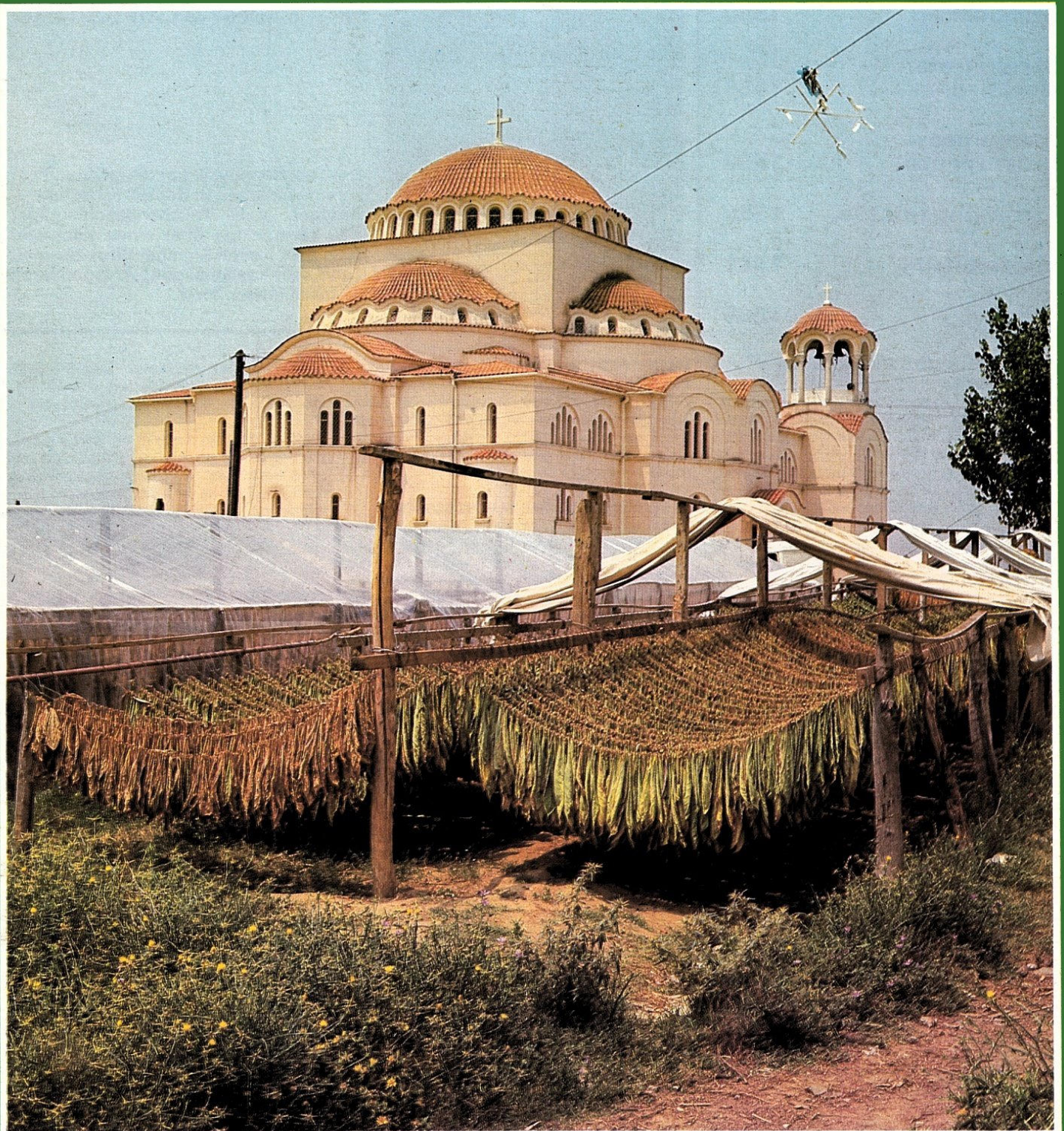


HEFT 56 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

Technik und Erfindungen von A bis Z
mit Tausenden von Fotografien und Zeichnungen



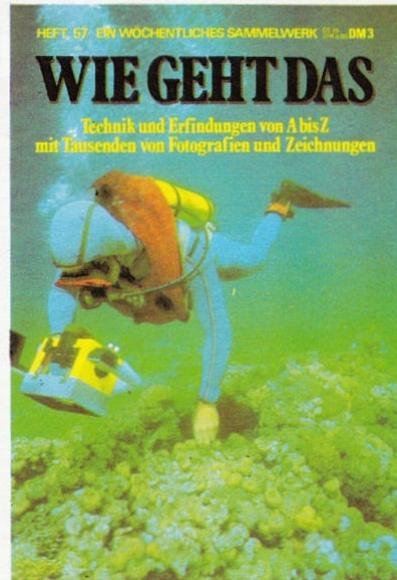
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Streichinstrumente	1541
Strickmaschine	1548
Stroboskop	1550
Stromkreis, elektrischer	1553
Strommess- instrumente	1558
Strömungsmesser	1559
Supraleitung	1561
Tabak	1565

In Heft 57 von Wie Geht Das



Die rasche Entwicklung der küstennahen Erdöl- und Gasindustrie hat zu einer großen Nachfrage nach erfahrenen Tauchern geführt. Finden Sie heraus, was man zum Tiefseetauchen benötigt — in Heft 57 von WIE GEHT DAS.

Die Teilchenphysik hat die größten Forschungsanlagen in der Wissenschaft — Anlagen wie Teilchenbeschleuniger z.B. können bis über einen Kilometer lang sein. Lesen Sie über diese riesigen (und sehr kostspieligen) Anlagen nach — im nächsten Heft.

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE 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.

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, bestellt der Händler gern für Sie die Sammelordner.

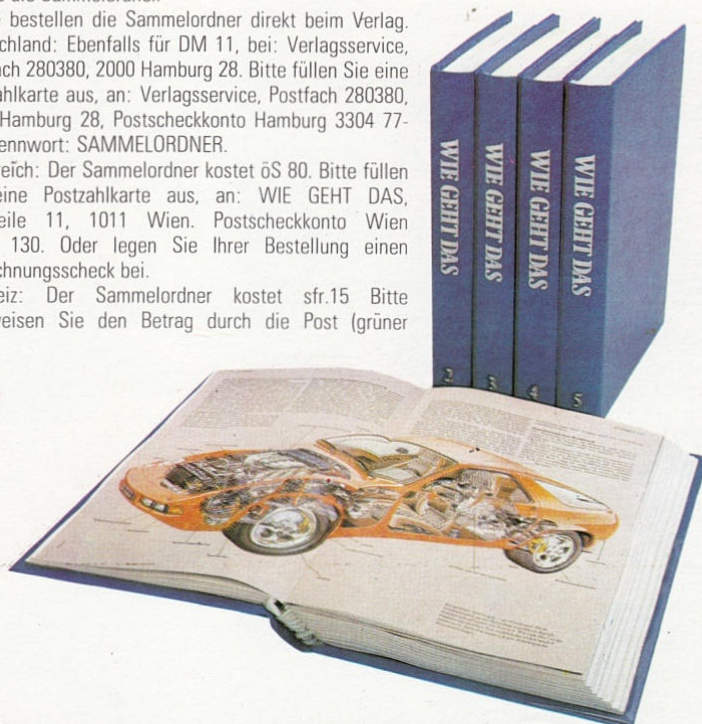
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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.

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 Überweiskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.



STREICHINSTRUMENTE

Die Geschichte der Streichinstrumente reicht so weit zurück, daß genaue Angaben über ihre Entstehung nicht möglich sind. Man sagt, Nero habe angesichts der brennenden Stadt Rom 'gefielt', doch läßt sich der Wahrheitsgehalt solcher Behauptungen nicht feststellen.

Die wichtigste Familie gestrichener Instrumente sind heute die Violininstrumente. Es ist sinnvoll, zuerst die Konstruktionsprinzipien der Violine und ihrer Abwandlungen darzustellen, um dann auf ihre Vorläufer und frühen Mitbewerber näher einzugehen.

Die Violininstrumente

Diese Instrumente unterscheiden sich in einigen Einzelheiten von denen des Typus 'Viola da gamba'. Gemeinsam mit ihnen haben sie ein Griffbrett und einen hohlen Resonanzkörper. Bei der Violine (volkstümlich 'Geige' genannt) und den ihr verwandten Instrumenten sind parallel bis zum Ende des Griffbrettes vier Saiten gespannt, so daß die Finger sie zur Erzielung des gewünschten Tons niederdrücken und auf diese

Weise verkürzen können. Streicht man einen mit Roßhaar bespannten Bogen in der Nähe des Stegs über die Saiten, so versetzt man die Saiten in Schwingungen. Am unteren Ende des Corpus, wie der Resonanzkörper auch genannt wird, sind die Saiten am Saitenhalter befestigt, der beweglich auf einem Knopf sitzt. Auf der gegenüberliegenden Seite, am Ende des Halses, werden sie durch in Löchern im Wirbelkasten straff drehbare Wirbel fixiert. Mit ihrer Hilfe ist eine Veränderung der Saitenspannung möglich. Der Wirbelkasten läuft gewöhnlich in eine fein geschnitzte Schnecke aus.

Zwischen Corpus und Wirbelkasten liegt der Geigenhals. Er ist mit einer Platte am Corpus befestigt. Das Griffbrett läuft vom Wirbelkasten bis nahezu in die Mitte des Corpus, berührt es allerdings an keiner Stelle.

Das Corpus besteht aus Decke und Boden. Zwischen ihnen verläuft über den gesamten Umfang des Instrumentes die Zarge. Sie wird durch Gegenzargen und sechs Klötze verstärkt. Zwischen Decke und Boden steht der Stimmstock, und zwar dicht hinter dem rechten Fuß (Diskantfuß) des Stegs und

Ein Streichquartett bei einem Konzertabend. Die Instrumente sind: Violine, Viola und Cello.





Oben: Diese Saite schwingt mit der Grundfrequenz (1. Teilton).

Unten: Hier sehen wir Sekundärschwingungen (Obertöne), die zusammen mit der Grundfrequenz, jedoch schwächer als diese, auftreten. Die Pfeile weisen auf die Schwingungsknoten hin, die berührt werden müssen, wenn nur die Flageoletttöne erklingen sollen. Beispielsweise hat der fünfte Teilton vier Schwingungsknoten. Es besteht die Möglichkeit, an jedem dieser Schwingungsknoten einen Flageoletton zu erzeugen.



Der 2. Teilton, der die Oktave über dem Grundton liefert.



Der Oberton zum 3. Teilton schwingt 3x so schnell wie der Grundton.



Der 4. Teilton liegt zwei Oktaven über dem Grundton.



Der 5. Teilton liegt eine Terz über dem vierten.



Der 6. Teilton liegt eine Quinte über dem vierten.



Die Saite schwingt über ihre gesamte Länge und erzeugt damit den Grundton.



