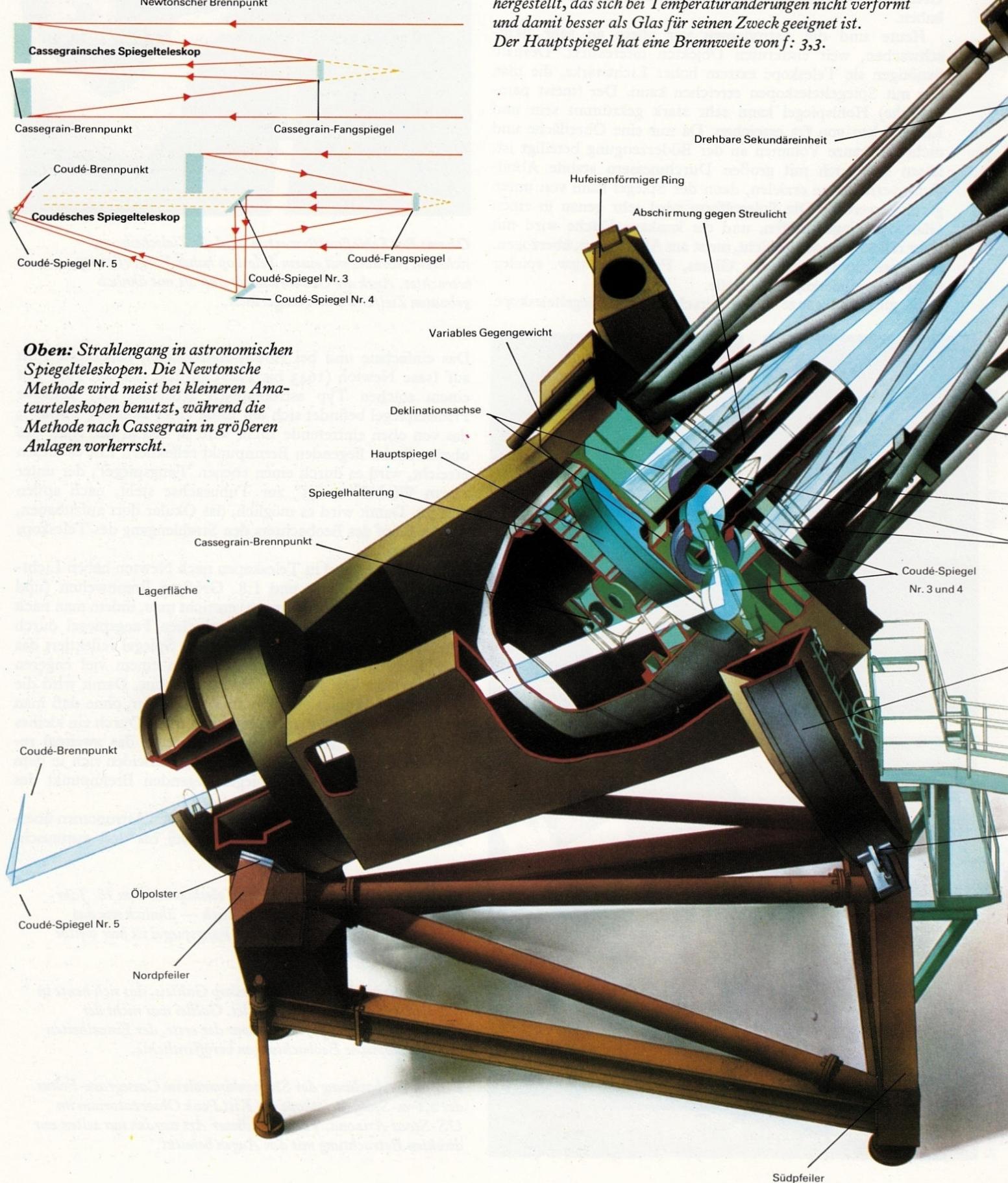
Rechts oben: Das Originalteleskop Galileis, das sich heute in einem Museum in Florenz befindet. Galilei war nicht der Erfinder des Teleskops, aber er war der erste, der Einzelheiten über teleskopische Beobachtungen veröffentlichte.

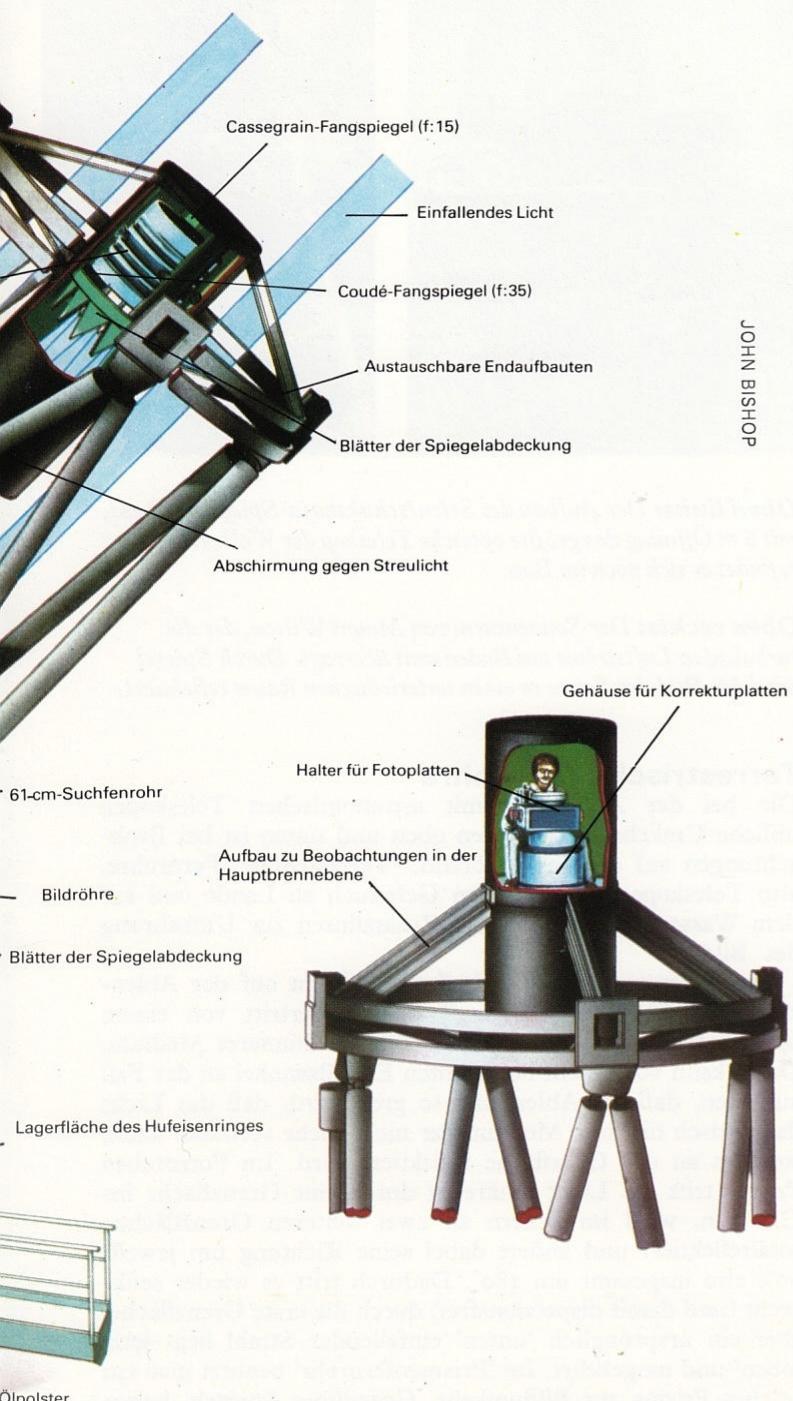
Links: Beobachtung des Sternenhimmels im Cassegrain-Fokus des 2,1-m-Spiegelteleskops am Kitt Peak Observatory im US-Staat Arizona. Teleskope dieser Art werden nur selten zur direkten Betrachtung mit den Augen benutzt.



Oben: Strahlengang in astronomischen Spiegelteleskopen. Die Newtonsche Methode wird meist bei kleineren Amateurteleskopen benutzt, während die Methode nach Cassegrain in größeren Anlagen vorherrscht.

Unten: Das englisch-australische Spiegelteleskop von Siding Spring Mountain in Neusüdwales. In der Konstruktion ähnelt es den Spiegelteleskopen von Kitt Peak, Arizona, und Cerro Tololo, Chile. Das Teleskop hat einen offenen, aus kleineren Rohren aufgebauten 'Tubus'. Es wird nur nachts benutzt. Streulicht kann durch das optische System unterdrückt werden. Die Spiegel sind aus einem keramischen Material hergestellt, das sich bei Temperaturänderungen nicht verformt und damit besser als Glas für seinen Zweck geeignet ist. Der Hauptspiegel hat eine Brennweite von $f: 3,3$.





bare Fangspiegel mit verschiedenen Brennweiten.

Besonders große Brennweiten (bis zu 140 m) werden beispielsweise dann benötigt, wenn man das Licht eines einzigen Sterns genau analysieren will. (Da zu jedem chemischen Element eine Reihe charakteristischer Wellenlängen gehören, läßt sich aus der Untersuchung des Lichts eines Sterns seine chemische Zusammensetzung bestimmen.) Für solche Untersuchungen benutzt man das Spiegelteleskop nach Coudé. Hier wird das Licht über ein System von Sekundärspiegeln, die die Prinzipien von Newton und Cassegrain kombinieren, in einen Nebenraum gelenkt. Dort kann man empfindliche Geräte bei konstanter Temperatur und unter sauberen Bedingungen zu weiteren Untersuchungen heranziehen.

In größeren Teleskopen werden auch direkt im Primärfokus (also im Brennpunkt des Hauptspiegels) Beobachtungen durchgeführt. Ein kleiner 'Käfig' hängt im Inneren des

Tubus, und der Astronom kann dort sitzen und seine Arbeit verrichten.

Die Sekundärspiegel der Spiegelteleskope absorbieren etwas Licht. Da Spiegel aber größere Durchmesser haben dürfen als Linsen, sind diese Lichtverluste erträglich. Die größte Schwierigkeit liegt in der Herstellung der reflektierenden Komponenten solch großer Instrumente. Große Glasflächen müssen mit höchster Präzision bearbeitet werden. Dabei kommt es manchmal auf Bruchteile eines Mikrometers (10^{-6} m) an, und die Fertigung kann mehrere Jahre dauern.

Durchführung astronomischer Beobachtungen

Große astronomische Fernrohre werden nur selten zur direkten Betrachtung des Himmels benutzt, denn mit fotografischen Platten ist es möglich, über längere Zeiten auch schwache Lichtsignale aufzunehmen. Damit werden Objekte nachweisbar, die das menschliche Auge nie wahrnehmen könnte.

Bei fotografischen Aufnahmen ersetzt man das Okular des Teleskops durch den Fotoplattenhalter. Die Belichtungszeit liegt bei einer bis mehreren Stunden. Während der Belichtung der Fotoplatte muß das Teleskop nachgeführt werden, um die tägliche Bewegung der Sterne von Osten nach Westen auszugleichen. Zu diesem Zweck ist das Teleskop 'parallaktisch' aufgestellt, mit einer zur Erdachse parallelen Drehachse. Durch Drehung des Teleskops um diese Achse und in entgegengesetzter Richtung zur Erddrehung erreicht man, daß das Fernrohr immer auf denselben Himmelsbereich gerichtet bleibt.

Das 6-m-Spiegelteleskop von Selentschukskaja im Kaukasus ist als einziges größeres Fernrohr anders aufgestellt. Es besitzt eine 'altazimutale' Lagerung: Das Fernrohr kann um zwei unabhängige Achsen nach oben und unten geschwenkt und nach links und rechts gedreht werden. Damit vermeidet man die bei der parallaktischen Aufstellung nötige schräge Drehachse, die großen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist. Auch die einfachsten Teleskope sind mit altazimutaler Lagerung versehen. Das sowjetische Fernrohr wird durch Rechnersteuerung automatisch nachgeführt.

Der Bau der mechanischen Lager für ein Fernrohr ist eine ebenso schwierige Aufgabe wie die optische Konstruktion. Für ein 5-m-Teleskop muß man mit einem Gewicht von etwa 500 Tonnen rechnen. Für diesen Kolos muß die mechanische Nachführung so genau arbeiten, daß es möglich wäre, das Fernrohr auf ein Objekt von der Größe eines Fußballs in etwa 50 km Entfernung genau auszurichten.

Bei der Aufgabe, sehr lichtschwache Objekte sichtbar zu machen, muß ein Fernrohr scharfe und gut unterscheidbare Abbildungen liefern. Trotz hoher Vergrößerung gibt es aber für jedes Teleskop eine Grenze für die Unterscheidbarkeit von Einzelheiten, die durch das 'Auflösungsvermögen' gegeben ist. Ein Fernrohr mit einer Öffnung von 75 mm kann beispielsweise Mondkrater von 5 km Durchmesser 'auflösen', während mit einem 1-m-Teleskop noch Krater von etwa 400 m Durchmesser sichtbar sind. Diese Grenze ist unabhängig von der benutzten Vergrößerung; sie kann nur durch zunehmende Teleskopdurchmesser weiter herabgesetzt werden. Deshalb brauchen die Astronomen auch große Fernrohre zum Studium des Mondes und der Planeten, obwohl diese Objekte lichtstark sind.

Bei der Untersuchung lichtschwacher Objekte und kleiner Einzelheiten stört die unruhige (turbulente) und staubige Atmosphäre der Erde. Zur Vermeidung der größten Störungen hat man schon die meisten Observatorien auf Bergen in möglichst großer Höhe errichtet. Es treten aber auch noch in höheren Schichten beträchtliche Luftturbulenzen auf. Aus diesem Grunde will die NASA nach 1980 ein 3-m-Spiegel-

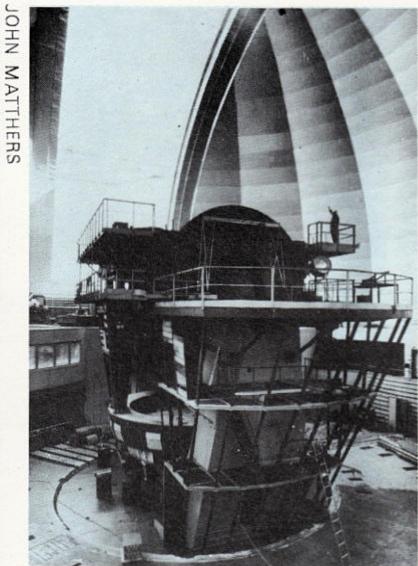


Oben: Ein Newtonsches Spiegelteleskop für den Hobby-Astronomen. Der Spiegel hat einen Durchmesser von 23 cm. Mit diesem Teleskop kann man z.B. Mondkrater erkennen.

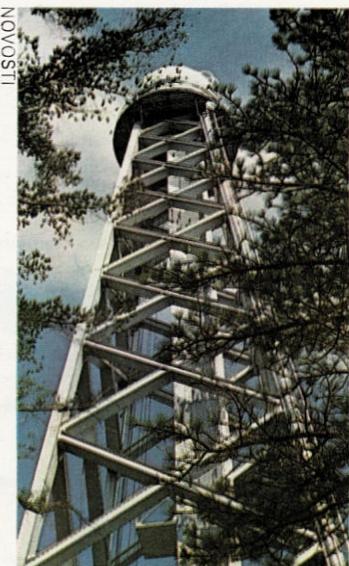
teleskop in eine Erdumlaufbahn bringen. Von seinem Beobachtungsort im Weltraum wird dieses Fernrohr noch bis zu hundertmal kleinere Objekte nachweisen können als ein entsprechendes Teleskop auf der Erde.