Die Saite wird in der Mitte niedergedrückt. Nur die eine Hälfte schwingt, der erklingende Ton liegt eine Oktave über dem Grundton. Die schwingende Hälfte der Saite erzeugt ihre eigenen Obertöne.



Die Saite wird nach dem ersten Drittel niedergedrückt. Zwei Drittel schwingen, womit ein Frequenzverhältnis von 3:2 des Grundtons gegeben ist.



Der Flageoletton an derselben Stelle. $\frac{1}{3}$ Saite = $\frac{2}{3}$ einer halben Saite = Frequenzverhältnis 3:2 der halben Saite. Der erklingende Ton ist die Quinte über der Oktave zum Grundton.

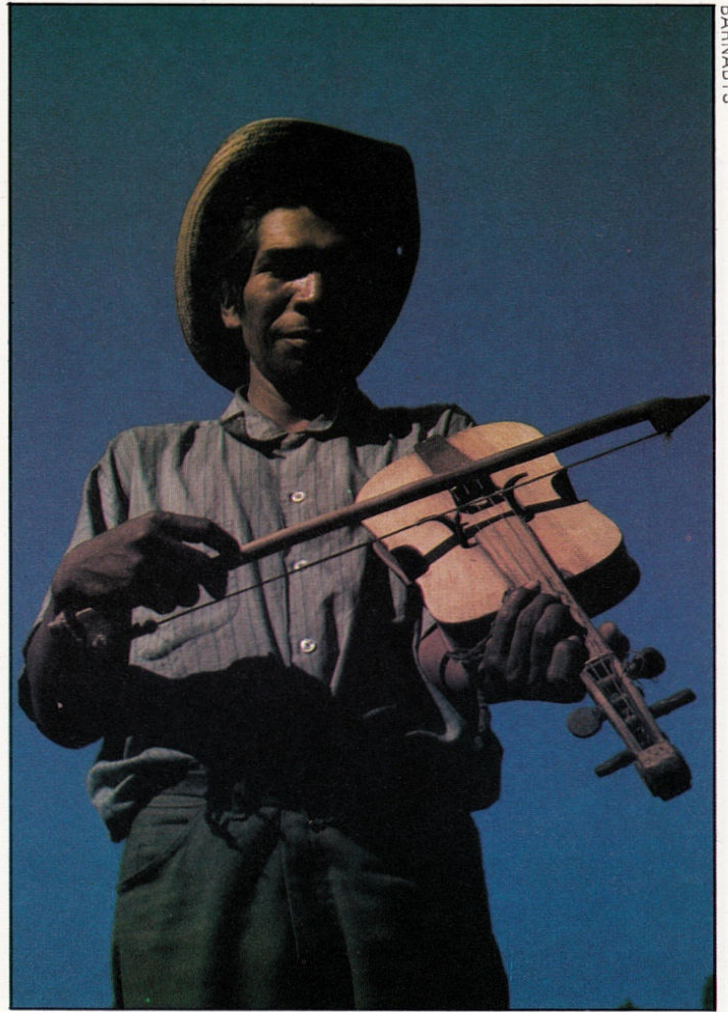
Links: Diese Darstellungen erläutern die Obertoncharakteristik von Saiteninstrumenten. Zur Verdeutlichung sind hier die Ausmaße der Schwingungen übertrieben wiedergegeben worden.

unter der E-Saite. Sie ist die am höchsten gestimmte Saite einer Geige. Der Stimmstock überträgt die Schwingungen der Decke auf den Boden und umgekehrt. Ohne ihn hätte das Instrument nicht seinen vollen, strahlenden Klang. Der unterhalb der am tiefsten gestimmten Saite leicht schräg verlaufende Baßbalken sorgt für eine gute Verbreitung der niederfrequenten Schwingungen auf der gesamten Deckenfläche. Sie wird an zwei Stellen durch die f-förmigen Schalllöcher links und rechts des Stegs unterbrochen.

Die Saiten wurden früher ausschließlich aus Darm gefertigt. Allerdings wird für die G-Saite, die tiefste Saite, meist silberumspinnener Darm verwendet, während für die E-Saite heute fast ausschließlich Stahlsaiten (mit oder ohne Umspinnung) gebräuchlich sind. Der Streichbogen, der seine moderne Form dem französischen Bogenmacher François Tourte (Ende des 18., Anfang des 19. Jahrhunderts) verdankt, ist so gekrümmt, daß die Spannung stets konstant bleibt, ganz gleich, mit welchem Druck der Spieler den Streichbogen gegen die Saiten drückt. Dieser optimalen Konkavform steht die konvexe Form früherer Bögen gegenüber. Das rauhe Roßhaar nimmt die Saite mit, die dann durch ihre Eigenspannung zurückschnellt.

Zur Familie der Violininstrumente gehören, in der Reihenfolge abnehmender Tonhöhe (und damit anwachsender Größe), die Violine selbst, die Viola oder Bratsche, das Violoncello oder Cello und der Kontrabaß. Violine und Bratsche werden mit möglichst geringer Unterstützung durch die Greifhand unter dem Kinn gehalten. Die größeren Instrumente ruhen mittels eines Stachels (zur Schonung des Bodens oft mit einem Überzug) auf dem Boden. Cellisten halten das Instrument im Sitzen zwischen den Knien. Der Baß wird im Stehen oder von einem hohen Hocker aus gespielt. In gewisser Hinsicht nimmt der Baß eine Sonderstellung ein, weil er mit seinen abfallenden Schultern im Aussehen an die Gambenfamilie (siehe unten) erinnert und darüber hinaus wie diese in Quartan gestimmt ist, während alle anderen Instrumente der Violinenfamilie Quintenstimmung haben. Andererseits besitzt der Baß, den man auch als Kontrabaß bezeichnet, wie auch alle anderen Instrumente der Violinengruppe keine Bünde und ist aus dickerem Holz. Decke und Boden ragen über die Zarge hinaus, und so ähnelt insgesamt auch sein Klangbild, allein schon durch die höhere Saitenspannung, eher dem der Violinenfamilie.

Die obenstehende Beschreibung bezieht sich auf die moderne Violine, die in einer Anzahl wichtiger Einzelheiten von ihrer Vorgängerin aus der Barockzeit abweicht. Die Geigenbauer machten sich gegen Ende des 17. Jahrhunderts daran, auf Kosten von Klangfarbe und Klangreinheit das Tonvolumen zu vergrößern. Die Barockviolinen von Amati (1596 bis 1684), Guarneri (1626 bis 1698) und Stradivari (1644 bis 1737) hatten einen kleineren Baßbalken als die heutigen Instrumente. Allerdings brauchte der Baßbalken der damaligen Zeit noch nicht die hohe Saitenspannung der heutigen modernen Saiten mit höheren Querschnitten aufzunehmen. Das heutige Instrument ist um einen Halbton höher gestimmt und sein Hals um etwa einen Zentimeter länger. Der Steg ist höher, und damit mußte entsprechend auch der Winkel zwischen Hals und Corpus vergrößert werden. In gewissem Maße geht die Hochschätzung, die Stradivaris Geigen entgegengebracht wird, darauf zurück, daß sie auf solche Änderungen weniger empfindlich reagierten als andere Instrumente, bei denen sie oft schlimme Folgen hatten. Wohl



NIGEL LUCKHURST



Oben: Ein Indianer vom Stamm der Tarahumara, Mexiko, der auf einer selbstgemachten Violine spielt.

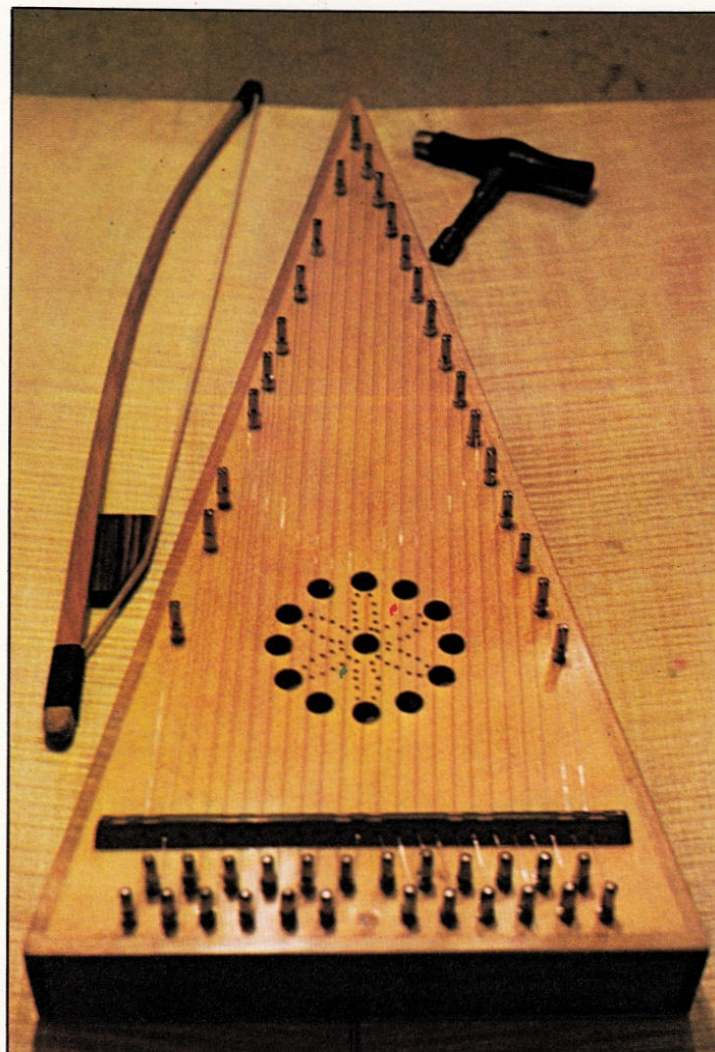
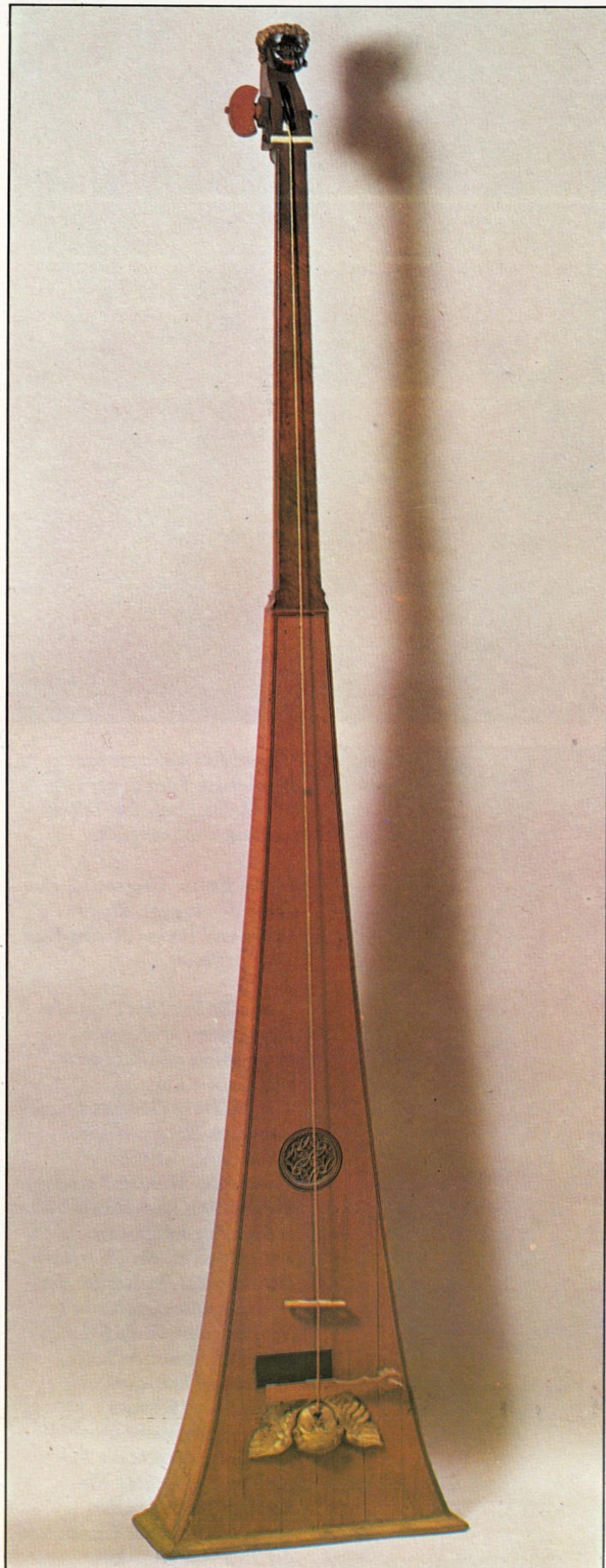
Oben links: Geigenbau. Von oben: Werkzeuge, Zarge, Decke und Boden. Rechts Hals und Griffbrett.

Ganz links: Eine Bratsche. Sie ist etwas größer als eine Violine und hat einen weicheren Klang.

Links: Diese Gambe ist nach einer Abbildung aus dem Renaissance-Musikwerk 'Syntagma Musicum' gebaut worden. Das mehrbändige Werk entstand in der Zeit von 1614 bis 1620. Sein Verfasser war Michael Praetorius, der seinen eigentlichen Namen Schulteis dem Brauch der Zeit nach latinisiert hatte. 'Syntagma musicum' ist die beste und reichste Informationsquelle über Musikinstrumente der Renaissance. Beachten Sie den Unterschied in der Form zwischen der Gambe und der Bratsche ganz links.

Rechts: Ein Streichpsalter mit Stimmhammer. Gewöhnlich wurden Psalter, die mit Hackbrett, Zimbel und Zither verwandt sind, gezupft. Ihre Blütezeit erlebten diese Instrumente vom 13. bis 15. Jahrhundert.

SCALA



ROBERTS & SAUNDERS

sind seine Instrumente unzweifelhaft Meisterleistungen handwerklicher Kunst, doch der Streit darum, wodurch eigentlich die Qualität einer Geige am meisten bestimmt wird, ist keineswegs beendet.

Die Familie der Viola da gamba

Die Instrumente dieser Streichinstrumentenfamilie, die auch Gamben genannt werden, gewannen im 15. Jahrhundert an Bedeutung und hatten ihre Blütezeit in der Renaissance. Auch hier haben wir vier Instrumente: Diskant-, Alt-, Tenor- und Baßgambe. Beim Ensemblespiel, das sich vom Orchesterspiel unterscheidet, wurde die Altgambe oft durch eine zweite Tenorgambe ersetzt. Die weite Verbreitung der Gamben wird mit den zahlreichen Notenschriften für diese Instrumente belegt. Auch war es durchaus üblich, einen 'ganzen Satz' Gamben zu besitzen. Von allen Gebildeten wurde erwartet, daß sie sich jederzeit am Spiel eines Gamben- oder Lautenstücks (siehe Gitarre) beteiligen konnten.

Links: Das Trumscheit. Es wird durch leichtes Niederdrücken der Saite und Anstreichen oberhalb des sie verkürzenden Fingers gespielt, wobei statt des Grundtons die zugehörigen Flageolettöne entstehen. Dieses Instrument wird zuerst in deutschen Quellen des 15. Jahrhunderts erwähnt. Wegen seines Klanges, der dem einer Trompete (tromba) ähnelt, wurde das Trumscheit auch 'Tromba marina' genannt und bis ins 18. Jahrhundert hinein in Nonnenklöstern als Trompetenersatz gespielt; daher auch sein Spitzname 'Nonnengeige'. Es gibt nur noch wenige Notenschriften für dieses Instrument, z.B. eine Begleitung für gestopfte Trompeten in einer Scarlatti-Oper.



Links: Arbeitsgänge beim Bau eines Rebec.

Hof des französischen Sonnenkönigs Ludwig XIV (1643 bis 1715) in Versailles.

Weitere Streichinstrumente

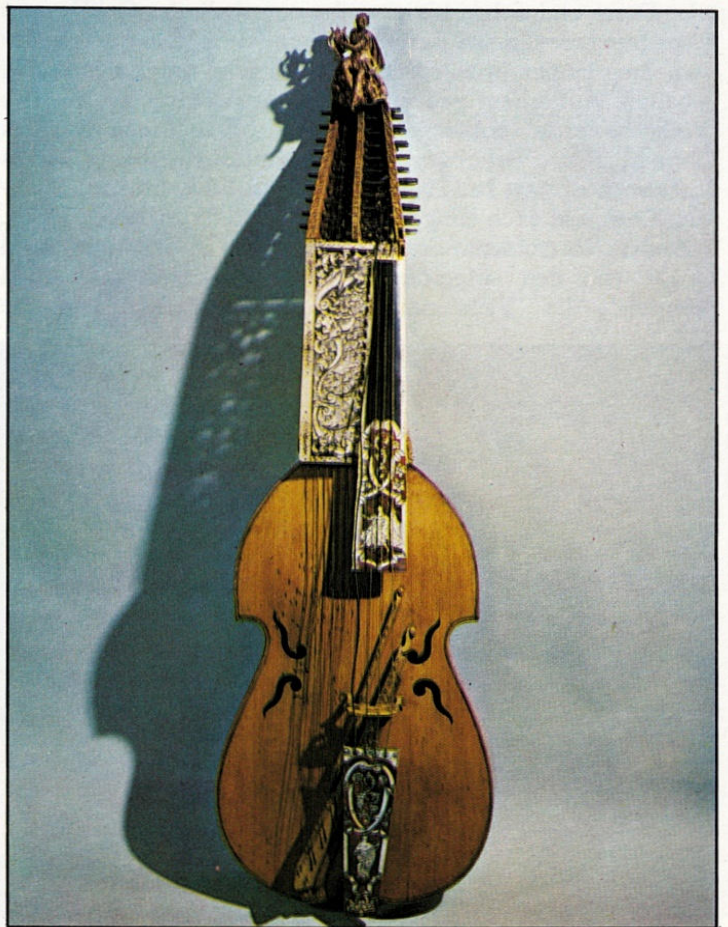
Der Rebec wird in Europa erstmalig im 13. Jahrhundert erwähnt. Auch er bildete eine Familie aus vier Instrumenten. Der Boden des Corpus war birnen- oder bootsförmig und verjüngte sich ohne Absatz zum Wirbelkasten hin. Das Instrument hatte keinen Stimmstock, wodurch sein Ton fein und ein wenig 'schnurrend' war. Der in Mitteleuropa im 16. und 17. Jahrhundert übliche Rebec war bundlos und hatte zwei bis drei Saiten im Quintenabstand.

Die Instrumente der Lira-Familie, deren Grundtyp die Lira da braccio war, muß von der Lyra der Antike (Schildkrötenleier) unterschieden werden. Sie ähnelte im Aussehen entfernt einer Violine, besaß ebenfalls einen Stimmstock und wurde unter dem Kinn gehalten. Der nur schwach gewölbte Steg und der wenig gespannte Bogen erleichterten bei diesem Instrument ein mehrstimmiges Spiel, zu dem die Art der Saitenanordnung ebenfalls beitrug. Bei der Lira da braccio beispielsweise verliefen zwei Saiten abgeschrägt und nicht über das Griffbrett. Sie waren in Oktaven gestimmt und dienten als 'Chöre', während die übrigen fünf über das Griffbrett laufenden Saiten in Quinten gestimmt waren. Eine frühere, vor der Renaissance übliche Form hatte diese abgespreizten Saiten nicht. Bei ihr diente eine Saite als Melodiesaite, während die anderen mitgestrichen wurden. Daraus ergab sich eine sackpfeifenähnliche Klangcharakteristik. Ein weiteres Instrument

Die oft gehörte Meinung, die Violine stamme von der Gambe ab, ist unrichtig. Noch im 18. Jahrhundert wurde für beide Instrumente getrennt komponiert, und solange die beiden Familien noch gleichzeitig im Musikleben vertreten waren, genoß die Gambe eine deutlich höhere Einschätzung als die Violine, die man mit volkstümlicher Musik und Volksbräuchen in Verbindung brachte. Der Wandel der sozialen Strukturen hat zum Verschwinden der Gamben beigetragen.

Die wichtigsten Unterschiede zwischen der Gamben- und der Violinenfamilie liegen darin, daß das Corpus abfallende Schultern, hohe Zargen, Decke und Boden ohne Randüberstand, einen flachen, zum Hals hin abgeschrägten Boden und meist c-förmige Schalllöcher aufweist. Die sechs Darmsaiten sind in Quartan mit einer Terz in der Mitte gestimmt. Diese Instrumente ruhen beim Spiel auf den Beinen des Spielers oder auf dem Boden und werden mit untergriffiger Bogenhaltung gespielt. Einer der wichtigsten Unterschiede liegt darin, daß das Griffbrett mit sieben im Abstand von chromatischen Halbtönen liegenden Bündeln aus Darmsaiten umwickelt ist. Sie zeigen dem Spieler die Lage des jeweiligen Tones an; ihre Hauptaufgabe aber besteht darin, einen klaren Ton dadurch zu erzeugen, daß der greifende Finger eine feste 'Unterlage' hat. Zum deutlich von dem der Violine unterscheidbaren, weniger kräftigen und weicheren Ton der Gamben tragen das dünnere Holz des Corpus, die Saiten mit kleinerem Querschnitt und von geringerer Spannung im Zusammenspiel mit allen anderen Besonderheiten ihrer Bauweise bei.