Für die Untersuchung einiger Einzelobjekte gibt es auch spezialisierte Teleskope. Die Sonne kann wegen ihrer Helligkeit mit Fernrohren sehr großer Brennweite beobachtet werden. Damit erhält man ein großes und gut aufgelöstes Bild. Die Sonnenteleskope sind jedoch in ihrer Stabilität besonders von Temperaturschwankungen und Turbulenzen, die vom erwärmten Boden herrühren, beeinträchtigt. Deshalb werden sie meist als Türme errichtet, die sich über die unruhige Zone in Bodennähe erheben. Auf Mount Wilson in Kalifornien steht ein Sonnenteleskop von 45 m Höhe. Das Sonnenlicht wird durch zwei Spiegel in die Achse des Turms gelenkt; das Bild von 43 cm Durchmesser wird in einem 'temperaturkonstanten' unterirdischen Raum betrachtet.

Amateurastronomen benutzen meist Refraktoren mit 60 mm bis 75 mm Öffnung oder Newtonsche Spiegelteleskope von 15 cm bis 30 cm Durchmesser. Das Spiegelteleskop ist wegen seiner geringen Kosten beliebter.



Oben links: Der Aufbau des Selentschukaja-Spiegelteleskops, mit 6 m Öffnung das größte optische Teleskop der Welt. Hier befindet es sich noch im Bau.



Oben rechts: Der Sonnenturm von Mount Wilson, der die turbulenten Luftströme am Boden weit überragt. Durch Spiegel wird das Bild der Sonne in einen unterirdischen Raum reflektiert.

Terrestrische Fernrohre

Die bei der Abbildung mit astronomischen Teleskopen übliche Umkehrung zwischen oben und unten ist bei Beobachtungen auf der Erde störend. 'Terrestrische' Fernrohre, also Teleskope zum normalen Gebrauch zu Lande und auf dem Wasser, besitzen deshalb Zusatzlinsen zur Umkehrung des Bildes.

Das Phänomen der Totalreflexion beruht auf der Ablenkung des Lichts ('Brechung') beim Übertritt von einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium. Dabei kann von einem bestimmten Einfallswinkel an der Fall auftreten, daß die Ablenkung so groß wird, daß das Licht das optisch dichtere Medium gar nicht mehr verlassen kann, sondern an der Oberfläche reflektiert wird. Im Porroschen Prisma tritt das Licht senkrecht durch eine Grenzfläche ins Glas ein, wird im Innern an zwei weiteren Grenzflächen totalreflektiert und ändert dabei seine Richtung um jeweils 90°, also insgesamt um 180°. Dadurch tritt es wieder senkrecht (und damit dispersionsfrei) durch die erste Grenzfläche, aber ein ursprünglich 'unten' einfallender Strahl liegt jetzt 'oben' und umgekehrt. Im 'Prismenfernrohr' benutzt man ein solches Prisma zur Bildumkehr. Gegenüber Spiegeln haben diese Prismen den Vorteil längerer Haltbarkeit (da sie nicht 'anlaufen'). Außerdem führen sie wegen der Umlenkung des Lichts zu kürzeren Fernrohren. Ein Prismenfernglas für beidäugige Benutzung ('Binokular') baut sich also aus zwei achromatischen, nebeneinanderliegenden Teleskopen auf, in denen Porrosche Prismen die Bildumkehr bewirken.

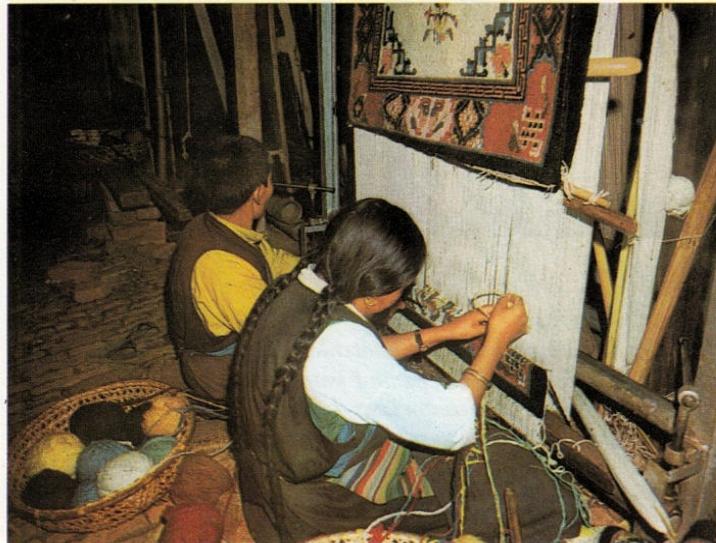
Das Galileische (holländische) Fernrohr

Galilei benutzte ein Fernrohr, dessen Konstruktionsprinzipien von den hier beschriebenen stark abweichen. Das vom Objektiv kommende Licht tritt ins Okular ein, ehe ein reelles Bild entsteht. Das Okular ist in diesem Falle eine Zerstreuungslinse, und der Betrachtende erhält damit ein aufrechtes Bild. Das Gesichtsfeld des Galileischen Fernrohrs ist jedoch begrenzt. Sehr verbreitet ist diese Bauart bei Operngläsern, wo aufrechte Bilder bei relativ kleiner Länge des Instruments erwünscht sind.

TEPPICHERSTELLUNG

In der westlichen Gesellschaft haben Teppiche erst eine vergleichsweise kurze Geschichte — vor dem 18. Jahrhundert gab es hier nur wenige Einzelstücke. Im östlichen Kulturreis hingegen werden sie schon seit Jahrtausenden gefertigt.

Der älteste bisher bekannte Teppich datiert aus dem 5. bis 3. Jahrhundert v. Chr. und wurde in einem skytischen Grab in Pasyryk im Altai gefunden ('Pasyryk-Teppich'). Er war in türkischen Knoten (Ghiordes-Knoten), der auch heute noch für handgeknüpfte Teppiche gängigsten Knüpfart, gearbeitet. Diese Teppiche entstehen auf webstuhlartigen Rahmen gestellten, sogenannten Knüpfstühlen. Kurze farbige Fadenstücke, zumeist aus Wolle, werden in eine auf dem Gestell lotrecht aufgespannte Kette eingebunden und dabei derart um zwei Kettfäden geschlungen, daß die Flornoppen entweder jeden Faden einzeln umschlingen (Smyrna-, Ghiordes-Knoten) oder den einen Kettfaden ganz und den anderen halb umschlingen (Perser-, Senneh-Knoten). Nach jeder Knotenreihe werden zumeist zwei Schüsse in Leinwandbindung eingetragen und die Knotenreihe mit einem schweren Kamm fest auf den oder die vorausgegangenen Schußfäden geschlagen. Es folgen ein oder zwei weitere Schußfäden und dann erneut eine 'Knüpfung' über die gesamte Stuhlbreite hinweg. Durch Auswahl verschiedener Farben für die Flornoppen erhalten die Teppiche ihre teilweise komplizierte Musterung. Durch Scheren der fertigen Stücke wird schließlich eine gleichmäßige Florhöhe erreicht.



Der türkische oder Ghiordes-Knoten ist der grobere von beiden, hat einen längeren Flor und eignet sich deshalb ausschließlich für geradlinige Muster. Jeder Versuch, gebogene Linien einzufügen, führt zu einem stufigen, unklaren Gewebebild. Der persische oder Senneh-Knoten ist haltbarer und wird deshalb für feinere Qualitäten mit kürzerem Flor verwendet; auch sind bei diesem Knoten gebogene Muster möglich.

Verschiedene Teppicharten

Für den Wert der Knüpfteppiche ist in erster Linie die Knotendichte und -festigkeit bestimmend, die stark schwanken kann. Ein Durchschnittswert wären etwa 40 Knoten/cm². Es gibt Teppiche mit Millionen von Knoten, deren Herstellung viele Jahre dauert.

Die echten Orientteppiche und -brücken lassen sich nach ihren Mustern und der Art der Herstellung klassifizieren. Die Nomadenstämme fertigen ihre Teppiche auf tragbaren,

waagerechten Knüpfstühlen, die sich zum Transport zusammenschlagen lassen, wenn sie auf der Suche nach neuen Weidegründen für ihre Herden weiterziehen. Diese Teppiche haben in der Regel deutlich hervortretende geometrische Muster mit vertikaler, horizontaler und diagonaler Linienführung. Blumen, Tiere, Sterne usw. werden in geometrische Formen umgesetzt, symbolhafte Muster, die mündlich von Generation zu Generation weitergegeben werden. Bei den Nomadenteppichen handelt es sich gewöhnlich um recht kleine Brücken aus Wolle mit einer Beimischung von Kamelhaar und Seide, deren Größe von ihrem Verwendungszweck, Satteldecke oder Zelt, diktiert wird.

Brücken mit konventionelleren Mustern entstehen in Heimarbeit in relativ abgelegenen dörflichen Siedlungsgemeinschaften. Dort arbeiten Männer, Frauen und Kinder in den Wintermonaten an vertikalen Knüpfstühlen. Bei diesen kann die Kette entweder zwischen zwei festen Queräumen gespannt sein, die die Länge des Teppichs von vornherein begrenzen, oder aber der untere Querbaum ist beweglich, so daß sich die Teppichlänge variieren läßt.

Diese 'Heimfleißteppiche' sind häufig stilisiert, mit sich wiederholenden geometrischen Mustern, und matter als die von Nomadenstämmen gefertigten Teppiche. Wegen der fest installierten Knüpfrahmen sind sie meist auch größer.

Die wohl prächtigsten Orientteppiche wurden in den Hofmanufakturen geschaffen. Sie haben oft komplizierte florale Muster und können bis zu 12 m lang sein. Viele dieser Teppiche, deren Herkunft bis ins 16. Jahrhundert zurückreicht, sind eindrucksvolle Kunstwerke. Feinste Woll-, Seiden-, Gold- und Silberfäden wurden von geschickten

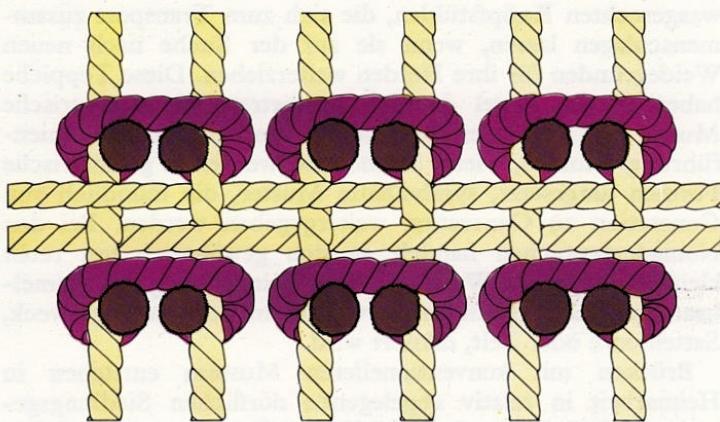


Oben links: Tibetische Teppichknüpfen bei der Arbeit an einem senkrechten Knüpfstuhl. Der im oberen Teil des Bildes sichtbare Teppich ist ein bereits fertiges Stück, das den Knüpfern als Vorlage dient. Sobald der begonnene Teppich eine gewisse Höhe erreicht hat, wird er um den unteren Querbaum gewickelt.

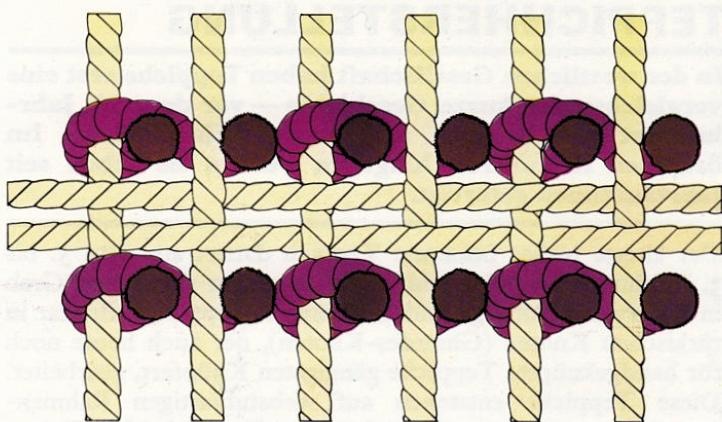
Oben: Handgeknüpfte Teppiche haben in der Regel einen ungleichmäßig hohen Flor, der erst auf gleiche Länge geschnitten werden muß. Hier ein Berbererteppich aus Marokko.

Kinderhänden verarbeitet. Als Vorlage diente diesen Knüpfern ein 'Wagireh' aus Millimeterpapier, bei dem jedes Karofeld einen Knoten darstellte.

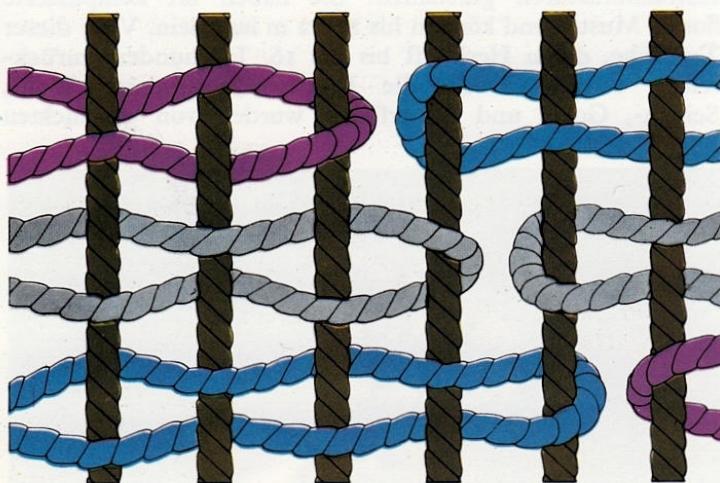
Nicht alle Teppiche weisen einen Flor auf. Bei dem türkischen Kelim handelt es sich z.B. um einen knotenlosen Wirkteppich. Bei dieser Gattung entstehen die Muster durch den Eintrag farbiger Schußfäden.



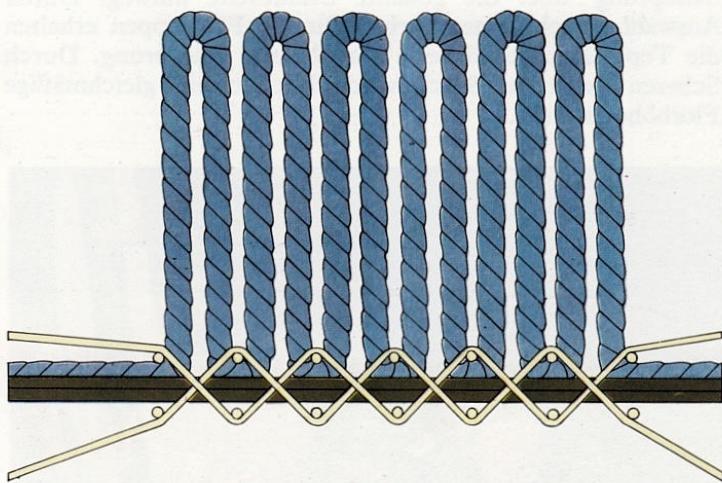
Türkischer Knoten, auch Ghiordes-Knoten, wie er bei handgeknüpften Orientteppichen verwendet wird. Jeweils zwei Kettfäden werden von den Florfäden umschlungen.



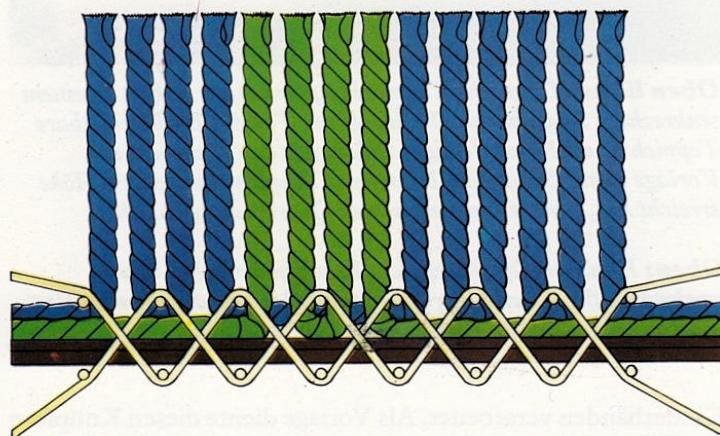
Der persische Knoten (Senneh-Knoten) umschlingt mit einer Hälfte einen Kettfaden, den anderen Kettfaden nimmt er nur mit. Die Endbüschel liegen einzeln dazwischen.



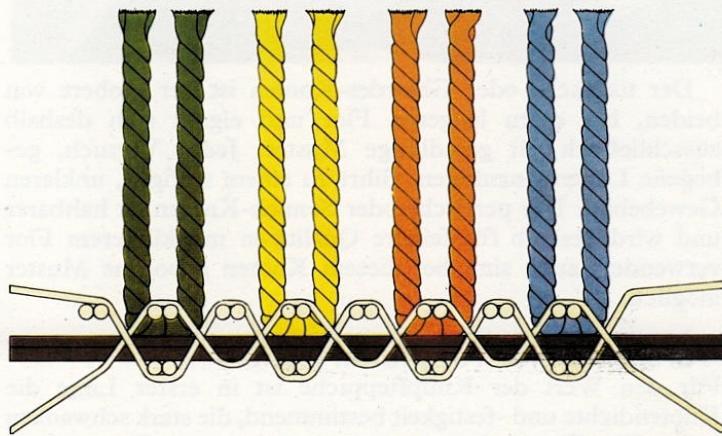
Der türkische Kelim weist keine Knoten auf und wird in Tapestry-Manier gefertigt. Diese Wirkteppiche sind schußgemustert; der Schuß wird nur an den Umkehrstellen fest mit der Kette verbunden.



Brüsseler Wollteppich. Dieser knotenlose Teppichtyp stammt aus Frankreich und Flandern und kam um die Jahrhundertwende auf. Die Schlingen werden um über den Webstuhl gelegte Stangen geschlungen, die man später entfernt.



An die Stelle des Brüsseler Teppichs trat der Wilton-Teppich, — in gleicher Webtechnik, jedoch im Gegensatz zum ersten mit aufgeschnittenem Flor. Zusätzliche Ausfüllungsfäden geben dem Teppich größere Festigkeit.



Axminster-Teppich, bei dem die Florbüschel einzeln eingezogen werden. Das Bild zeigt einen mit Hilfe des Greifermechanismus gewebten Teppich. Verschiedenfarbige Fäden werden von 'Greifern' durch einen Fadenführer gezogen.

Europäische Teppiche

Die Kunst, Teppiche in Handarbeit herzustellen, breitete sich von Osten her über Europa aus, wo Frankreich und Flandern ihre Zentren wurden. Es entstanden neue Webtechniken, z.B. die sogenannte Brüsseler Methode, die sich zur Mechanisierung geeignet erwiesen.

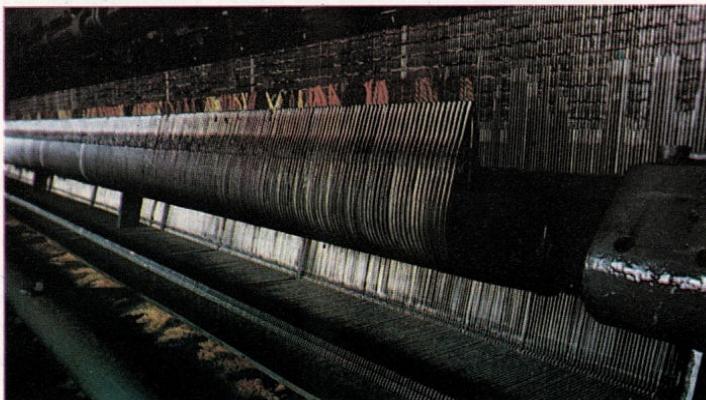
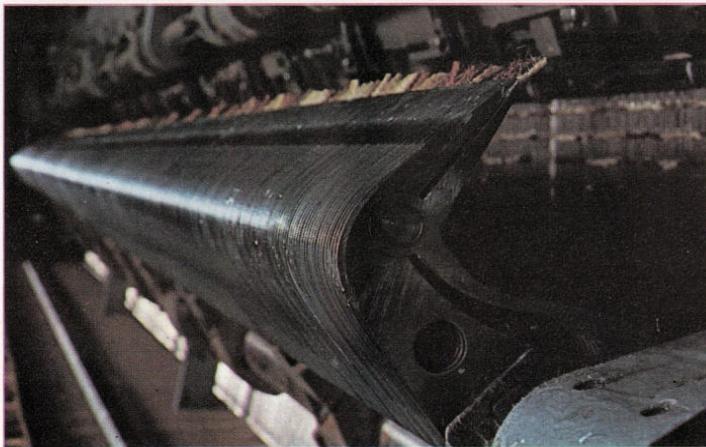
Beim Brüsseler Teppich besteht der Flor aus ungeschnittenen Schlingen, die während der Herstellung über quer über den Webstuhl laufende Stangen geschlungen werden, die später entfernt werden. Ein einfacher Knüpfteppich hat nur 1 Kette und 1 Schuß, der Brüsseler Teppich je zwei mit zusätzlichen, sogenannten Ausfüllungsfäden, die dem Gewebe zusätzlich Halt geben.

Wilton-Teppiche

Als gegen Ende des 17. Jahrhunderts auf dem europäischen Kontinent die Verfolgung der protestantischen Hugenotten einsetzte, sahen sich viele von ihnen gezwungen, nach England zu fliehen. Einige ließen sich in Wilton in der Grafschaft Wiltshire nieder, von wo der Wilton-Teppich seinen Ausgang nahm, der in Herstellung und Charakter dem Brüsseler Teppich ähnelt, jedoch einen aufgeschnittenen Flor und dadurch eine samtartige Oberfläche aufweist.

Durch die Erfindung des Jacquardstuhls in Frankreich im Jahre 1801 wurde es möglich, Brüsseler und Wilton-Teppiche in bis zu 5 Farben zu weben. Jede farbige Polkette wird über die ganze Fläche des Teppichs mitgeführt, doch nur die Farbe, die jeweils an der Oberfläche sichtbar werden soll, wird als Schlinge hochgezogen. Diese zusätzliche Florschicht gibt dem Teppich seine luxuriöse Dicke.

Unten: Schritte bei der Arbeitsweise des Gripper-Axminster-Webstuhls. Unten befinden sich die Greifer auf dem höchsten Punkt ihrer Schwenkbewegung, auf dem Bild ganz unten bewegen sie sich zurück und ihre Enden verschwinden im unteren Teil der Maschine.



Wilton-Teppiche werden auf großen mechanischen Jacquardstühlen auch heute noch hergestellt. Ein spezieller Maschinentyp webt zwei Teppiche gleichzeitig ('Doppelwebverfahren'), wobei die zwischen den beiden Gewebelagen sich kreuzenden Polfäden während des Webens in der Mitte zerschnitten werden.

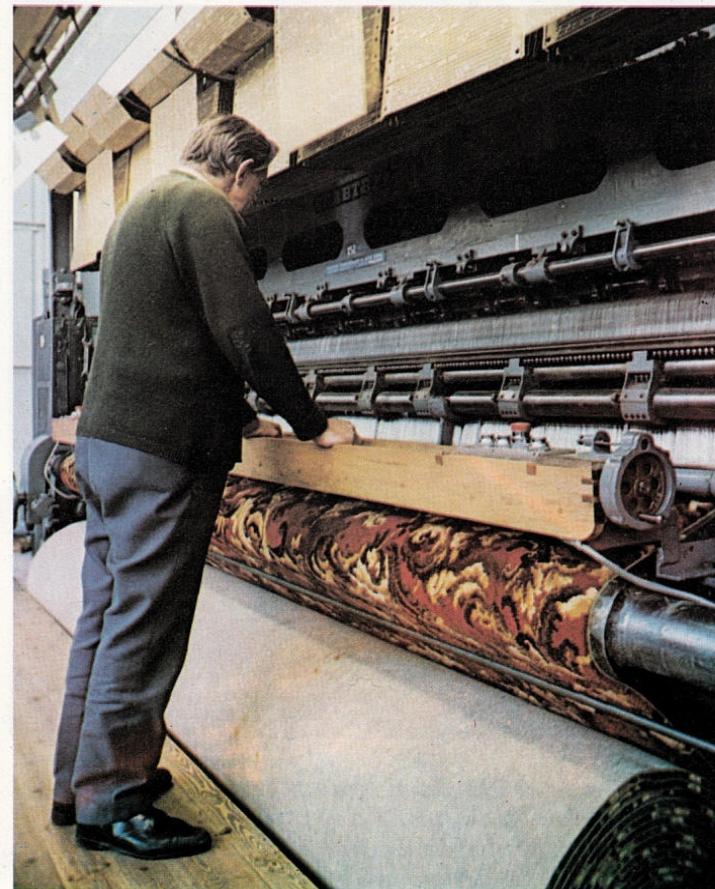
Axminster-Teppiche

Im Jahre 1755 errichtete der englische Tuchweber Thomas Whitty in Axminster, Devon, eine Fabrik, in der handgeknüpfte Teppiche erster Qualität gefertigt wurden. Von da an benutzte man 'Axminster' als Bezeichnung für zahlreiche unterschiedliche Teppichherstellverfahren, bei denen die Flornoppen einzeln eingebunden werden.

Die beiden heute bei der Herstellung von Axminster-Teppichen gebräuchlichen Verfahren beruhen auf Erfindungen des Amerikaners Halcyon Skinner, wurden jedoch in Kidderminster, England, entwickelt. Beim Royal- oder Spool-Axminster-Teppich wird von vorbereiteten bunten Kettspulen (Florkettbäumen), die über die ganze Breite des Teppichs reichen, jeweils der Bedarf für eine Florreihe angedient. Für die nächste Florreihe steht eine neue Spule zur Verfügung usw., bis sich nach einer Weile das Muster wiederholt. Gängig sind 288 Spulen mit einer Musterwiederholung nach jeweils 1 Meter.

Dem Knüpfteppich sehr ähnlich erscheint der Gripper-Axminster-Teppich; hier ist die Farbigkeit auf gewöhnlich acht unterschiedliche Farben beschränkt. Anstelle einer separaten Spule für jede Reihe verwendet man einen Metallstreifen, den sogenannten Fadenführer, mit acht nebeneinanderliegenden Löchern, durch die das auf Kopse aufgewickelte Florgarn in den verschiedenen Farben hervortritt.

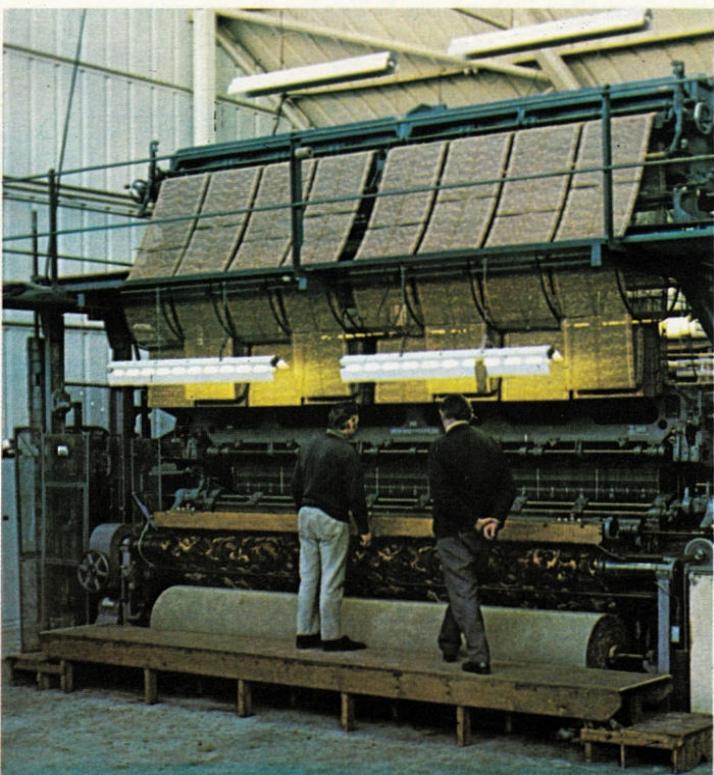
Unten: Der aus dem Webstuhl kommende fertige Teppich wird aufgerollt. Das einwandfreie Funktionieren der Greifer bedarf der ständigen Überwachung, um Fehlstellen zu vermeiden.





Oben: Hinter dem Webstuhl befindet sich ein Spulengitter, von dem aus das Florgarn den Fadenführern zugeführt wird, um schließlich von den Greifern abgezogen zu werden. Mit diesem System lassen sich bis zu 8 Farben verarbeiten.

Eine Reihe solcher Fadenführer, von denen jeder acht Farben zur Wahl anbietet, läuft über die ganze Breite des Teppichs; ein Fadenführer pro Reihe des fertigen Teppichs. Pro Fadenführer gibt es einen 'Greifer'. Dabei handelt es sich um zangenartige Mechanismen, die in einer langen Reihe nebeneinander angeordnet sind und sich gemeinsam auf einer Achse längs der Reihe bewegen. Die Greifer erfassen jeweils eine bestimmte Garnlänge vom Fadenführer; das Garn wird bei Abzug vom Fadenführer auf eine Länge von etwa 20 mm zugeschnitten. Die richtige Farbwahl trifft der Lochkarten-



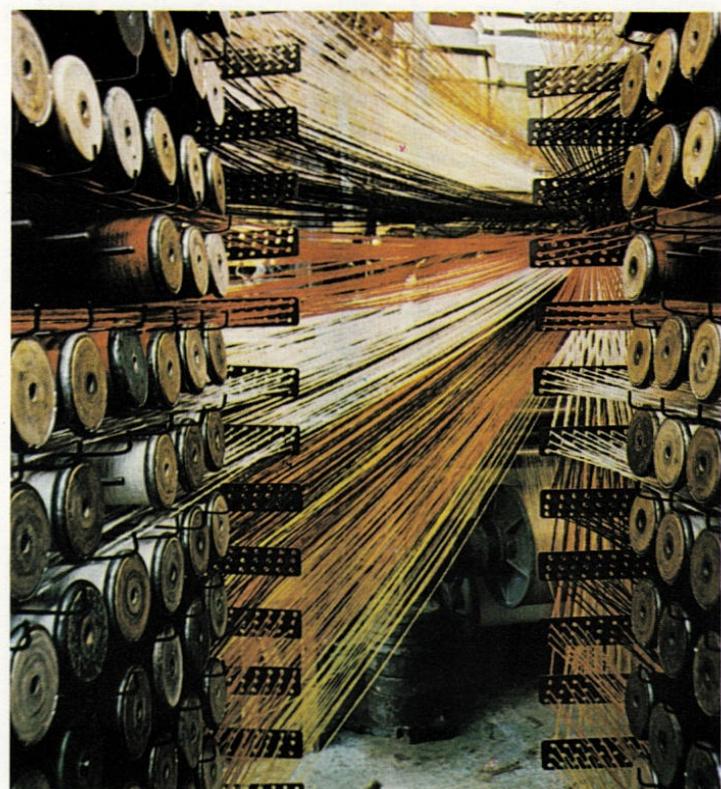
Oben: Gesamtansicht eines Axminster-Teppichwebstuhls. Oben erkennt man die Lochkarten für die Jacquardeinrichtung. Sie bestimmen das Muster, das durchaus sehr komplex sein kann, obwohl die Zahl der Farben auf 8 begrenzt ist.

mechanismus der Jacquardmaschine durch Auf- und Abbewegen des Fadenführers.