War die Spätrenaissance die Blütezeit des Gambenensembles, so war das 17. Jahrhundert das Zeitalter der Sologambe. Das wichtigste Soloinstrument der Familie war die Baßgambe. Das Zentrum virtuosen Gambenspiels war der



Oben: Das Baryton mit Griff- und Aliquotsaiten. Haydns Kompositionen für dieses Instrument werden gewöhnlich für das Cello umgeschrieben. Es gibt auch eine Baßboe, die denselben Namen trägt.

der Familie, die Lira da gamba, das Baßinstrument, stand beim Spiel auf den Knien des Spielers und hatte neun bis sechzehn Saiten.

Das Crwth (/kru: θ/ gesprochen), vermutlich das Instrument der keltischen Barden, war eine Leier mit Griffbrett. Das Corpus mit Zargen war oval, viereckig oder hatte eine längliche Achtform. Die eine Hälfte diente als Resonanzraum, während die Greifhand sich auf der anderen bewegen konnte. Es wurde beim Spiel abwärts gehalten und hatte anfänglich drei, später fünf bis sechs Saiten. Die Fiedel, die um 1500 weit verbreitet war, gab es ursprünglich in einer Vielzahl verschiedener Corpusformen (Rauten, Rhomben und Spaten), bis sich im 12./13. Jahrhundert ein einheitlicher Typ herausbildete. Von ihren fünf Saiten verlief eine als Bordunsaite außerhalb des mit Bündeln versehenen Griffbretts. Eine solche Bordun-(Baß-)saite schwingt stets in unveränderlicher Tonhöhe mit. Insgesamt ähnelte die Fiedel einer Violine, nur hatte sie im Unterschied zu ihr einen abgesetzten Hals. Die Wirbel saßen vorderständig in einem herz- oder blattförmigen Wirbelkasten.

Die Diskantvioline oder 'violino piccolo' war um eine Quarte oder kleine Terz höher gestimmt als die Violine. Bach hat für sie in der Ausführung als Terzgeige im 1. Brandenburgischen Konzert komponiert, während sie bei Mozart schon nicht mehr vorkommt. Auch die Tanzmeistergeige in Violinform nannte man 'violino piccolo'. Ihr Corpus war so klein, daß sie leicht in der Rocktasche unterzubringen war, daher heißt sie auch Pochette. Unter den vielen anderen Instrumenten seien noch die wegen ihrer fünf Saiten Quinton genannte Diskantviola sowie die 'Viola d'amore' erwähnt. Die 'Viola d'amore' mit fünf bis sieben Griffsaiten aus Messing oder Darm und sieben bis vierzehn unterhalb des Griffbrettes gespannten metallenen Resonanzsaiten (siehe unten), die unter dem Steg laufen, wurde wie eine Bratsche unter dem Kinn gehalten. Außerdem gab es ein Baßinstrument, das aus der 'Viola bastarda' entwickelte Baryton. Da Joseph Haydns Gönner, Fürst Esterházy, ein bekannter Liebhaber dieses Instrumentes war, hat Haydn zahlreiche Divertimenti, Sonaten, Trios und auch einige Konzerte für Baryton geschrieben.

Andere Instrumente dieser Gruppe, die in Stimmung und Größe von den aufgeführten abweichen, sind die 'Viola pomposa', die 'Viola da spalla' (Schultergeige) und die

Fagottgeige ('Viola di fagotto'), deren Bezug aus überspannenen Saiten so schnurrte, daß ihr Klang an ein Fagott erinnerte.

Physikalische Grundlagen

Wird eine gespannte Saite angerissen oder angestrichen, wandert die Lageänderung zwischen den beiden Befestigungspunkten hin und her und führt zu einer Wellenbewegung, deren Schwingungsfrequenz nicht unter 16 Hz und nicht über 20 000 Hz liegen darf, damit sie als Schall wahrgenommen wird. Diese Schallwellen sind sehr schwach und müssen daher verstärkt werden. Dies geschieht z.B. bei der elektrischen Gitarre durch den Tonabnehmer auf elektrischem Wege. Bei herkömmlichen Saiteninstrumenten lassen sie einen Resonanzboden oder Schalldeckel mit derselben Frequenz schwingen und regen damit Resonanzfrequenzen in einem luftgefüllten Hohlraum an, beispielsweise im Corpus der Violine. Der Klangcharakter des Instrumentes wird von Form und Konstruktion, der verwendeten Holzart und sogar vom Lacküberzug der Holzteile bestimmt. Resonanzboden und Schallraum haben Grundtöne oder Grundfrequenzen, die den Primärschwingungen entsprechen. Allerdings kommen noch die dem jeweiligen Ton zugeordneten Obertöne hinzu. Resonanzschwingungen treten auf, wenn eine Saite andere, nicht angestrichene, neben ihr liegende Saiten anregt, wie dies bei den (auch Aliquot- oder Sympathiesaiten genannten) Resonanzsaiten der 'Viola d'amore' beschrieben wurde.

Tonlage und Tonhöhe

Die Höhe des einer Saite eigenen Grundtons ist der Saitenspannung proportional; sie verhält sich umgekehrt proportional zu Länge, Querschnitt und Dichte der Saite. Der Ton ist um so höher, je höher die Spannung ist. Er ist um so tiefer, je länger, dicker oder dichter die Saite ist. Harfe, Klavier und ähnliche Instrumente haben für jede Note eine oder mehrere frei schwingende Saiten zur Verfügung.

Eine interessante Ausnahme macht das Cembalo (siehe KLAVIER). Die meisten kleineren Saiteninstrumente haben eine geringere Saitenzahl. Bei ihnen wird die Tonhöhe durch Verkürzen der Saiten mittels Fingerdruck auf das Griffbrett verändert, d.h. erhöht. Eine Veränderung der Tonhöhe durch eine Veränderung der Saitenspannung geschieht gewöhnlich



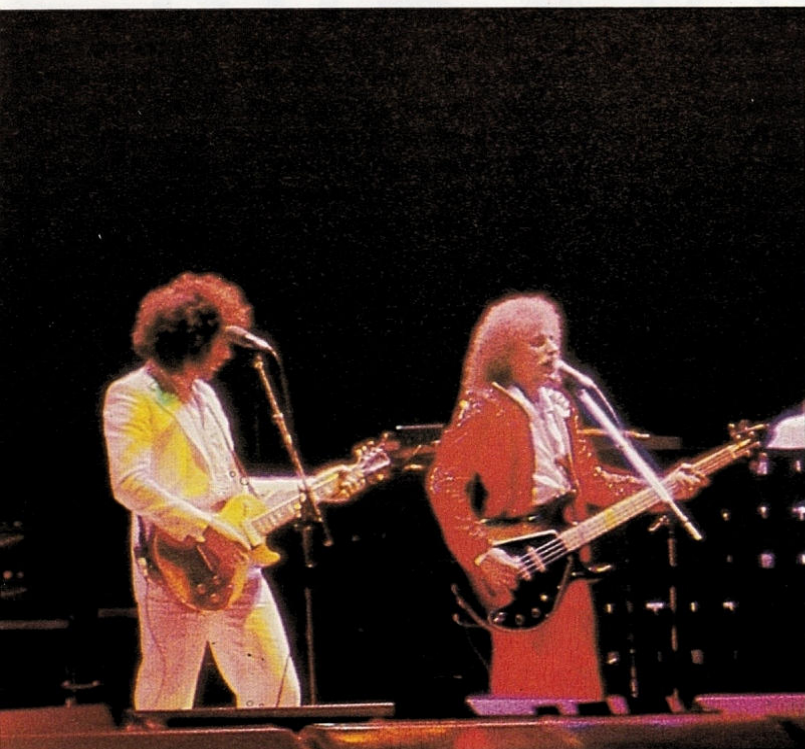
nur beim Stimmen des Instruments.

Im 6. vorchristlichen Jahrhundert stellte Pythagoras (570 v. Chr. bis 480 v. Chr.) fest, daß ein Niederdrücken einer Saite in ihrer Mitte einen doppelt so hohen Ton zur Folge hatte wie bei einer frei schwingenden Saite, womit die Oktave zum Grundton gefunden war. Der fünfte Ton der Tonleiter (die Quinte) wird ermittelt, indem man die Saite nach dem ersten Drittel niederdrückt, die Quarte (der vierte Ton) bei einem Viertel, die Terz (der dritte Ton) bei einem Fünftel und so weiter. Daraus ergeben sich natürliche Beziehungen zwischen den Tönen. Ein solch einfaches Vorgehen ist bei der Mehrzahl der modernen Instrumente in der Praxis nicht möglich. Auch muß sich das menschliche Ohr erst daran gewöhnen, daß beispielsweise Gis und As von derselben schwarzen Taste auf dem Klavier und auf demselben Bund



Oben: Eines der vielen Streichinstrumente, wie sie in Indien seit Jahrhunderten üblich sind.

Unten: Die Pop-Gruppe 'Electric Light Orchestra' benutzt außer den üblichen Gitarren auch eine Anzahl von Streichinstrumenten wie z.B. Geigen und Cellos.



bei gezupften oder gestrichenen Saiteninstrumenten hervorgerufen werden. Die hier erforderlichen Kompromisse bei der Stimmung nennt man harmonisch unreine Stimmung (Temperatur). Von den heutigen Instrumenten kann ausschließlich die Violine in allen Tonarten harmonisch rein spielen. Diese Fähigkeit hat sie mit der Zugposaune und der menschlichen Stimme gemeinsam.

Obertöne

Der Grundton entsteht durch Schwingung der Saite auf ihrer gesamten Länge. Zugleich aber entstehen auch Obertöne oder Partialtöne (Teiltöne). Ihre Frequenz stellt ein genaues Vielfaches der Grundfrequenz dar. Die akustischen Eigenschaften einer Saite veranlassen sie, in von unsichtbaren Schwingungsknoten (schwingungsfreie Stellen im Saitenverlauf) unterteilt in gleichlangen aliquoten Teilen ($1/2$, $1/3$, $1/4$ usw.) zu schwingen. Diese Teiltöne, deren erster der Grundton ist, bilden die Obertonreihe. Die Mischung der Obertöne bestimmt die Klangfarbe eines Musikinstruments. Obertöne mit einem Schwingungsknoten an der Stelle, an der die Saite angerissen oder angestrichen wird, sind in der Reihe nicht vertreten. Wird beispielsweise eine Saite in der Mitte angeregt, entfallen alle gleichzahligen Partialtöne, weil sie alle an dieser Stelle einen Schwingungsknoten haben. Daraus ergibt sich: Je breiter die Anreiß- oder Zupfstelle, desto mehr Schwingungsknoten werden unterdrückt. Dies ist der Grund dafür, warum ein Finger einen weichen und weniger schwirrenden Ton erzeugt als ein scharfes oder spitzes Plektron (ein Blättchen zum Anreiß der Saiten), und warum die Bogenführung des Violinspielers Klangabstufungen ermöglicht.