Die Greifer leiten das Flormaterial zur Webstelle, wo es in den Teppich eingebunden wird. Eine andere Version, der 'Spulen-Greifer', vereinigt in sich wesentliche Bestandteile beider Systeme, wobei die Greifer den Flor direkt von den Spulen abnehmen.

Getuftete Teppiche

Getuftete Teppiche haben in jüngster Zeit Marktanteile gewonnen. Durch sie wurden weiche Bodenbeläge für weitere Kreise der Bevölkerung erschwinglich, was zu einer enormen Ausweitung der Teppichproduktion führte. Das Tufting-Verfahren wurde in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts auf der Basis der normalen Nähmaschine entwickelt. Getuftete Teppiche erhalten ihren geschlossenen oder später aufgeschnittenen Flor durch Einziehen von Schlingen mit Hilfe einer Vielnadelmaschine in ein fertiges Untergewebe. Es muß zur Festigung der Florschlingen oder -nuppen linksseitig



Oben: Blick auf die Maschinenrückseite. Die Fadenschar wird der Maschine von hinten zugeführt.

latexiert sein. Häufig erhält der Teppich zur besseren Stabilisierung eine Schicht aus Juteleinen.

Andere Techniken zur Herstellung von Teppichen haben das Verkleben des Flormaterials auf einem Trägergewebe zur Grundlage. In diese Gruppe gehören die 'beflockten' Teppiche, bei denen auf gleiche Länge zugeschnittene Fasern auf ein mit Klebemittel bestrichenes Grundgewebe aufgebracht, mit Hilfe eines elektrostatischen Feldes parallel- und aufgerichtet und sodann auf dem Grundstoff fixiert werden ('Beflockung'). Nach einer anderen Methode zur Herstellung von Teppichböden, wie sie insbesondere in Verkaufs- und Büroräumen weit verbreitet sind und zunehmend auch im häuslichen Bereich Verwendung finden, werden die Fasern von mit Widerhaken versehenen Nadeln in ein gewebtes Trägergewebe eingezogen. Danach wird das Stück mit Acrylharz bearbeitet und zwecks Konsolidierung der Fasern durch Walzen geschickt.

TEXTILFASERSTOFFE

Durch rechtwinkliges Verkreuzen ('Weben') oder maschenförmiges Verschlingen ('Wirken') von Fäden lässt sich eine Vielzahl von textilen Erzeugnissen mit ganz unterschiedlicher Textur und Musterung herstellen.

Generell unterscheidet man im Textilsektor drei Haupttypen: Gewebe, Gewirke und Vliesstoffe. Letztere werden auch als Verbundstoffe oder, im Gegensatz zur Webware, als 'Non-wovens' (= nicht gewebte Stoffe) bezeichnet. Sie werden aus mehreren Schichten oder auch einem Wickel aus unausgerichteten oder orientierten Fasern gewonnen, die mechanisch (durch Nadeln) und/oder chemisch (durch Bindemittel) zu Vliesstoffen verfestigt werden. Von Vliesware spricht man auch bei Stoffen, bei denen ein Faservlies mittels Nadeln regelrecht 'vernäht' oder aber mehrere Faserschichten in Form von Kreuzlagen miteinander verbunden werden.

Für Wirk- und Strickwaren eignen sich viele der modernen Kunstfasern wie auch Wollgarne. Sie werden durch Formen eines fortlaufenden Fadens zu maschenförmigen Fadenschleifen oder durch Verschlingen mehrerer benachbarter Fadensysteme erzeugt ('Kulier'- bzw. 'Kettenware').

Einfache Gewebestrukturen

Das wichtigste Konstruktionsmerkmal eines Gewebes ist die Art der Fadenverkreuzung, die 'Bindung'. Die einfachsten glatten Bindungen erzielt man durch Verkreuzung eines Fadensystems (der Kette) mit einem anderen (dem Schuß), wobei Kett- und Schußfäden einen rechten Winkel bilden.

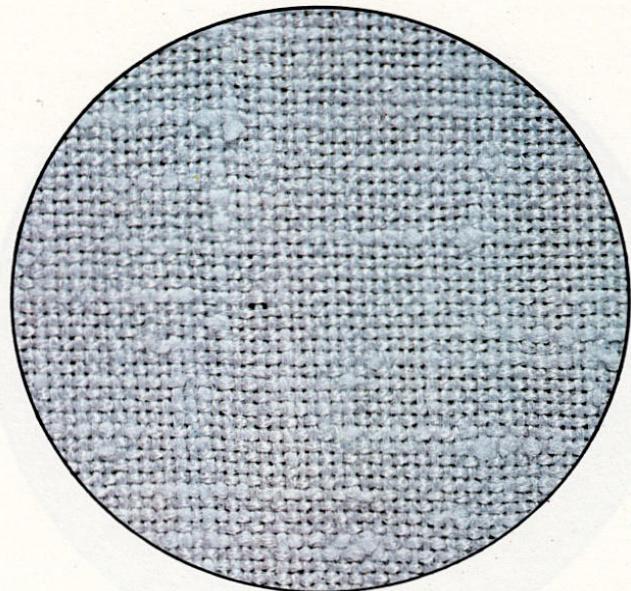
Man unterscheidet drei Grundbindungsarten: Leinwandbindung, Köperbindung (gekennzeichnet durch den in einer ununterbrochenen Diagonale aufsteigenden sogenannten 'Köpergrat') und Atlasbindung. Die Panamabindung, auch Würfelbindung, zählt ebenfalls zu den Grundbindungen, doch handelt es sich dabei eigentlich um eine Ableitung der Leinwandbindung, bei der anstelle eines einzelnen Fadens ganze Fadengruppen verkreuzt werden, wodurch ein schachbrettartiges Muster entsteht.

Köperbindungen mit 45° Steigung erhält man durch Hindurchführen jedes Kettfadens über und unter einer Gruppe von Schußfäden; von den Würfelbindungen unterscheiden sie sich dadurch, daß bei jeder Fadenverkreuzung ein Kettfaden gegenüber dem Nachbarfaden abgehoben wird, so daß das oben erwähnte Diagonalmuster entsteht. Dieses Diagonalmuster kann ansteigend von rechts nach links (S-Grat-Köper) oder ansteigend von links nach rechts (Z-Grat-Köper) verlaufen. Bei Köperbindungen sind zahlreiche 'Hoch-tief-Varianten' möglich.

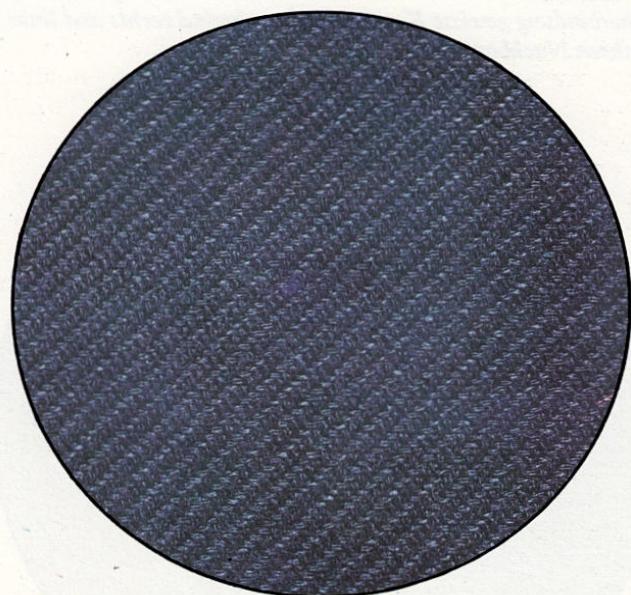
Durch Abheben von mehr als einem Faden lässt sich der Steigungswinkel variieren. So besteht z.B. die bekannte Whippcord-Bindung, eine Mehrgratköperbindung mit der Bindungsformel 5-1-1-2-1-1, aus einem deutlich hervortretenden steilen Köpergrat aus 5 flottliegenden Fäden, während der andere Bindungsteil (1-1-2-1-1) zwischen den steilen Köpfern zurücktritt. Bei einfachen Köperbindungen wie z.B. Gabardine, lässt sich die Steigung des Köpergrats durch das Verhältnis von Kettdichte zu Schußdichte regulieren.

Typische einfache Bindungen, bei denen entweder Kette oder Schuß auf der Gewebeoberfläche dominieren, sind z.B. Atlas (mit kettbetonter Musterung) und Satin (mit schußbetonter Musterung), wobei dieser Effekt in der Regel durch eine größere Dichte von Kette bzw. Schuß erzielt wird.

Zu den Spielarten der einfachen 'Hoch-tief'-Fadenverkreuzung zählen die Drehergewebe, bei denen zwei oder mehrere Kettfäden miteinander verschlungen und die Faden-



Oben: Einfache Bindungen entstehen durch Verkreuzen eines Fadensystems, der Kette, mit einem anderen, dem Schuß. Die Abbildung zeigt die einfachste Form — Leinwandbindung '1 hoch, 1 tief'. Verändert wird nur die Garnstärke.

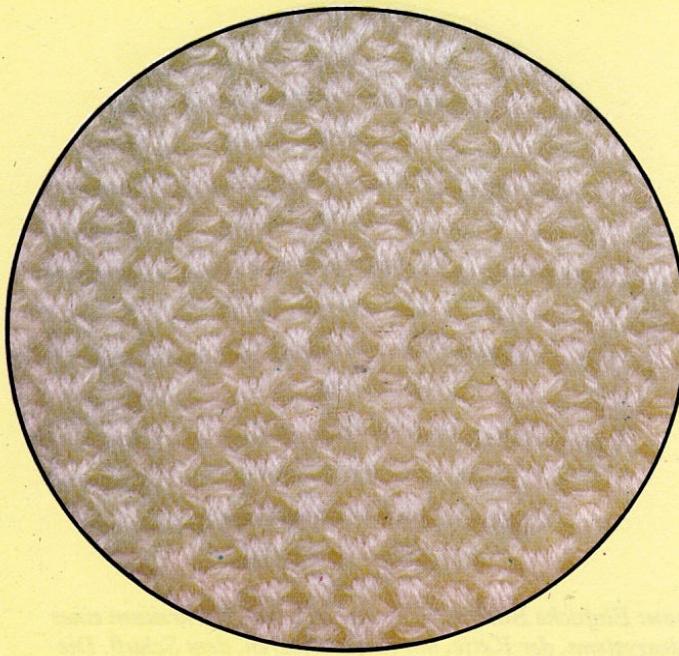


Oben: Eine andere einfache und dabei sehr feste Struktur erzielt man mit der Köperbindung, die durch aufsteigende Diagonalen auf der Gewebeoberseite gekennzeichnet ist.

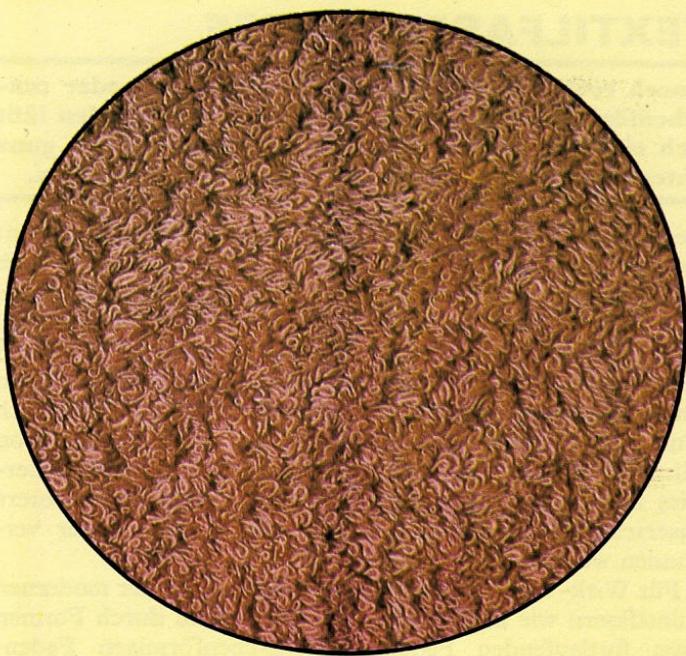
kreuzung durch den Schuß festgehalten werden, sowie die Florgewebe wie z.B. Samte, Plüsche, Teppiche usw. Letztere sind Gewebe mit besonderer Florkette, die neben dem Grundgewebe eine aus Fadennoppen oder -schlingen bestehende Flordecke aufweisen, die entweder 'geschnitten' (Samte, Plüsche, Veloursteppiche) oder aber, wie bei Frotierwaren, Mokett oder beim Brüsseler Wollteppich 'gezogen' sein kann.

Sonstige Gewebestrukturen

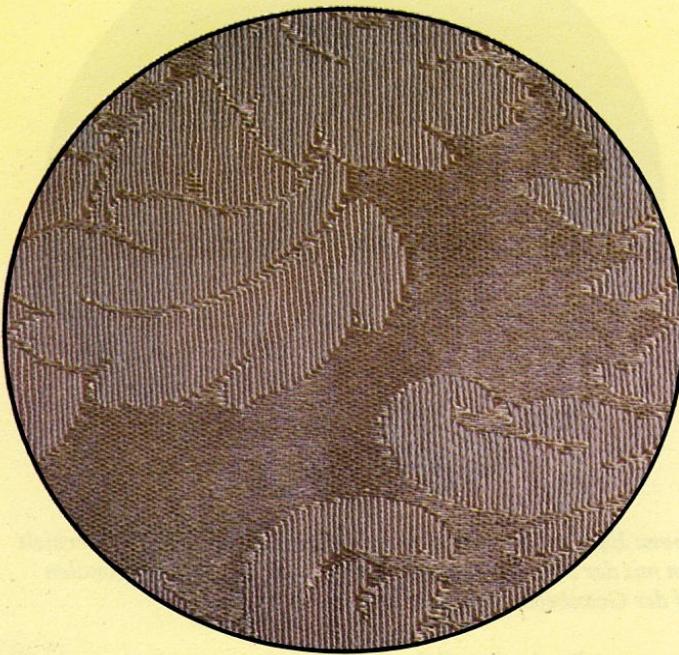
Die Verkreuzung von Kett- und Schußfäden lässt sich nahezu unbegrenzt variieren, so daß immer neue Webeffekte entstehen. Bei der sogenannten Waffelbindung z.B. 'versinken' sozusagen die fester verbundenen Fäden im Gewebe, während die langen Flotterungen der loser verkreuzten Fäden hervortreten und so dem Ganzen ein zellenförmiges Aussehen verleihen. Daneben lässt sich das Gewebebild auch durch verschiedene Garnstärken variieren.



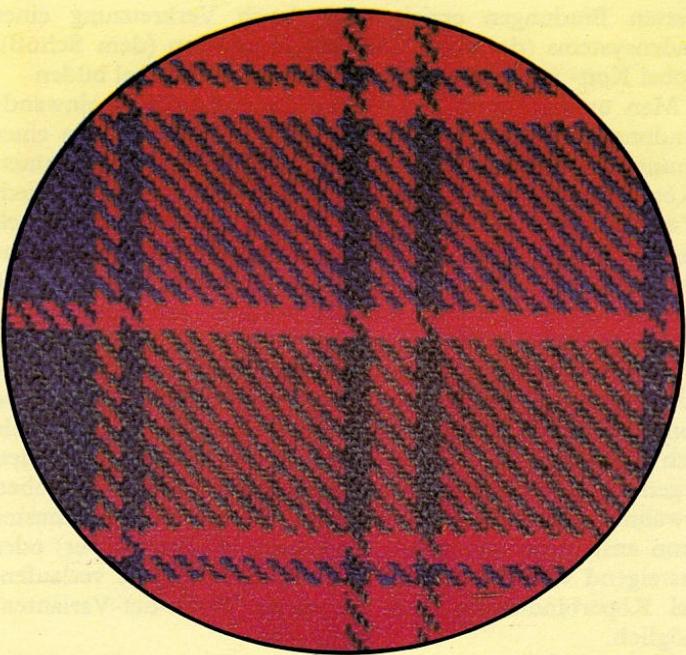
Oben: Verschiedene Ableitungen der einfachen Grundbindungen ergeben ganz unterschiedliche Strukturen. So verlaufen bei dieser Dreherbindung gewisse Kettfäden abwechselnd rechts und links von ihren Nachbarfäden.



Oben: Flor- und Schlingengewebe zählen ebenfalls zu den Variationen, die sich von den Grundbindungen ableiten lassen. Hierbei handelt es sich um Schlaufenware mit ein- oder beidseitigen Frottierschlingen (z.B. für Handtücher).



Oben: Am schönsten gemustert sind die Brokate. Sie basieren in der Regel auf einer einfachen Grundbindung (z.B. Atlasbindung), auf der das Muster durch Flottieren der Kett- und/oder Schußfäden erzielt wird.



Oben: Die wohl bekanntesten traditionellen Muster sind die schottischen Tartans (Schottenkaros), die durch farbige Fäden in Kette und Schuß entstehen. Sie wurden ursprünglich für bestimmte Sippen (Clans) als Familienmuster entwickelt.

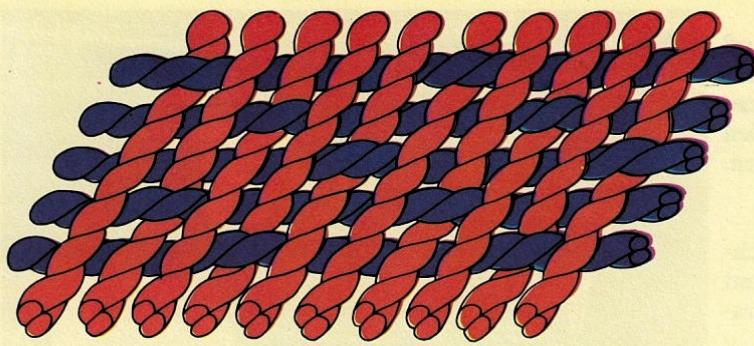
Musterungseffekte

Streifen, Karos und andere Muster im Gewebe lassen sich durch Kombination von zwei oder mehreren Bindungselementen innerhalb eines Fadenverkreuzungssystems erzielen. Das wohl bekannteste Streifengewebe ist das Fischgrätmuster, bei dem sich S- und Z-Grat-Körper über die gesamte Stoffbreite hinweg abwechseln. Bei den bekanntesten und am weitesten verbreiteten Mustern handelt es sich nahezu ausnahmslos um eine Kombination aus kett- und schußbetonten Bindungen. Gelegentlich werden zusätzliche Fäden in das Grundgewebe eingezogen, die das Oberflächenbild nicht

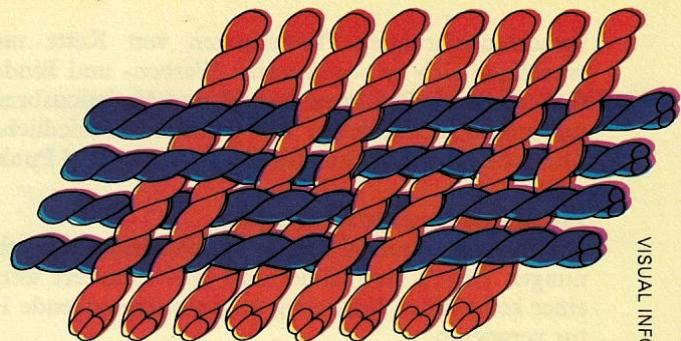
stören, sich jedoch zur Erzielung eines Musters auf eben dieser Oberfläche je nach Bedarf flottieren lassen.

Farbeffekte

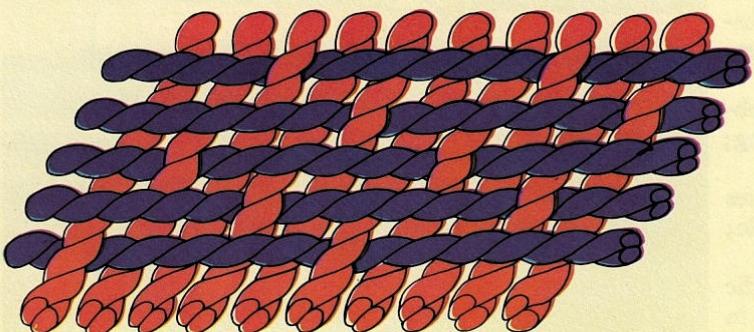
Andere Musterungseffekte lassen sich z.B. durch Verwenden verschiedener Farben für Kette und Schuß erzielen. Treten die farbigen Fäden in großen Gruppen auf, so liegt die Betonung auf farbigen Streifen und Karos wie etwa bei den verschiedenen 'Tartans' (Schottenmustern). Sind die farbigen Fadengruppen jedoch nur klein, so treten weder der Farbeffekt noch die Bindung an sich einzeln deutlich hervor, und die



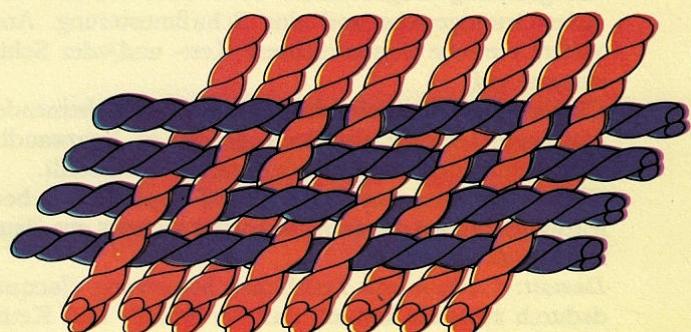
Atlasbindung



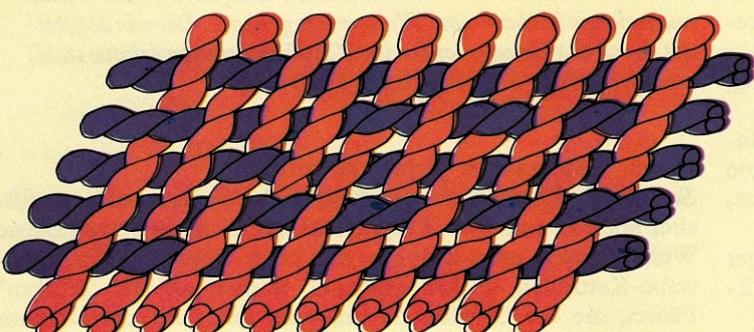
Mattenbindung (auch: Strohbundbindung)



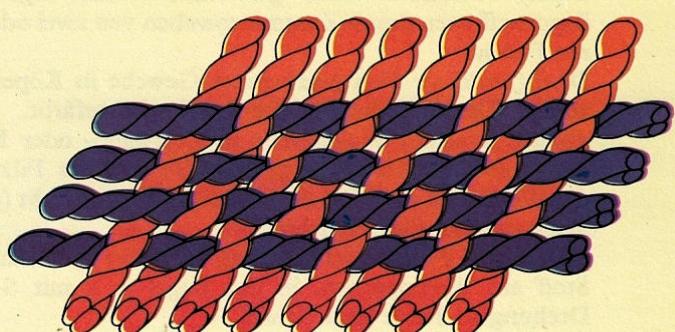
Satinbindung



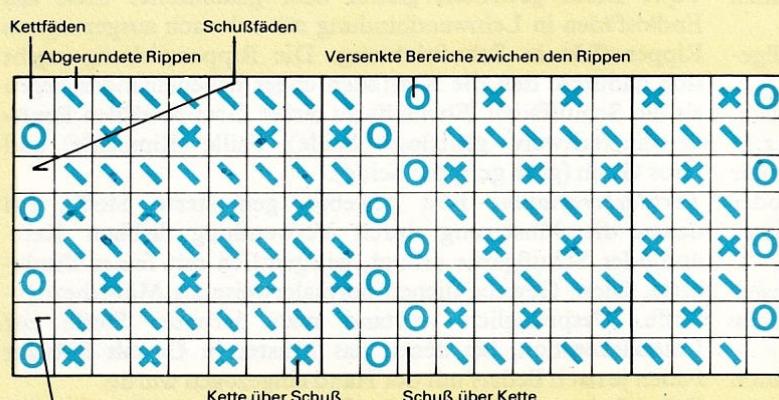
Körperbindung



Längsgerippter Cord (Bedford Cord)



Leinwandbindung mit gleicher Anzahl Kett- und Schußfäden je Zoll



Auf der Cordrückseite in regelmäßigen Abständen flottliegende Schußfäden

Längsgerippter Cord (Bedford Cord)

Oben: Sechs verschiedene Bindeweisen. Bei der Atlasbindung kann das Gewebe eine kett- oder schußbetonte Oberfläche haben. Bei der Körperbindung, die besonders für Wollstoffe verwendet wird, führt man den Schußfaden zunächst über und dann unter zwei Kettfäden hindurch. Die Strohbundbindung ist grober als die Leinwandbindung. Bedford Cord, ein längsgerippter Cord, weist eine 'Zwei-Schuß-Struktur' auf.

Links: Patronenmuster für Bedford Cord. Kreuze bedeuten Kette über Schuß, Schrägstreiche regelmäßig aufeinanderfolgende Schußfäden auf der Cordrückseite, Kreise die zurücktretenden Bereiche zwischen den Rippen und leere Karos Schuß über Kette.

verschiedenfarbigen Flottierungen von Kette und Schuß vereinigen sich zu sogenannten 'Farben- und Bindungseffekten'. Diese sind in ihrer Anzahl und Variationsbreite nahezu unbegrenzt und reichen von ganz unterschiedlichen Linien über Stufen und Zacken bis hin zu Stern- und Punktmustern.

Gewebebezeichnungen

Im folgenden sollen die gebräuchlichsten Gewebebezeichnungen einzeln aufgeführt und kurz erläutert werden; statt einer kompletten Auflistung sei auf entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Brokat: Gemustertes Gewebe von einfacher Textur, bei dem das bildhafte Muster durch Flottieren der Kettfäden und/oder Schußfäden entsteht; die Fäden sind mehr oder weniger unregelmäßig eingebunden. Viele Möbelbrokate haben ein Atlas-Grundgewebe und eine Schußmusterung. Anspruchsvollere Gewebe weisen mehrere Kett- und/oder Schußfaden-systeme auf.

Chiffon: Ursprünglich sehr leichtes, durchscheinendes, grobmaschiges Gewebe aus Seidengarnen in Leinwandbindung; wird heute auch aus Kunstfasergarnen hergestellt.

Chintz: Dichtes, durch Lack steif appretiertes, bedrucktes leinwandbindiges Gewebe, seit jeher zumeist aus Baumwolle; leichter als Kretonne.

Damast: Gewebe mit figürlicher Musterung (Jacquard), die dadurch zustande kommt, daß die Schuß- und Kettfäden in entgegengesetzter Bindung miteinander verknüpft sind. Neben Atlasbindungen kommen auch Köper- und andere Bindungen vor.

Denim: Baumwollstoff kettbetonter Köperbindung aus garngefärbtem Kett- und ungefärbtem Schußgarn.

Dimity: Kariertes oder gestreiftes Baumwollgewebe mit Rippeneffekten durch Zusammenweben von zwei oder mehreren Fäden.

Drell (Drillich): Fest gearbeitetes Gewebe in Köperbindung, ähnlich Denim, jedoch in der Regel stückgefärbt.

Flanell: Weiches Wollgewebe in Leinwand- oder Köperbindung; gelegentlich leicht gewalkt (so daß das Filzvermögen der Wollfasern die Bindung verdeckt) oder gerauht (gebürstet, damit sich der Flor aufrichtet).

Georgette: Feiner, schleierartig dünner, leinwandbindiger Stoff aus Kreppgarnen, in der Regel je 2 mit S- und Z-Drehung in Kette und Schuß.

Hemdenflannell: Beidseitig gerauhtes Gewebe (imitierter Flanell) mit der Kette aus Baumwolle und dem Schuß aus weichgesponnener Baumwolle.

Jean: Geköppter Baumwollstoff, für Arbeitskleidung besonders geeignet. Die leichten Qualitäten, die auch als Futterstoffe Verwendung finden können, werden gelegentlich auch als Jeanette bezeichnet.

Kaliko: Gattungsname für leinwandbindiges Baumwollgewebe; schwerer als Musselin.

Krepp (Crêpe): Gewebe mit gekräuseltem, welligem Aussehen. Dieser Effekt läßt sich auf verschiedene Weise erzielen, z.B. durch Verarbeiten stark überdrehter Garne mit abwechselnder Drehrichtung, durch eine besondere Kreppbindung oder durch chemische Behandlung mit dem Ziel unterschiedlicher Schrumpfung.

Krepon (Borkenkrepp): Atlasbindiges Kreppgewebe, robuster als die Durchschnittsqualität; in Kettrichtung gekräuselt oder geriffelt.

Kretonne: Bedruckter Stoff, ursprünglich und zumeist auch heute noch aus Baumwolle; schwerer als Chintz.

Musselin: Gattungsname für einen leichten, feinfädigen Stoff in Leinwandbindung oder einfacher Dreherbindung.

Schaltungseide: Kleiderstoff in Leinwandbindung mit sichtbaren Garnunregelmäßigkeiten, da das Garn aus der Seide von



Oben: Webstuhl in einer schottischen Textilfabrik, zum Weben mit weichen Mohair- und Wollgarnen gerüstet. Die wie abgebildet durch das Gewebe laufenden Kettfäden müssen relativ stabil sein und werden deshalb gefacht (gedoppelt).

wilden Seidenraupen gesponnen wird.