Die Lautstärke von Obertönen, die durch Zupfen erzeugt werden, nimmt bei höheren Obertonfrequenzen rasch ab. Die von Roßhaar hervorgerufene fortlaufende Schwingung erhält die hohen Obertöne. Dies führt zu dem strahlenden Ton gestrichener Instrumente, den gezupfte Instrumente nicht erreichen können.

Flageolettöne

Es handelt sich hier um Ober- oder Teiltöne, bei denen der Grundton nicht mitschwingt. Sie stehen in einem harmonischen Verhältnis zum Grundton und werden bei Saiteninstrumenten durch leichtes Aufsetzen des Fingers auf die Teilungspunkte $1/2$, $1/3$, $1/4$ usw. erzeugt. Diese Erscheinung wird besonders deutlich am Trumscheit, einem Monochord (Instrument mit nur einer Saite), das ausschließlich Flageolettöne erzeugt und bei dem der Bogen die Saite oberhalb des sie verkürzenden Fingers streicht. Dabei entsteht ein schnarrender, trompetenhaft lauter Ton. Der mittlere Schwingungsknoten teilt also die Saite in zwei gleichlange Teile, die beide mit der doppelten Frequenz des Grundtons schwingen und so einen Ton ergeben, der eine Oktave höher liegt als der Grundton. Wird die Saite am Teilungspunkt $1/3$ niedergedrückt, so wird sie in drei gleichlange Abschnitte geteilt, die alle mit der eineinhalbfachen Oktavschwingung, d.h. der dreifachen Grundschwingung, schwingen. Da das Intervall zwischen Noten mit dem Verhältnis $3:2$ eine Quinte ist, muß dieser Flageolettöne der fünfte Ton in der Tonleiter über der Oktave zum Grundton sein. Ähnlich lassen sich die Notenwerte der anderen Flageolettöne errechnen. Wird eine Saite so verkürzt, daß auch der Grundton um einen bestimmten Wert ansteigt, steigt die Reihe der Ober- und Flageolettöne um denselben Wert.

Ober- und Flageolettöne stellen bei Saiteninstrumenten, im Unterschied zu Blechblasinstrumenten, nicht den Hauptanteil der verfügbaren Töne dar. Sie dienen lediglich dazu, Kontrastwirkungen zu den von der freischwingenden oder verkürzten Saite erzeugten Tönen zu erzielen.

STRICKMASCHINE

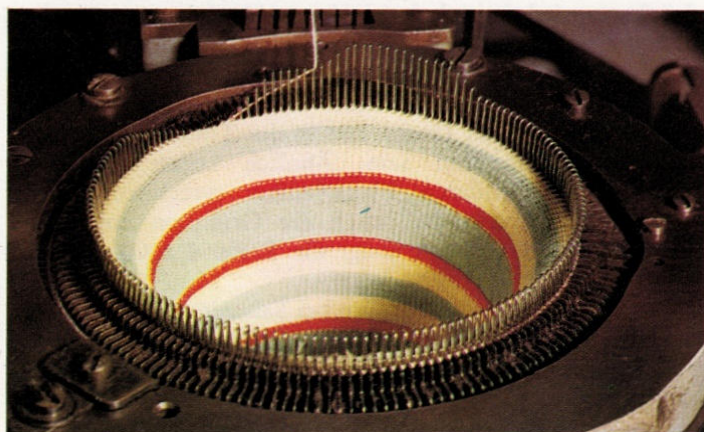
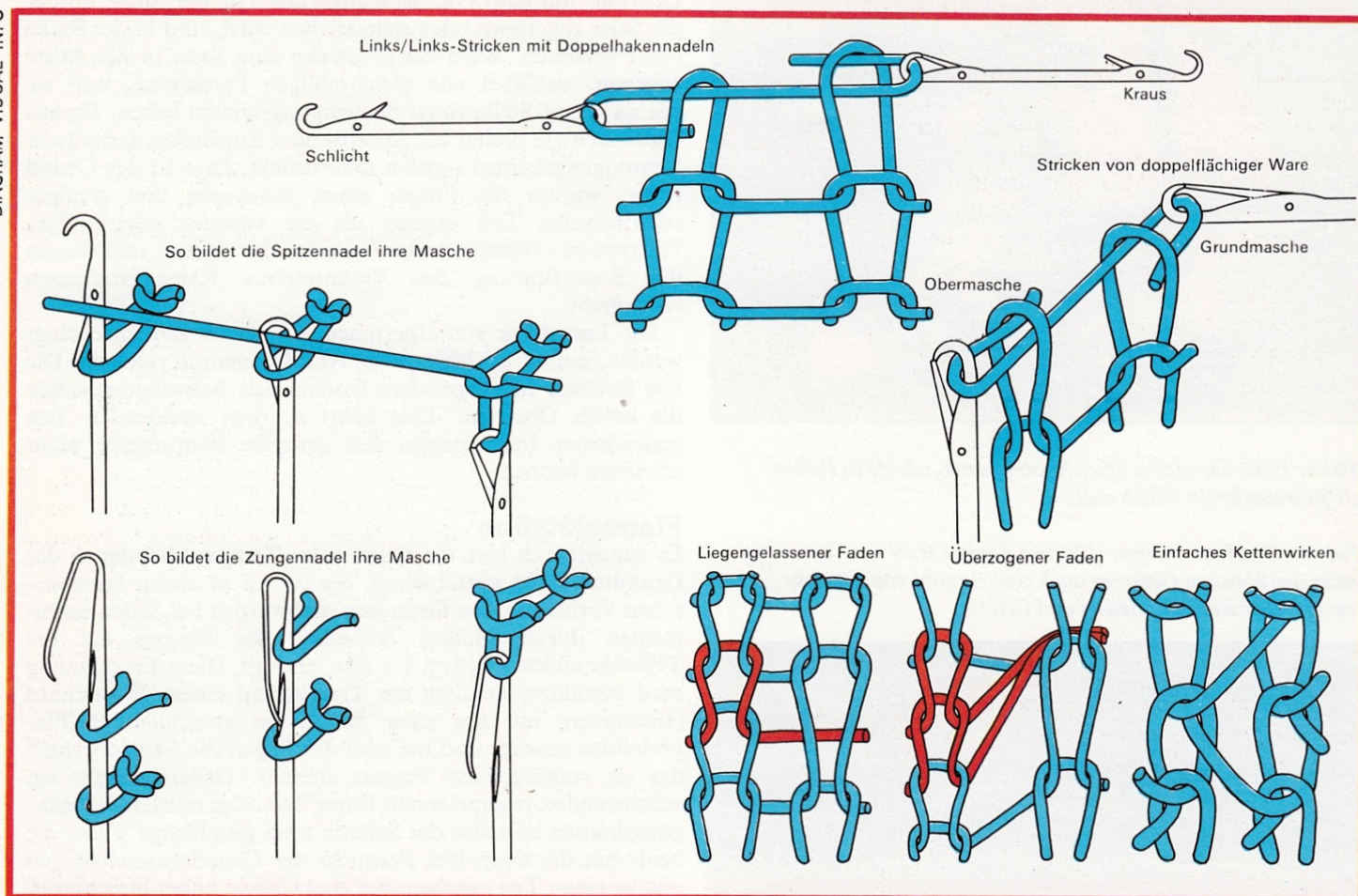
Die erste Strickmaschine arbeitete mit einer zu ihrer Zeit verblüffenden Geschwindigkeit von 600 Maschen pro Minute. Inzwischen gibt es Maschinen mit einer Minutenleistung von über drei Millionen Maschen.

Bevor wir uns mit dem 'Maschenbildungswerkzeug' (so heißen die Nadeln von Strickmaschinen in der Textilindustrie) beschäftigen, muß auf die wichtige Unterscheidung zwischen Stricken und Wirken hingewiesen werden. Für das Laienauge sind diese beiden Techniken und auch ihre Erzeugnisse zwar sehr ähnlich, dennoch gibt es zwei wesentliche Unterschiede. Einmal ist Gewirk im Gegensatz zu Gestrick maschenfest, d.h. es läßt sich nicht wieder aufziehen, zum anderen ist die Art der Maschenbildung verschieden. Während beim Stricken die Maschen durch einzeln bewegliche Zungennadeln nacheinander entstehen, erfolgt das Wirken gewöhnlich mit (in Nadelbarren befestigten) Spitzennadeln. Der Fachmann

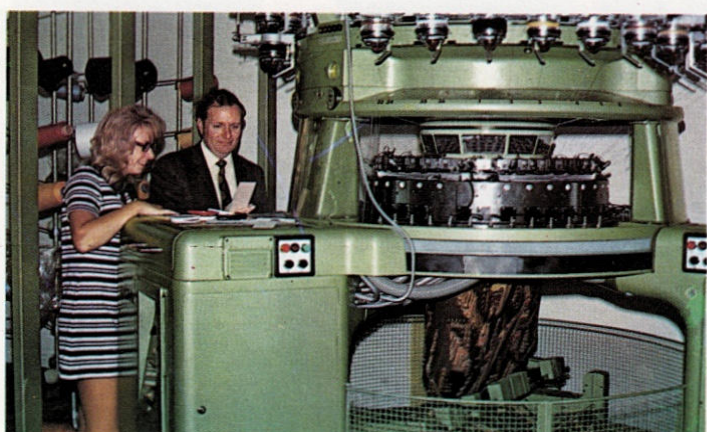
arbeitet mit dem Begriff 'Maschenware', um Gewirke und Gestricke zusammenzufassen. Wir wollen dem Alltagsgebrauch folgen und nachfolgend von Stricken und Gestrick sprechen. Eine Ausnahme allerdings muß bei der Kettenware gemacht werden, von der später noch die Rede sein wird.

Von den beiden schon genannten Nadeln geht die Spitzennadel auf Lee selbst zurück, der sie bereits im Jahre 1589 erfand, während die Zungennadel erst im Jahre 1849 von Matthew Townsend aus Leicester, ebenfalls einem Engländer, entwickelt wurde. Zungennadeln haben am Ende des Schaftes einen Haken, auf dem der Löffel der Zunge aufliegt, die ihrerseits drehbar in der Nadel gelagert ist. Eine auf dem Schaft von oben nach unten gleitende Masche öffnet die Zunge, während eine in entgegengesetzter Richtung darübergleitende Masche sie schließt. Diese Art Nadel findet sich vor allem an Heimstrickapparaten. Spitzennadeln haben einen federelastischen Bart an der Spitze, auf den zum Schließen eine seitliche Preßkraft einwirken muß; fällt diese Preßkraft weg, öffnet sich der Bart von selbst. Die Spitzennadel ist im

DIAGRAM VISUAL INFO



SCIENCE MUSEUM



DR HARRY WIGNALL

Einsatz zwar komplizierter als die Zungennadel, doch wird sie nach wie vor in Strickmaschinen verwendet, da sie einmal feinere Gestrücke herstellen und zum anderen Einzelteilen von Kleidungsstücken bereits auf der Maschine ihre spätere Form geben kann. Bei der Arbeit mit Spitzennadeln wird zuerst der Faden in Schleifen gelegt, danach schließt beim Herabgehen der Nadel eine Platine den Bart, so daß die neue Schlinge durch die der alten Masche hindurchgezogen wird und die alte Masche abgeschlagen wird.