Seersucker: Leichtes, kreppartiges Gewebe, zumeist gestreift, aber auch kariert. Der Kreppeffekt läßt sich auf verschiedene Weise erzielen, etwa dadurch, daß beim Weben die Grundgewebe-Kettfäden stärker gespannt werden als die 'fältigen' Fäden, die die Streifen bilden, oder auch auf chemischem Wege, mit dem Ziel, manche Teile des Gewebes stärker schrumpfen zu lassen als andere.

Serge: Stückgefärbtes, glattes Köpergewebe mit (fast) gleicher Anzahl Kett- und Schußfäden je Zentimeter und klarem Gewebebild.

Taft: Dicht gewebter, glatter oder gekräuselter Stoff aus Endlosfäden in Leinwandbindung mit schwach ausgeprägtem Rippeneffekt in Schußrichtung. Die Rippewirkung ergibt sich dadurch, daß die Kettfäden enger nebeneinander liegen als die Schußfäden. Ebenfalls zu dieser Gruppe zählen Poult-de-soie (schwere, glanzlose Seide), Faille (Ripsseide) und Gros Grain (grob gerippte Seide).

Textildekorationen: Fest gewebte, gemusterte Stoffe, bei denen die Musterung durch Verwendung farbiger Kett- und/oder Schußgarnen erfolgt, gelegentlich mit feiner Bindekette. Diese Gewebe dienen normalerweise als Möbelbezugsstoffe. Ursprünglich verstand man darunter Stoffe zur Innendekoration, bei denen das Muster in Gestalt farbiger Fäden je nach Bedarf mit der Hand eingezogen wurde.

Zefir: Leinwandbindiges, feinfädiges Gewebe für Kleider, Blusen und Hemden in verschiedenen Qualitäten. Ein typischer Baumwollzefir hat farbige Streifen auf weißem Grund und einen Rippeneffekt durch in Abständen eingezogene grobe Fäden.

THEMODYNAMIK

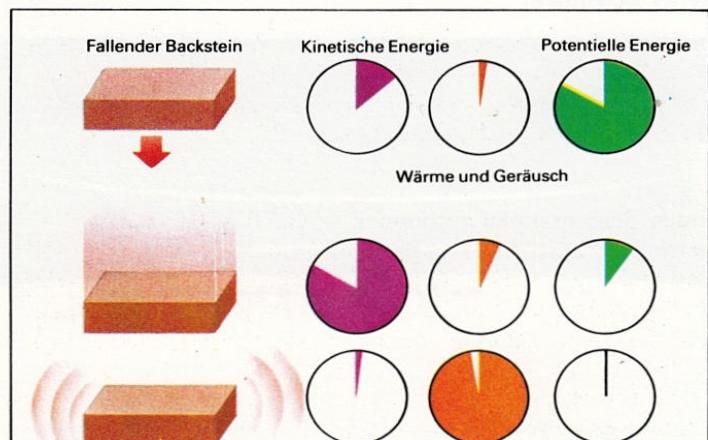
Die Hauptsätze der Thermodynamik drücken einmal aus, daß es unmöglich ist, ein Perpetuum mobile zu bauen, und zum anderen, daß es den Untergang des Universums durch den 'Wärmetod' geben könnte.

Die Thermodynamik umfaßt alles, was mit den Begriffen Wärme und Temperatur zusammenhängt. Die Thermodynamik untersucht die in einem System gespeicherte Energie. Werden die Abmessungen eines Systems z.B. durch Volumenänderung eines Gases oder Längenänderung eines Drahtes geändert, wird im allgemeinen mechanische Energie (in Form von Arbeit) in Wärmeenergie umgewandelt.

In Technik und Naturwissenschaft ist man daran interessiert, Energie mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzeugen. Der theoretische Wirkungsgrad einer Maschine kann aus dem 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik errechnet werden. In Wirklichkeit ist der effektive Wirkungsgrad durch Reibungs- und Wärmeverluste geringer als der theoretisch errechnete Wert.

Erster Hauptsatz

Das Wesen der Wärme wurde erst durch Arbeiten von J. P. Joule (1818 bis 1889) in den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts aufgeklärt. Bis dahin glaubte man, Wärme sei eine leichte Flüssigkeit, die alle Substanzen durchdringt. Werden zwei Körper zusammengebracht, fließt diese Flüssigkeit so lange vom wärmeren zum kälteren Körper, bis ein Temperaturausgleich stattgefunden hat. Diese Wärmetheorie wurde von B. T. Rumford (1753 bis 1814) entwickelt, der beobachtete,

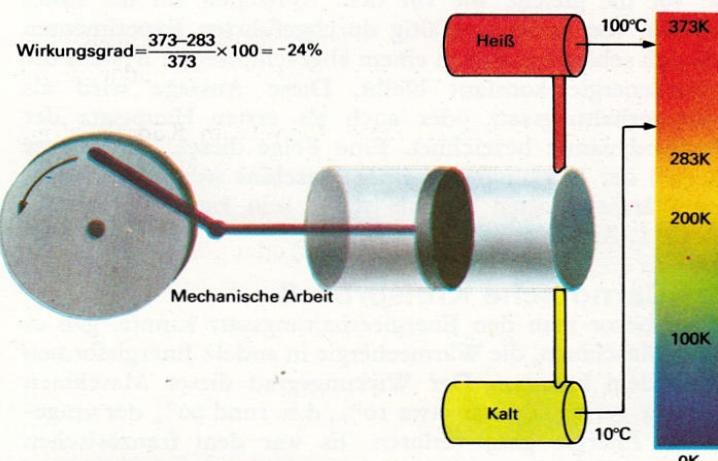


Erster Hauptsatz der Thermodynamik

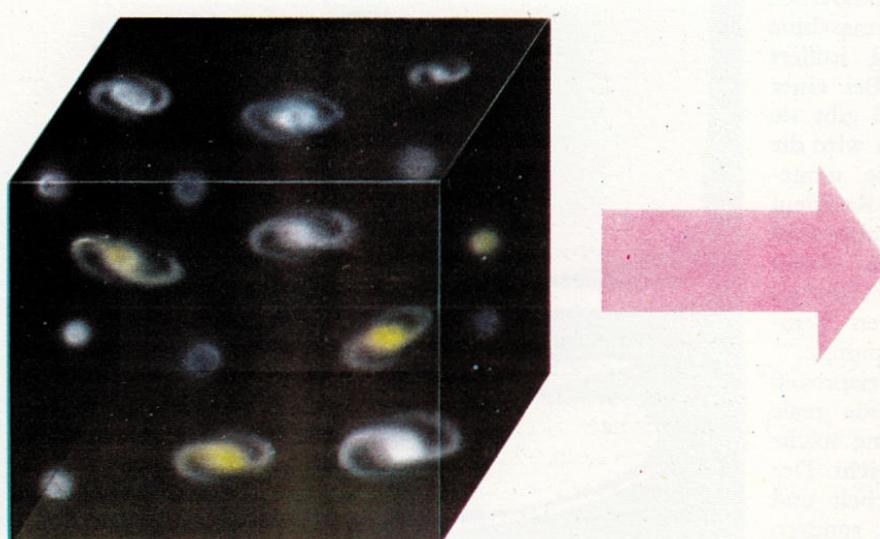
dass beim Bohren von Kanonen Reibungswärme entsteht. Könnte man die entstehende Wärmeenergie speichern, würde sie ausreichen, um die Kanone einzuschmelzen. Rumford schloß aus der Beobachtung, dass die durch das Bohren geleistete Arbeit in irgendeiner Weise in Wärme umgesetzt wird.

Joule und J. R. Mayer (1814 bis 1878) konnten zeigen, dass Wärme eine Energieform ist. Die erste Energieform, die man kannte, war die kinetische Energie, d.h. die Energie der Bewegung. Man lernte aber auch verschiedene Formen der potentiellen Energie (Energie der Ruhe) kennen, die sich bei einem System in kinetische Energie umwandeln lässt. Ein Beispiel ist die potentielle Energie, die einem Körper innerhalb, der sich in einer gewissen Höhe über dem Erdboden befindet. Fällt z.B. ein Backstein aus einer gewissen Höhe, wird seine potentielle Energie in kinetische Energie, die mit abnehmender Höhe zunimmt, umgewandelt. Die Gesamtenergie, d.h. die Summe aus potentieller und kinetischer Energie, ist jedoch immer konstant. Beim Aufprall des

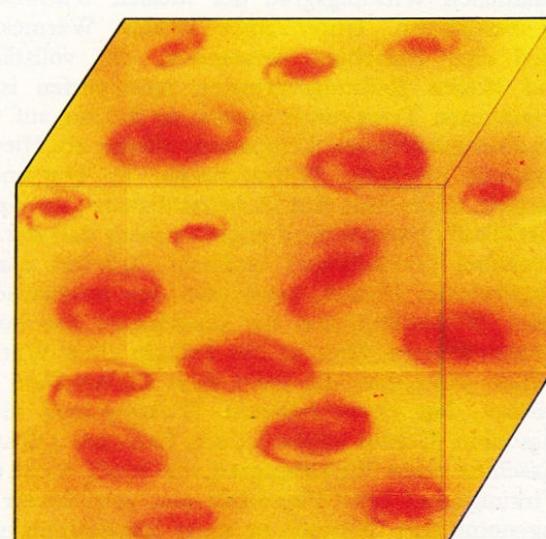
Unten: Die Hauptsätze der Thermodynamik bildlich dargestellt. Der erste Hauptsatz sagt etwas über die Erhaltung der Energie in einem geschlossenen System aus. Als Beispiel diene ein fallender Backstein. Rechts ist ein 'Energiediagramm' dargestellt. In dem Diagramm ist die Summe der einzelnen Energiebeträge konstant. Der zweite Hauptsatz zeigt, dass der Wirkungsgrad einer Wärmemaschine einen kleinen Wert nicht überschreitet. Einen Wirkungsgrad von 100% erzielt man theoretisch nur dann, wenn die Temperatur des zweiten Warmbehälters 0 K ist. Ganz unten die Darstellung des 'Wärmetodes'.



Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik



Entropie derzeitiger Zustand des Universums



'Tod' des Universums



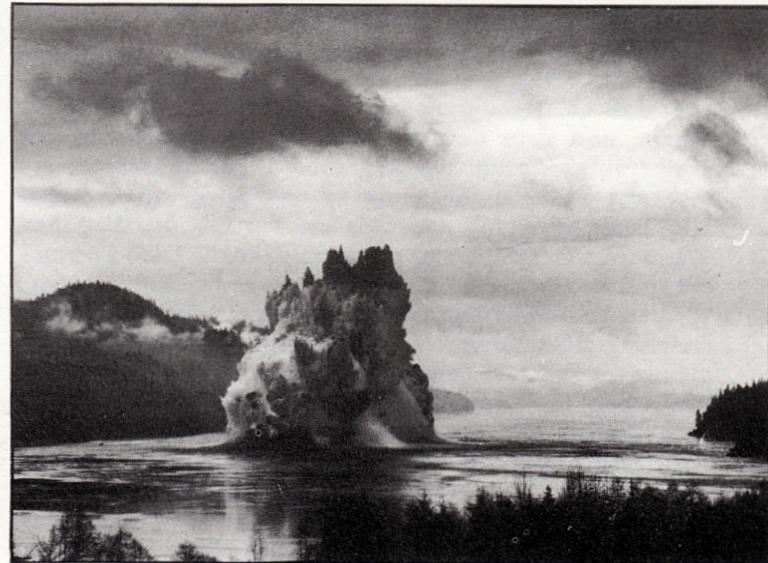
Oben: Ein schönes Beispiel für die Vergrößerung der Entropie. Die Bildfolge zeigt die Zerstörung eines Felsens in Neymour Narrows, Britisch Kolumbien, der eine Gefahr für Schiffe darstellte. Zwischen dem ersten und dem letzten Bild liegt ein Zeitraum von 12 Sekunden. Man kann sehr deutlich die größer werdende Unordnung (Entropie) beobachten.

Backsteins auf die Erde wird die kinetische Energie nicht zerstört, sondern zum Teil in Schallenergie und hauptsächlich in Wärmeenergie umgewandelt. Die Gesamtenergie ist nach wie vor die gleiche wie vor dem Auftreffen auf die Erde. Aus den von Joule sorgfältig durchgeföhrten Experimenten läßt sich schließen, daß in einem abgeschlossenen System die Gesamtenergie konstant bleibt. Diese Aussage wird als Energieerhaltungssatz oder auch als erster Hauptsatz der Thermodynamik bezeichnet. Eine Folge dieses Hauptsatzes ist, daß der Wirkungsgrad einer Maschine wegen Reibungs- und Wärmeverlusten niemals 100% sein kann (Perpetuum mobile 1. Art).

Der Carnotsche Kreisprozeß

Lange bevor man den Energieerhaltungssatz kannte, gab es schon Maschinen, die Wärmeenergie in andere Energieformen umwandeln konnten. Der Wirkungsgrad dieser Maschinen war sehr gering. Er war etwa 10%, d.h. rund 90% der umgesetzten Energie ging verloren. Es war dem französischen Physiker Sadi Carnot (1796 bis 1832) vorbehalten, den maximalen Wirkungsgrad der idealen Wärmekraftmaschine zu bestimmen. Unter einer idealen Wärmekraftmaschine wird eine Maschine verstanden, die vollständig isoliert und keinen Reibungsverlusten unterworfen ist. Bei einer bestimmten Temperatur nimmt sie Wärme auf und gibt sie bei einer niedrigeren Temperatur wieder ab. Hierbei wird die maximal mögliche Wärmeenergie in Nutzenergie umgewandelt. Sie enthält eine 'Arbeitssubstanz', die einen Kreislauf durchläuft. Hierbei wird angenommen, daß der Kreisprozeß reversibel (umkehrbar) verläuft. Arbeitet man in einem umgekehrten Prozeß, kann man aus mechanischer Energie einen Wärmefluß von der niedrigeren zur höheren Temperatur steuern. Dies ist das Prinzip einer Wärmepumpe.

Eine Maschine, die nach dem Carnotschen Kreisprozeß arbeitet, hat einen höheren Wirkungsgrad als jede reale Maschine. Carnot stellte jedoch fest, daß selbst eine solche Maschine einen Wirkungsgrad von 100% nicht erreicht. Der Wirkungsgrad (das Verhältnis aus verrichteter Arbeit und angenommener Wärme) ist nicht materialabhängig, sondern hängt ausschließlich von der Temperaturdifferenz ab, die



zwischen zwei Wärmebehältern herrscht. Er ist immer kleiner als 100%, es sei denn, der auf niedrigerer Temperatur befindliche Wärmebehälter hat eine Temperatur von 0 K ($-273,16^{\circ}\text{C}$). Lord Kelvin (1824 bis 1907) erkannte im Jahre 1848, daß die 'Carnotsche Maschine' sich dazu eignet, eine absolute Temperaturskala, die sogenannte Kelvin-Skala, zu definieren. Sie ist auch heute noch die grundlegende Temperaturskala der Naturwissenschaften. Temperaturen unterhalb 0 K können auch theoretisch nicht erreicht werden, denn dann würde der Wirkungsgrad der Carnotschen Maschine größer als 100% werden, d.h. man könnte Energie aus dem 'Nichts' gewinnen.