Im Unterschied zu Spitzennadeln arbeiten Zungennadeln kontinuierlich. Beim Heruntergehen der Nadel ergreift der Hakenkopf den Faden und zieht ihn durch die alte Masche, die dann über die Rundung des Nadelkopfes abgeschlagen werden kann. Dabei ist die Maschengröße vom Weg, den die Nadel zurücklegt, abhängig.

Rundstrickmaschinen

Bei ihnen handelt es sich um Schnellstrickmaschinen, die je nach Art der Maschine schlauchförmige Gestrücke in den Grundbindungen Rechts/Links, Rechts/Rechts, Links/Links und ihren Varianten herstellen können. Rechts/Links-Strickwaren entstehen bei Verwendung einbettiger Maschinen. Es handelt sich also um Rundstrickmaschinen, die einen Nadelzylinder verwenden. Gewöhnlich sind die hierbei verwendeten Zungennadeln parallel zueinander kreisförmig angeordnet. Keilförmige, metallene 'Schlösser' schieben die Nadeln auf und ab. Man kann die Bewegung der Nadeln auf verschiedene Weisen (durch seitliches Versetzen der Nadeln eines Nadelbetts, mittels Hilfswerkzeugen zur Maschenbildung sowie durch Veränderung der Fadenzuführung allein oder in Kombination mit den aufgezeigten Möglichkeiten) beeinflussen und dadurch Muster aller Art erzielen.

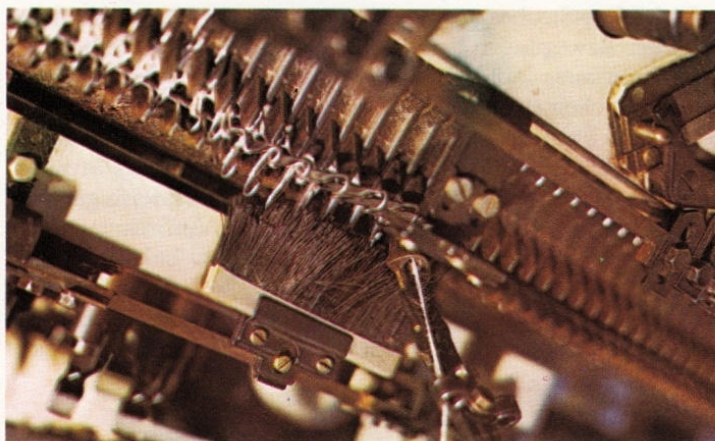
Zum Rechts/Rechts-Stricken sind zweibettige Maschinen erforderlich. Sie verfügen über längs ihrer Achse beweglich

Ganz links (unten): Diese im Jahre 1923 hergestellte Rundstrickmaschine hat Zungennadeln und wurde zur Herstellung nahtloser Trikotagen verwendet.

Links unten: Eine elektronisch gesteuerte Rundstrickmaschine zur Herstellung von Maschenware in Rechts/Rechts-Bindung.

Unten: Eine Kettenwirkmaschine zur Herstellung von Trikotstoffen und Hemdenmaterial. Auf ähnlichen Maschinen stellt man auch Spitze und sogar Teppiche her. Maschinen dieser Art können bis zu drei Millionen Maschen pro Minute bilden.

Unten rechts: Detailansicht einer Flachstrickmaschine. Hier ist zu sehen, wie das Garn an die Nadeln herangeführt wird. An den Enden des Gestricks entstehen Sahlkanten.



angeordnete Zungennadeln, deren Haken gegeneinander stehen. Zum Links/Links-Stricken sind Maschinen mit einer Nadelreihe einzeln beweglicher Doppelhakennadeln ausgestattet. Bei diesen Maschinen stehen die Nuten der zwei Nadelbetten in Fluchtlinie zueinander, und die Maschen zweier aufeinanderfolgender Maschenreihen werden jeweils in entgegengesetzter Richtung abgeschlagen.

Durch Kombination der weiter oben angedeuteten Verfahren können verschiedene bekannte Techniken ausgeführt werden, wie z.B. Interlock (ineinander verstrickte, doppel-flächige Ware mit der Bindung Rechts/Rechts/Gekreuzt), Patent- und Halbpentent oder Doppelpiqué (echter Piqué), bei dem auf Reihen mit Rippenmuster Reihen mit Rechts/Links-Bindung folgen. Außerdem sind strukturierte Oberflächen möglich.

Flachstrickmaschinen

Eine einbettige Flachstrickmaschine arbeitet wie eine Rechts/Rechts-Rundstrickmaschine, nur daß die Nadeln in Form eines umgekehrten V angeordnet sind. Flachstrickmaschinen mit Zungennadeln arbeiten langsamer als Rundstrickmaschinen. Da aber die Maschen durch eine Hin- und Herbewegung hergestellt werden, hat das Gestrück zu beiden Seiten eine feste, als 'Sahlkante' bezeichnete Kante. Flachstrickmaschinen, die mit Spitzennadeln arbeiten, heißen 'fully-fashioned'-Maschinen, weil sie die Einzelteile in einer Form stricken, die man sonst durch Zuschneiden erreichen würde. Dies geschieht durch eine bestimmte Nadelführung an der Sahlkante, die damit der Form des Einzelteils folgt.

Kettengewirk (Kettenware)

Zur Herstellung von Kettenware kann wie beim Weben eine Kette (Längsfaden, im Unterschied zum Quersfaden, dem Schuß) verwendet werden, jedoch ohne Schußfäden. Die Kette besteht aus so vielen parallel verlaufenden Einzelfäden, wie in der Warenbreite Maschenstäbchen vorhanden sind. Jeder einzelne Faden wird durch eine Lochnadel als Schleife über den Nadelschaft gelegt. Aus dieser Schleife entsteht dann die Masche. Damit verläuft der Faden im Zickzack längs durch die Ware. Die seitliche Verbindung der Maschen erfolgt dadurch, daß jeder Faden in der folgenden Reihe mit einem links oder rechts neben ihm liegenden Faden Maschen bildet. Bei einer zur Herstellung von Hemdstoffen verwendeten Maschine laufen zwei Fäden an jede Nadel in der Maschine.



STROBOSKOP

Mit dem Stroboskop ergeben sich sehr drastische Beleuchtungseffekte bewegter Gegenstände, wobei periodische Bewegungen ruckartig oder gar unbeweglich erscheinen können.

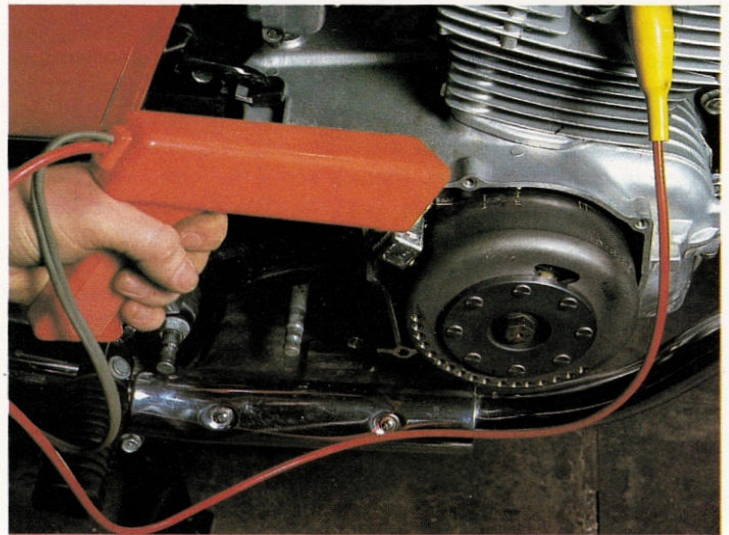
Ein Stroboskop ist eine Beleuchtungsvorrichtung, die helle Lichtblitze mit genau einstellbarer Frequenz erzeugt. Es wird hauptsächlich dazu benutzt, schnelle periodische Bewegungen durch eine optische Täuschung zu verlangsamen oder völlig zum Stillstand zu bringen. Diese Täuschung ist möglich, weil das Auge von einer bestimmten Frequenz an eine Reihe von Einzelbildern nicht mehr zeitlich getrennt, sondern kontinuierlich wahrnimmt ('Verschmelzung'), wovon auch beim Film und beim Fernsehen Gebrauch gemacht wird.

Ein Beispiel stroboskopischer Zeitdehnung ist die Beobachtung einer Marke auf einer sich drehenden Kreisscheibe: Beleuchtet man die Scheibe mit Lichtblitzen, deren Frequenz mit der Umlauffrequenz der Scheibe übereinstimmt, so scheint die Marke zu ruhen. Bei jedem Lichtblitz befindet sich ja die Marke an derselben Stelle, und in den kurzen Dunkel-pausen zwischen den Blitzen bleibt der optische Eindruck für den Beobachter bestehen. Dreht sich die Scheibe z.B. mit 1 000 Umdrehungen pro Minute, so wird die Marke bei einer Frequenz von 1 000 Lichtblitzen pro Minute ortsfest bleiben.

Die für technische Messungen üblichen Stroboskope haben geeichte Frequenzwahlscheiben, wodurch die Drehzahl bewegter Gegenstände durch Aufsuchen und Ablesen der Frequenz von 1 000 Lichtblitzen pro Minute ortsfest bleiben werden kann.

Elektronische Stroboskope

Die meisten der heute verwendeten Stroboskope besitzen eine Xenon-Entladungslampe, die mit Hilfe eines Oszillators und eines Generators für den Auslöseimpuls ('Triggerimpuls') zur



RAYDUNS

Oben: Stroboskop, mit dem die Zündfolge eingestellt wird. Das Stroboskop erhält seine Frequenzimpulse von der Zündung. Bei richtiger Einstellung stimmt die Markierung am Gehäuse mit dem an der Verlängerung der Kurbelwelle angebrachten überein.

Erzeugung der Lichtblitze benutzt wird. Die Frequenz des Oszillators, der den Pulsgenerator speist, kann mit einem geeichten Potentiometer (Spannungsteiler) verändert werden.

Der Pulsgenerator liefert Hochspannungspulse niedriger Energie an die Zündelektroden der Xenon-Lampe. Dadurch wird das Gas ionisiert, und zwischen Anode und Katode der Entladungslampe entsteht ein elektrisch leitendes Gebiet. Ein Kondensator, der parallel zu Anode und Katode der Lampe liegt und von einer Hochspannungsquelle vorher aufgeladen wird, entlädt sich nun durch die Röhre; es entsteht ein heller Lichtblitz von etwa einer Millionstel Sekunde Dauer. Die Höchsfrequenz eines solchen elektronischen Stroboskops liegt üblicherweise bei 150 000 Blitzen pro Minute.

Anwendungen

Wie schon erwähnt, ist ein wichtiges Anwendungsgebiet für das Stroboskop die Messung von Drehzahlen bewegter Gegenstände, z.B. in Maschinen. Das Stroboskop verlangt keine mechanische Belastung des bewegten Teils, so daß keine Meßfehler durch Abbremsen auftreten, wie sie bei mechanischen Drehzahlmessern ('Tachometer') möglich sind. Das ist besonders günstig für die Messung von Drehzahlen an kleinen Elektromotoren, die nur Bruchteile eines Kilowatts leisten und durch konventionelle Tachometer stark abgebrems werden.

Neben Drehbewegungen lassen sich mit stroboskopischen Methoden auch Kolbenbewegungen und andere periodische Bewegungen zum 'Stillstand' bringen. Sie werden häufig bei der Untersuchung bewegter Teile in Maschinen angewendet.

Lichtblitz-Stroboskope werden auch in der Fotografie sehr schneller Bewegungen benutzt. Ein Blitz von einer Millionstel Sekunde Dauer läßt selbst eine abgeschossene Gewehrkugel ruhend erscheinen. Oft wird diese kurze Dauer des Blitzes nur einmal pro Foto genutzt, aber durch Offenlassen des Kameraschlusses und Wahl einer geeigneten Frequenz des Stroboskops lassen sich auch ganze Serien von aufeinanderfolgenden Zuständen auf einem Foto festhalten. Solche Aufnahmen sind nützlich beim Studium der Bewegungsabläufe bei Menschen (z.B. Sportlern) und Maschinen. In der Textilindustrie und anderen Fertigungsanlagen werden Stroboskope zu Regelungsaufgaben herangezogen, z.B. bei der Kontrolle der Dicke eines



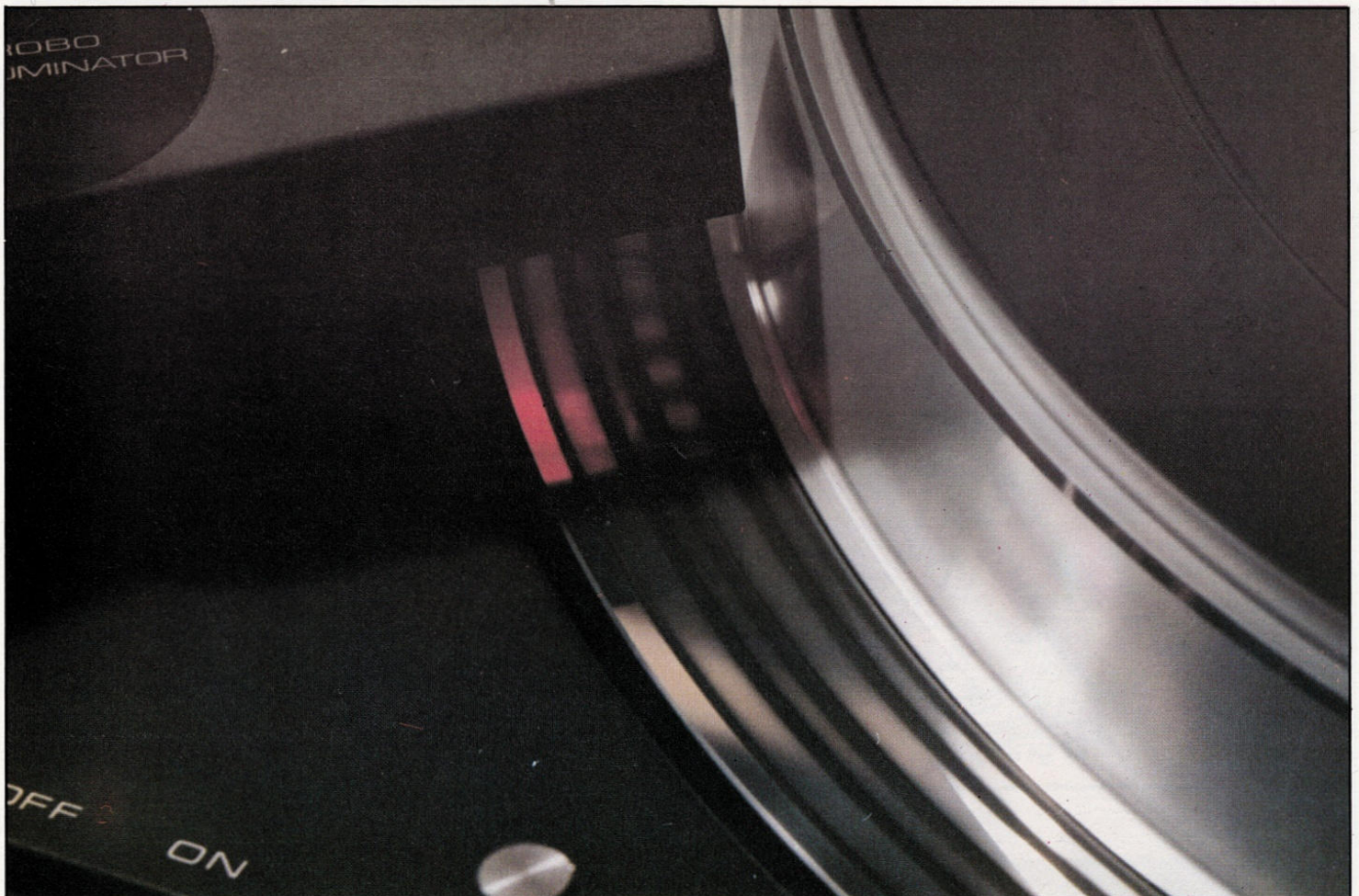
DAWE INSTRUMENTS

Links: Stroboskop mit Drehspulinstrument zur Frequenzanzeige.



Die Markierungen am Rand des Plattentellers (Bild oben stationär) erscheinen unter den Neonlichtblitzen stationär,

wenn sich der Plattenteller mit der richtigen Geschwindigkeit dreht (Bild unten).



gesponnenen Garns.

In der Psychologie und Medizin werden Stroboskope zu Forschungszwecken eingesetzt, beispielsweise zum Studium der Epilepsie. Bei einigen Patienten läßt sich durch Beleuchten mit Licht einer bestimmten Frequenz ein epileptischer Anfall auslösen. Dieses Risiko eines stroboskopisch induzierten epileptischen Anfalls hat dazu geführt, daß man für Stroboskope der Unterhaltungsindustrie (z.B. für Lichteffekte in Diskotheken) Höchsthäufigkeiten vorschreibt, die nicht überschritten werden dürfen.

Andere stroboskopische Effekte

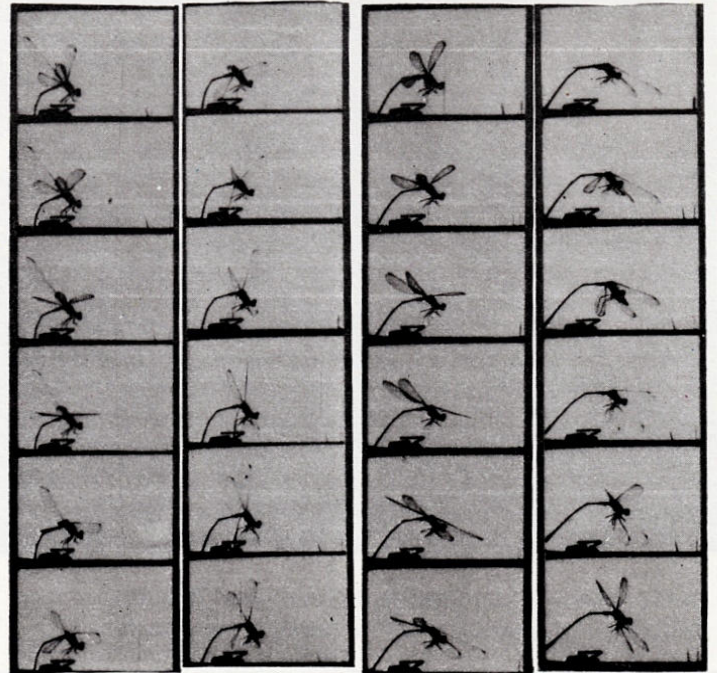
Ein bekanntes Beispiel für einen stroboskopischen Effekt ist das scheinbare Rückwärtslaufen eines Speichenrades im Film. Wenn die Verschlussfrequenz der Filmkamera die Drehfrequenz der Speichen übersteigt, drehen sich die Räder scheinbar rückwärts. Bei niedrigerer Frequenz drehen sie sich vorwärts, da dann mit jedem aufgenommenen Bild ein Zustand festgehalten wird, der mehr als eine Periode nach dem vorhergehenden liegt.

Die Intensität des Lichts von Wechselstromanlagen schwankt normalerweise in der Frequenz der Spannungsversorgung. Abgesehen von einigen Fluoreszenzlampen sind diese Änderungen für das Auge aber nicht wahrnehmbar. Trotzdem kann man sie bei Glühlampen durch schnelles