Zweiter Hauptsatz

Das wichtigste Ergebnis des Carnotschen Kreisprozesses ist die Erkenntnis, daß Wärme nur dann in nutzbare Energie umgesetzt werden kann, wenn sie zwischen Wärmebehältern unterschiedlicher Temperatur 'fließt'. Es ist unmöglich, Wärme einem auf einer bestimmten Temperatur befindlichen Wärmebehälter zu entnehmen und in eine andere Energieform umzuwandeln. Diese Aussage ist der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Man kann auch sagen: Wärme 'fließt' ohne äußere Beeinflussung nur von einem wärmeren zu einem kälteren Körper. Praktisch bedeutet die Aussage z.B., daß ein Ozeandampfer nicht dadurch angetrieben werden kann, indem

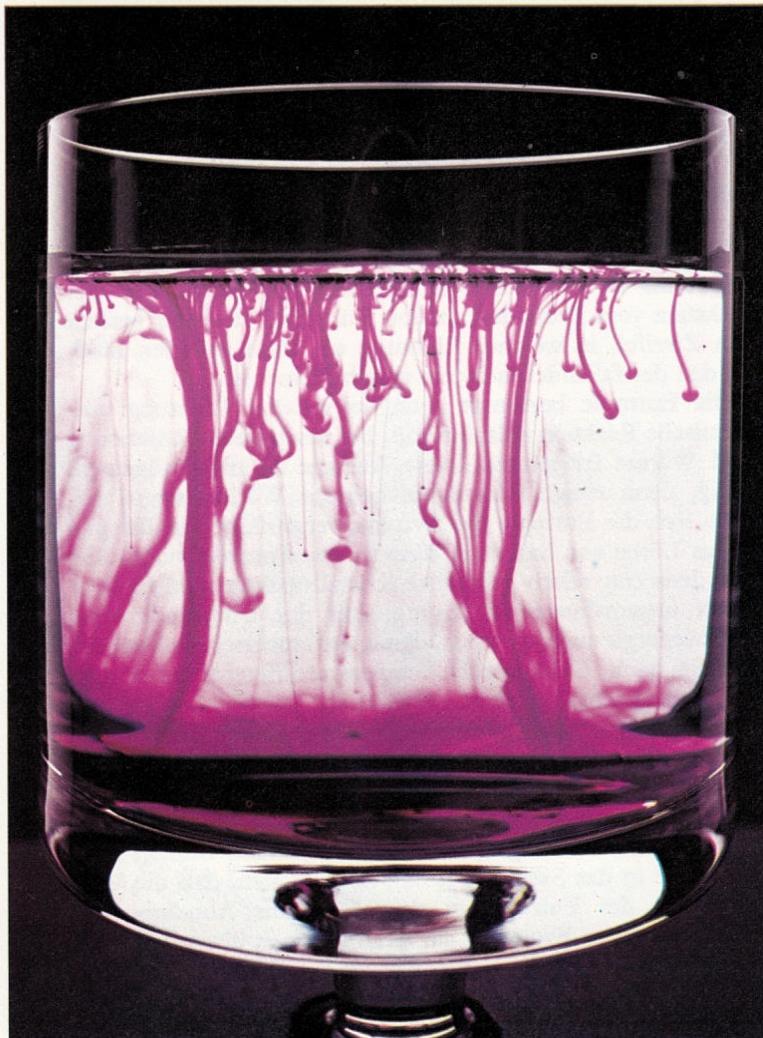
man dem Meer Wärme entzieht.

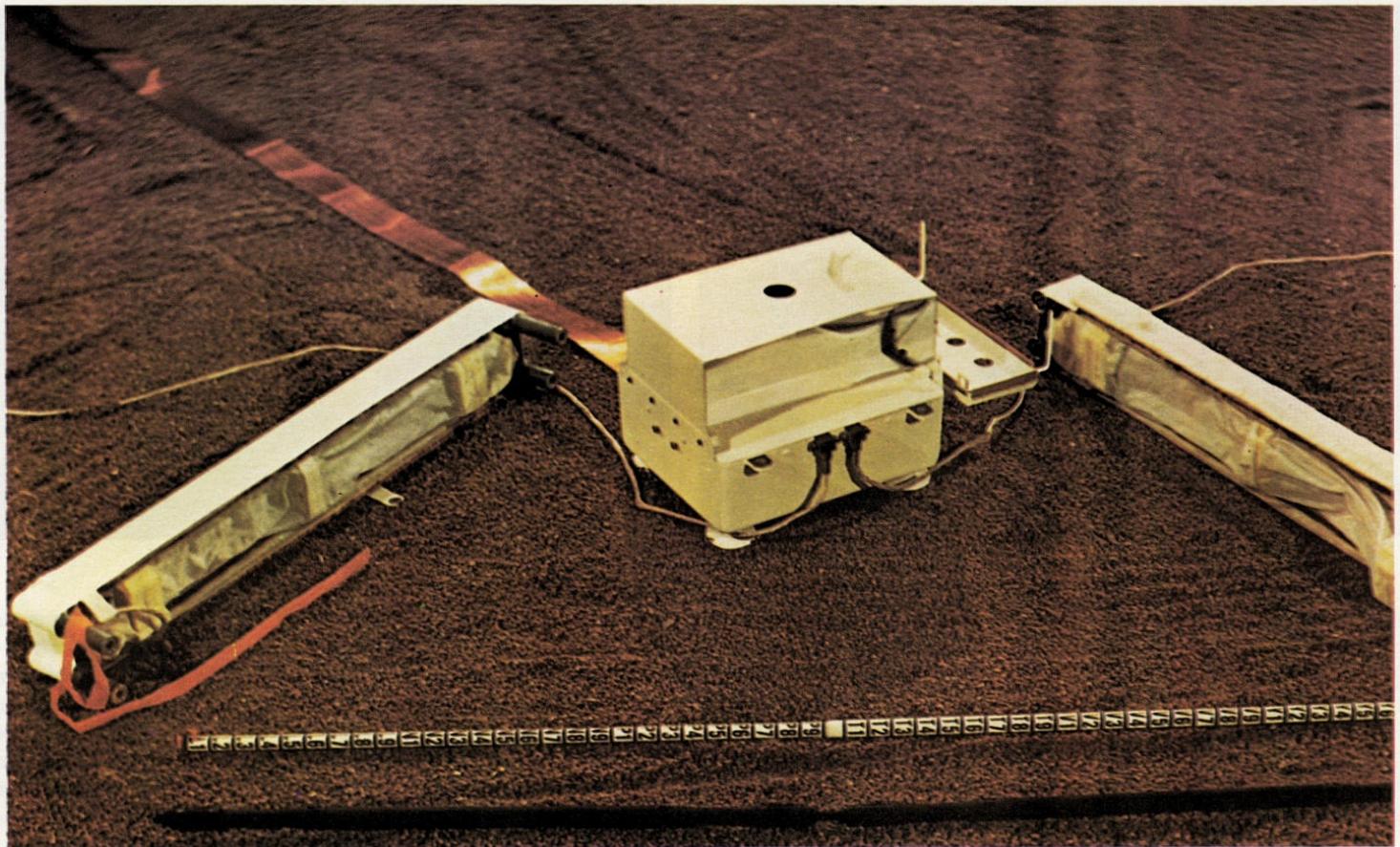
Abgesehen von Ebbe und Flut sowie der Kernenergie beruhen die Energiequellen der Erde auf der Temperaturdifferenz zwischen der Sonne und der Erde. Zu diesen Energiequellen zählen sowohl der Wind als auch die in den Pflanzen gespeicherte Energie. Die Erde würde auf die Oberflächentemperatur der Sonne (6000°C) aufgeheizt werden, wenn keine Wärme im Weltraum abgestrahlt würde. Einige Physiker sind der Meinung, daß das Universum zu irgendeinem Zeitpunkt ein Wärmebehälter mit überall gleicher Temperatur werden könnte, da letztlich alle Energieverluste (z.B. durch Reibung) in Form von Wärmeenergie auftreten. Hätten alle Körper im Universum gleiche Temperatur, könnte, da keine Temperaturdifferenz mehr bestünde, keine nutzbare Energie mehr erzeugt werden. Das Universum würde den 'Wärmetod' erleiden.

Statistische Mechanik

Ein weiteres Gebiet der Thermodynamik ist die Betrachtung der Molekularbewegung in einem System. Wärmeenergie ist nichts anderes als die Summe der kinetischen Energien aller Moleküle. Dies bedeutet: Beim Aufwärmen eines Gases wird die Geschwindigkeit der Gasmoleküle größer. In Festkörpern hingegen, in denen die Moleküle im Kristallgitter fest gebunden sind, nimmt beim Erwärmen die Schwingungsamplitude zu. Man betrachte noch einmal das frühere Beispiel des fallenden Backsteins. Die gesamte kinetische Energie ist kurz vor dem Aufprall auf den Erdboden die gleiche wie kurz nach dem Aufprall. Die Situation vor dem Aufprall ist die, daß sich beim freien Fall alle Moleküle in dem Backstein in der gleichen Richtung bewegen. Nach dem Aufprall verteilen sich die Moleküle statistisch (d.h. willkürlich) in alle Richtungen. Der Backstein wird erwärmt. Die Erklärung makroskopischer Phänomene wie der Druck oder die Viskosität aus der Sicht des Mikrokosmos, d.h. durch Zusammenstoß von Molekülen, ist als kinetische Gastheorie bekannt, die auch die Gasgesetze erklärt. Um thermodynamische Erscheinungen erklären zu können, muß man die Moleküle in bezug auf ihre Gesamtenergie betrachten. Diese Erscheinungen beschreibt die statistische Mechanik. Mit ihr kann man aus den Eigen-

Links: Die Vergrößerung der Entropie kann auch an Kleinigkeiten beobachtet werden. Gibt man in ein Glas Tee oder eine Tasse Kaffee ein Stück Zucker, löst es sich auf. Die Zuckermoleküle breiten sich in den Flüssigkeiten durch Diffusion aus. Die Bilder veranschaulichen die Diffusion eines Permanganats in Wasser. Da es wenig wahrscheinlich ist, daß Moleküle in Kristallen re kombinieren, folgt, daß die Unordnung sich vergrößert.





PHOTRI

schaften der Teilchen in einem physikalischen System gewisse Vorhersagen über das System machen.

In der statistischen Mechanik werden die Wahrscheinlichkeiten verschiedener Energiezustände eines Systems berechnet. Denn bei irgendeiner Reaktion neigt das System dazu, in den wahrscheinlichsten Zustand überzugehen. Die Wahrscheinlichkeit, daß die Moleküle des Backsteins in verschiedenen Richtungen schwingen, ist größer, als daß sie alle in gleicher Richtung schwingen. Man kann also voraussagen, daß der fallende Backstein (geordnete Molekularbewegung) nach dem Aufprall erwärmt werden wird (ungeordnete Molekularbewegung). Wenn andererseits ein Backstein erwärmt wird, ist die Wahrscheinlichkeit sehr klein, daß sich alle Moleküle gleichzeitig in die gleiche Richtung bewegen. Hieraus kann mit Sicherheit geschlossen werden, daß ein auf der Erde liegender Backstein sich nicht ohne äußere Einwirkung vom Boden erhebt. Dieses Ergebnis entspricht der Aussage des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. 'Geordnete' Energie (Arbeit) kann in 'ungeordnete' Energie (Wärme) überführt werden, aber nicht umgekehrt. Die statistische Mechanik kann deshalb als eine mikroskopische Deutung thermodynamischer Beobachtungen angesehen werden.

Entropie

Die Entropie eines Systems ist ein Maß seiner Unordnung. Jede Änderung in einem geschlossenen System kann die Entropie nur erhöhen. Mit Hilfe des Entropiebegriffes läßt sich der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ebenfalls beschreiben. Er wurde im Jahre 1865 von R. Clausius (1825 bis 1888) eingeführt. Die Entropie ist deshalb von Bedeutung, weil sie eine Aussage über die Richtung der Zeit macht. Die meisten physikalischen Gesetze sind auch dann gültig, wenn die Zeit rückwärts läuft. Es ist gleichgültig, ob ein Film, auf den eine Pendelbewegung aufgezeichnet ist, vorwärts oder rückwärts läuft. Tritt jedoch eine Entropieänderung ein (z.B. Abbremsen des Pendels durch die Reibung der Luft), wird

Ein Wärmestromexperiment auf dem Mond. Die beiden Tastköpfe, die in verschiedene Tiefen der Mondoberfläche hinabgelassen werden, liefern eine kleine Temperaturdifferenz. Mit Hilfe der Thermodynamik kann die Oberflächentemperatur berechnet werden.

die Laufrichtung des Filmes für den Betrachter deutlich.

In der 'normalen' Zeitrichtung treten Ereignisse in der wahrscheinlichsten Richtung (Vergrößerung der Entropie) ein. Auf diese Weise kann die Vorwärtsrichtung der Zeit definiert werden. Beim Beispiel des zur Erde fallenden Backsteins ist die Wahrscheinlichkeit sehr klein, daß der Backstein vom Erdboden abhebt. Für den Betrachter besteht kein Zweifel, in welcher Richtung ein Film ablaufen muß, auf den der fallende Backstein aufgezeichnet ist.

Die Entropie bestimmt auch, in welcher Richtung eine chemische Reaktion ablaufen soll. Bei den meisten Reaktionen wird Wärme freigesetzt. Diese Aussage ist nicht allgemein gültig, denn einige Reaktionen nehmen Wärmeenergie auf, wenn sich die Entropie des Systems vergrößert. Ein Beispiel ist das Lösen von Salzen in Wasser. Die Entropie vergrößert sich, denn eine relativ geordnete Kristallstruktur wird zu einer relativ ungeordneten Salzlösung. Aus der Umgebung wird Wärmeenergie aufgenommen, damit der beschriebene Vorgang ablaufen kann. Es kann eine Temperaturdifferenz von einigen Kelvin beobachtet werden.

Es wird manchmal behauptet, daß das Leben dem Gesetz von der Vergrößerung der Entropie widerspricht. Denn die Formen der biologischen Evolution sind komplex und geordnet. Jedoch ist die 'Biosphäre' kein geschlossenes System, da sie nicht die Energiequelle (Sonne) enthält. Bezieht man die Sonne in das System mit ein, zeigt es sich, daß die Vergrößerung der Entropie in der Sonne die Abnahme der Entropie bei der Evolution auf der Erde weit überwiegt. Das Leben verlangsamt die Vergrößerung der Entropie, kehrt sie aber nicht um. Der Anstieg der Entropie führt in letzter Konsequenz zum 'Wärmemodell'.

Erfindungen 54: VOLTA-SÄULE

Ende des 18. Jahrhunderts kannte man zwei Möglichkeiten der Elektrizitätserzeugung: Unmittelbar aus einer elektrostatischen Maschine, die durch Reibung statische Ladungen erzeugte, oder durch Speicherung der durch Reibung erzeugten Ladungen in einer Leydener Flasche, der Vorgängerin des Kondensators. Es gab zur damaligen Zeit noch keine Stromquelle, da die Elektrizität der Ströme noch nicht entdeckt war.

Das Experiment Galvanis

Als Anfang der Elektrizität der Ströme sieht man im allgemeinen die Experimente über die Reizung der Beinmuskeln frisch getöteter Frösche von Luigi Galvani (1737 bis 1798) aus dem Jahre 1780 an. Galvani war Professor der Anatomie an der Universität Bologna. Er stellte fest, daß sich die Beinmuskeln von Fröschen zusammenziehen, wenn sie zwei ungleiche Metalle berühren. Galvani glaubte, daß die Elektrizität im tierischen Körper entsteht. Die Metalle als solche leiteten sie nur weiter.

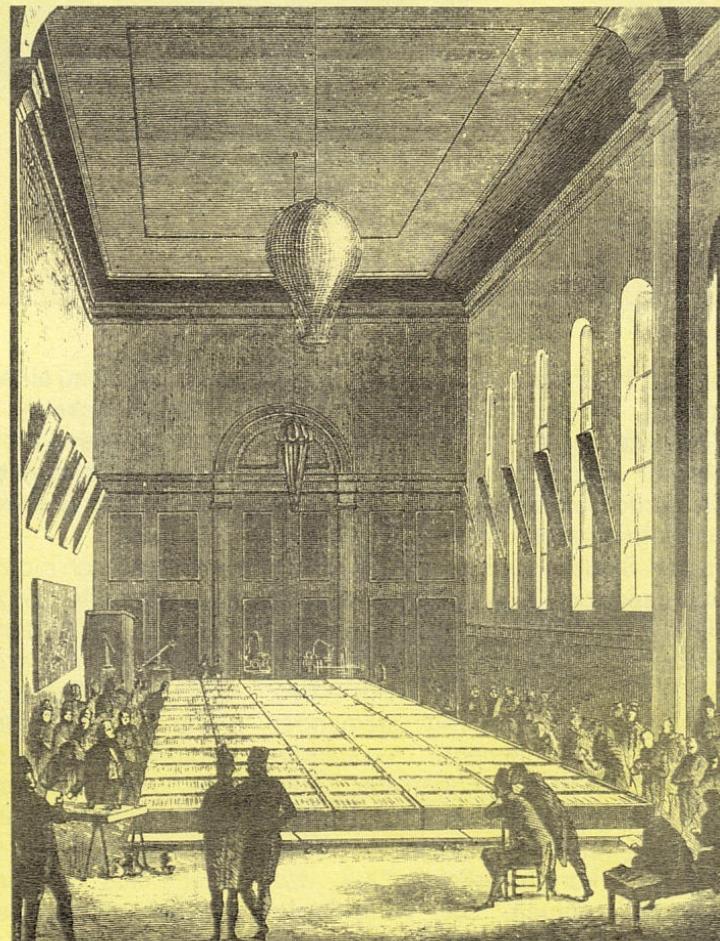
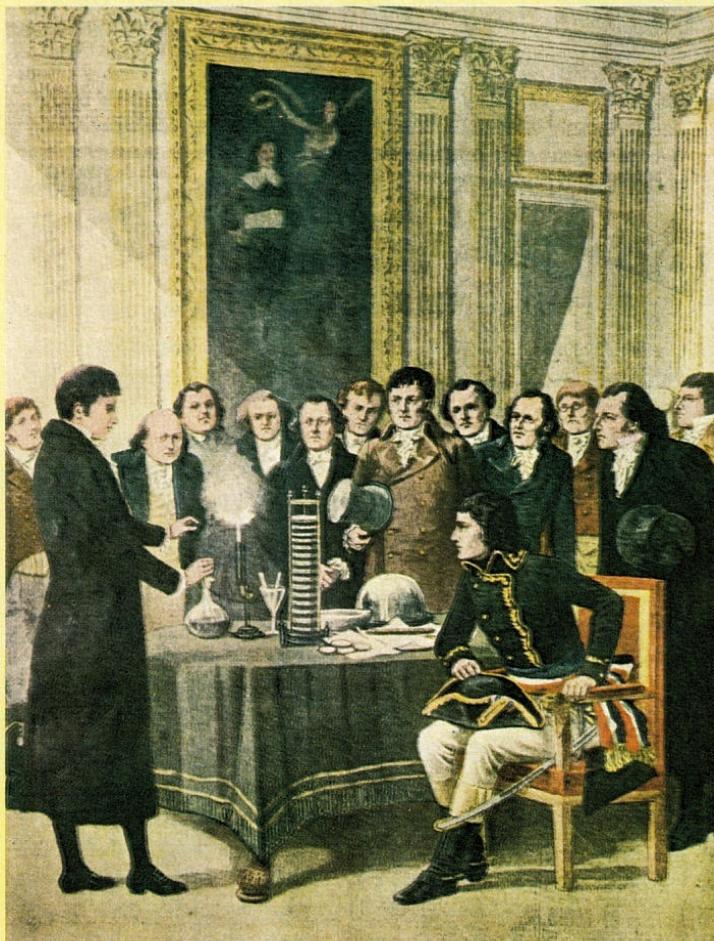
Nicht jeder Forscher der damaligen Zeit war von der Theorie der 'tierischen Elektrizität' überzeugt. Insbesondere Alessandro Volta (1745 bis

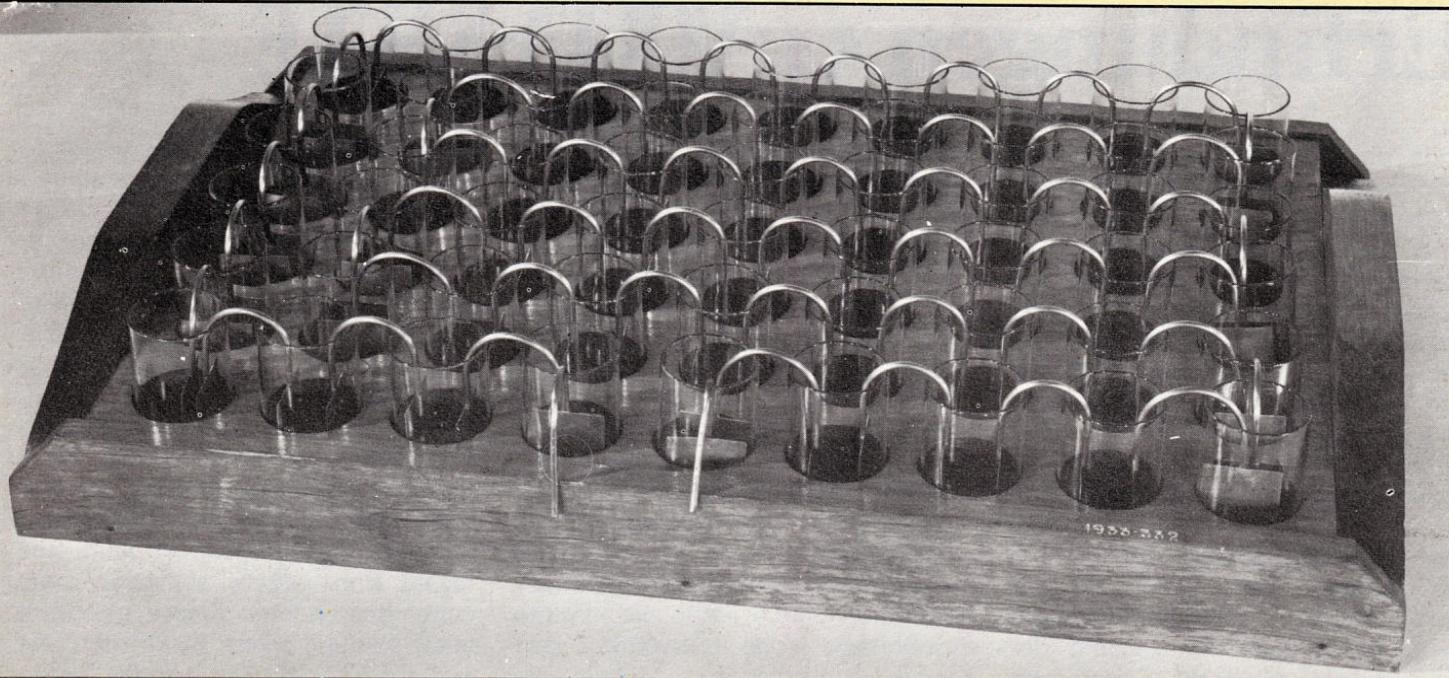
1827), Physikprofessor an der Universität Padua, vertrat eine andere Meinung bei der Deutung der Froschschenkelnversuche Galvanis. Volta hatte schon viel Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Elektrizität geleistet. Er hat einige Apparaturen entwickelt (z.B. das Elektrophor), die elektrische Ladung speichern konnten oder die Durchführung genauer Messungen elektrischer Effekte erlaubten. Zwischen Galvani und Volta brachen heftige Auseinandersetzungen aus, die sich in den Jahren nach der Französischen Revolution auch auf die Politik ausdehnten. Volta betrachtete den Kontakt verschiedener Metalle als Ursprung der Elektrizität. Er schrieb: 'Metalle können durch die ihnen innewohnenden Eigenschaften die elektrische Flüssigkeit hervorrufen und aus ihrem Ruhezustand befreien'. Als Folge begann er an sich selbst mit einer Reihe von Experimenten zu arbeiten, die schon einige Jahre früher von einem Philosophen durchgeführt wurden, um angenehme und unangenehme Sinneswahrnehmungen zu überprüfen. Er nahm ein Stück Zinnfolie und eine Silbermünze, die er an den Rändern in Kontakt brachte. Berührte er mit

seiner Zunge gleichzeitig beide Metalle, empfand er einen sauren Geschmack. Brachte er sein Auge mit den Metallen in Kontakt, sah er Lichtblitze. Er ließ selbst den Gedanken einer passiven tierischen Elektrizität, die durch die Metalle angeregt wird, fallen. Jede feuchte Substanz kann Elektrizität leiten. Es gab 'trockene Leiter', wie Metalle und Kohle, und 'nasse Leiter'. Jeder Kontakt zwischen diesen Leitern kann die elektrische Flüssigkeit anregen oder vernichten'. Wird eine Klasse von Leitern zwischen zwei Leiter der anderen Klasse gebracht, fließt kontinuierlich Elektrizität, die erst dann zu fließen aufhört, wenn der 'Stromkreis' unterbrochen wird.

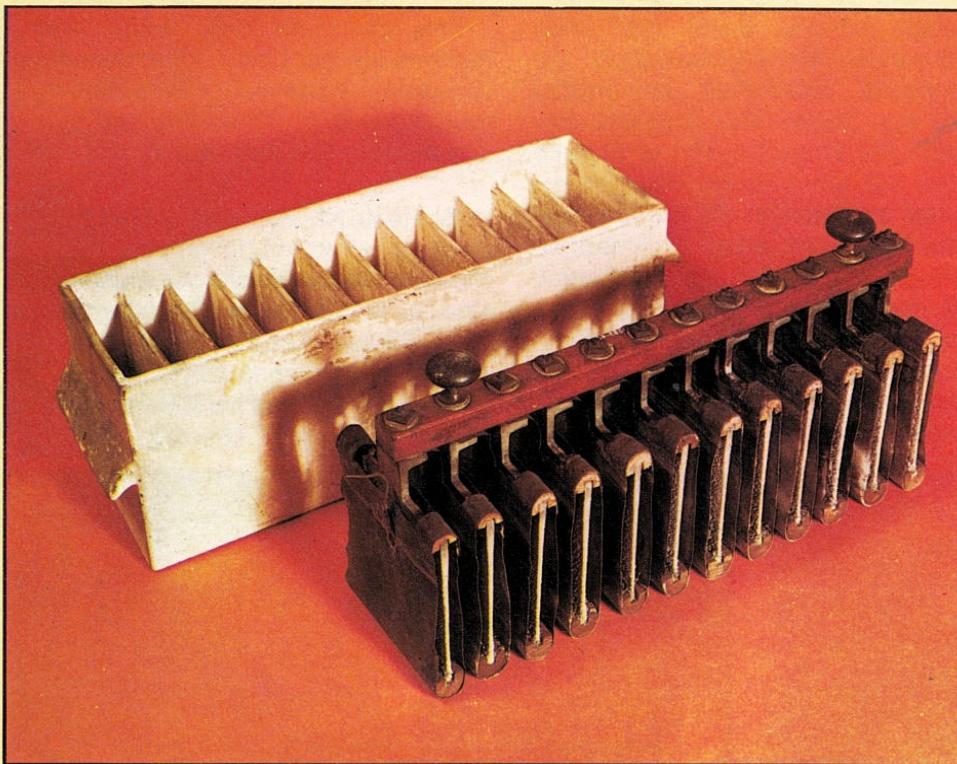
Was geschieht nun, wenn man mehrere solcher Leiter hintereinander anordnet? Volta nahm eine Silbermünze, einen feuchten Filz und eine Zinkplatte. Darüber schichtete er

Volta stellte Napoleon im Jahre 1801 seine neue Batterie (links) vor. Napoleon gab daraufhin Anweisung, eine aus 600 Elementen bestehende Volta-Säule zu bauen. Sie wurde in der École Polytechnique (rechts) installiert. Noch heute heißt Batterie im Französischen 'pile' (Säule).





MICHAEL HOLFORD



einen feuchten Filz, eine Silbermünze, einen feuchten Filz, eine Zinkplatte usw. Je größer die Zahl solcher übereinander angeordneten Elemente war, um so größer waren die zu beobachtenden Effekte. Volta baute später Säulen von zwanzig, dreißig und sechzig Elementen, die mit Hilfe von Stäben gehalten wurden. Berührte er die beiden Enden der Säule, erhielt er einen elektrischen Schlag, der sich mit steigender Anzahl der Elemente verstärkte. Wurden an beiden Enden der Säule Drähte angebracht, entstand ein elektrischer Funken. Interessant war, daß der kontinuierliche Fluß des 'Stromes' anhielt. Die Volta-Säule entlud sich nicht unmittelbar und

Oben: Aufbau einer technisch weiterentwickelten Volta-Säule. Die Anschlüsse, die die Enden der Drahtbügel bilden, sind im Vordergrund zu sehen.

mußte danach nicht, wie alle früheren Geräte, wieder aufgeladen werden. Er berührte mit den Drähten seine Nase, seine Augenlider, seine Ohren und seine Stirn. Überall verspürte Volta eine Sinnesreizung, die kontinuierlich anhielt. Er glaubte an eine Art 'elektrisches Perpetuum mobile'. Bei vielen in einer Säule übereinanderliegenden Elementen wurde aus den unteren Filzen das Wasser herausgepreßt. Deshalb tränkte er den Filz mit einer Salz-

Oben: Spätere Batterien, wie z.B. die hier abgebildeten von Wollaston, verwendeten Metallplatten, ähnlich wie sie in Autobatterien zu finden sind.

lösung, die sich als besser geeignet erwies als reines Wasser. Er verband die einzelnen Filze, die sich nun in einer Ebene befanden, in abwechselnder Reihenfolge durch Drahtbügel aus Silber bzw. Zink miteinander.

Volta schrieb im März 1800 in einem Brief an Sir Joseph Banks, den Präsidenten der Royal Society, über die Erfindung seiner Säule. Schon einen Monat später wurde die Volta-Säule zur Zersetzung von Wasser (Elektrolyse) verwendet; Lösungen von Metallsalzen ließen sich ebenfalls zersetzen. Im Laufe der nächsten Jahre wurden viele solcher elektrolytischen Untersuchungen vorgenommen, die im Jahre 1807 in der Reindarstellung von Natrium und Kalium durch Sir Humphry Davy (1778 bis 1829) gipfelte. Die Volta-Säule wurde in der Folge immer weiter verbessert, und es wurden verschiedenartige Metalle als Elektroden verwendet. Volta ging nach Paris, wo er von Napoleon gefeiert wurde. Napoleon ordnete an, eine Säule mit 600 Platten zu bauen. Die Volta-Säule stellte den Elektrikern der damaligen Zeit zum ersten Mal einen stationären Strom zu Verfügung. Obwohl Volta die Wirkungsweise der Säule noch nicht richtig deutete, erfand er doch die erste Batterie. Sie war ein erster Schritt zur Entwicklung der Elektrodynamik und schließlich der Ausnutzung elektrischer Energie.