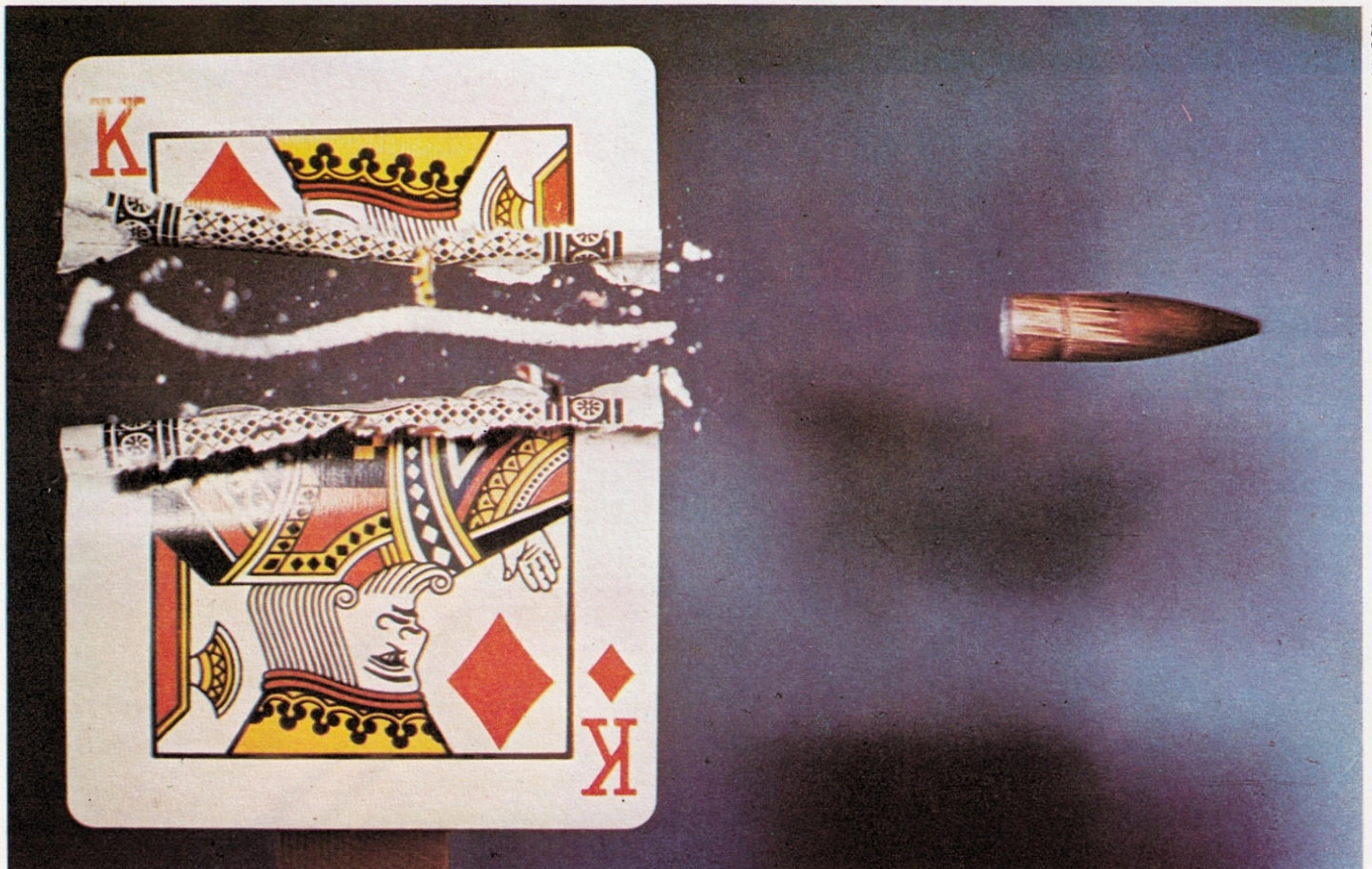
Rechts: Mit stroboskopischer Belichtung aufgenommene Bildfolge zeigt den Beginn des Fluges einer Libelle in den verschiedenen Stadien des Flugbeginns.

Unten: Belichtung, Belichtungszeit und Fluggeschwindigkeit des Geschosses mußten genau abgestimmt werden, um diese Aufnahme machen zu können. Dieser stroboskopische Effekt erfordert erheblichen technischen Aufwand.

Hin- und Herbewegen eines Gegenstandes leicht sichtbar machen. Zum Einregulieren der Drehzahl von Plattenspielern nutzt man diese periodischen Schwankungen der Wechselstrombeleuchtung: Man legt eine kleine Scheibe mit einer Reihe von periodisch wechselnden weißen und schwarzen Marken entlang ihrem Umfang auf den Plattenteller. Bei gut einregulierter Drehgeschwindigkeit erscheint diese Scheibe in Wechselstrombeleuchtung ruhend. Auch der Plattenteller selbst kann am Rande diese Markierungen tragen. Bei einigen Modellen wird auch ein Lämpchen zur stroboskopischen Beobachtung eingebaut.



SCIENCE MUSEUM



KODAK

STROMKREIS, ELEKTRISCHER

Ein elektrischer Stromkreis oder Schaltkreis steuert den Elektronenstrom in der Weise, daß z.B. Wärme (elektrischer Heizofen) oder Licht (Glühlampe) erzeugt werden kann.

Im allgemeinen trifft man in einem elektrischen Schaltkreis Bauelemente wie Ohmsche Widerstände, Spulen, Kondensatoren, Potentiometer (Spannungsteiler) und Schalter an. Verbunden werden die Bauelemente durch elektrische Leitungen, wodurch der Strom zwischen den einzelnen Bauteilen relativ ungehindert fließen kann.

Man trifft in elektrischen Schaltkreisen auch Vakuumröhren oder Halbleiterbauelemente (z.B. Transistoren) an. Üblicherweise spricht man dann von elektronischen Schaltkreisen oder elektronischen Schaltungen.

Elektrischer Strom

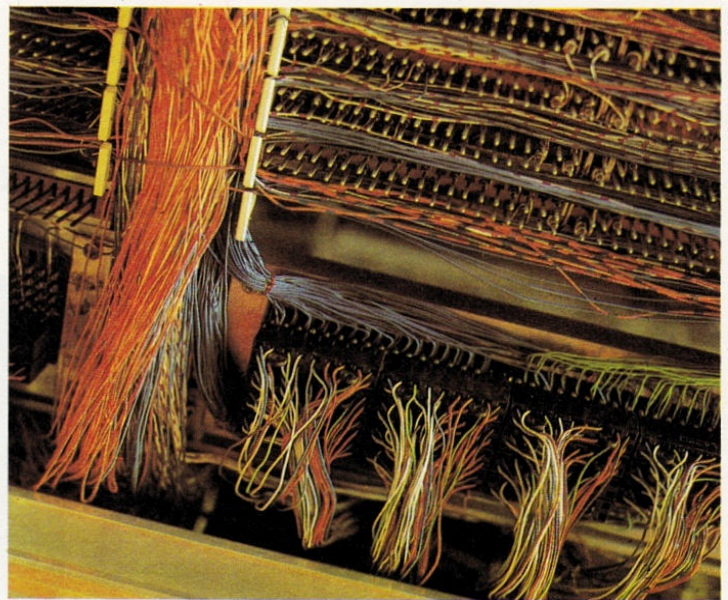
Unter einem elektrischen Strom versteht man das Fließen von Elektronen. Die Stromstärke wird in der Einheit Ampere (Symbol: A) gemessen. In einem elektrischen Schaltkreis fließt dann ein Strom von der Stärke 1 A, wenn pro Sekunde $6,25 \times 10^{18}$ (6 250 000 Millionen Millionen) Elektronen ein Flächenelement durchdringen. Da jedes Elektron negativ geladen ist, kann man die elektronische Stromstärke auch als eine Elektrizitätsmenge definieren, die pro Sekunde ein Flächenelement durchdringt. Die Ladung wird in der Einheit Coulomb (Symbol: C) angegeben. Die Stromstärke 1 A ist dann die Elektrizitätsmenge 1 C in 1 s ($1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$). Da die Elementarladung eines Elektrons $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ beträgt, erhält man aus dem reziproken Wert ($6,25 \times 10^{18}$) die Anzahl der Elektronen, die den elektrischen Strom von 1 A fließen lassen.

Spannung

Elektronen können sich nur unter äußerer Krafteinwirkung bewegen. Die Krafteinwirkung ist das elektrische Feld (Einheit: V/cm). Der Elektronenfluß kann mit fließendem Wasser verglichen werden. Wasser kann nur dann fließen, wenn eine Druckdifferenz vorliegt. Diese Druckdifferenz kann z.B. durch eine Höhendifferenz entstehen. In einem elektrischen Stromkreis ist die 'Druckdifferenz' eine Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten des Stromkreises. Man nennt die Potentialdifferenz elektrische Spannung (Einheit: V).

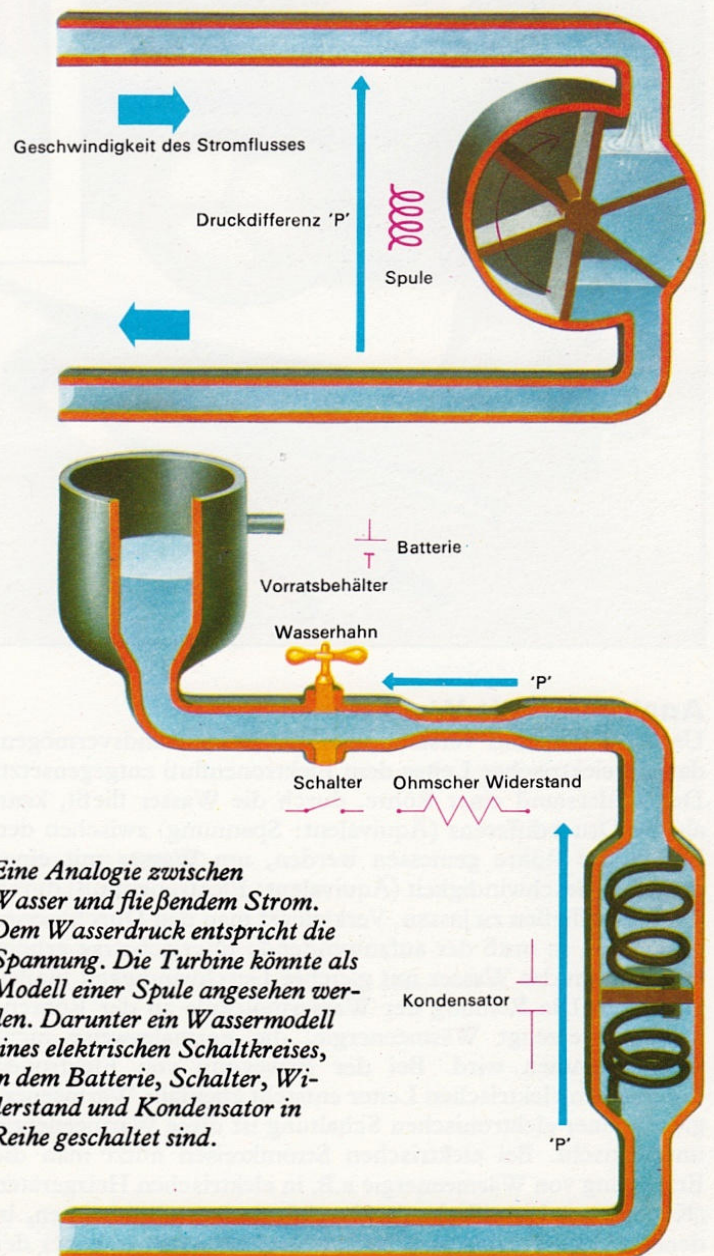
Ohmsches Gesetz

Einen idealen Leiter kennt man nur theoretisch. In Wirklichkeit haben alle Werkstoffe einen gewissen elektrischen 'Widerstand', der den Elektronenfluß hemmt. Dieser elektrische Widerstand wird am absoluten Nullpunkt (-273°C) zu Null. Damit durch einen Leiter ein elektrischer Strom fließen kann, muß zwischen den Leiterenden eine Potentialdifferenz herrschen. Bei Vergleich eines schlechten Leiters mit einem guten Leiter muß bei dem schlechten Leiter eine größere Potentialdifferenz vorhanden sein, um die gleiche Elektrizitätsmenge wie in einem guten Leiter fließen zu lassen. Der elektrische Widerstand läßt sich bestimmen, indem man die auftretende Potentialdifferenz (Spannung) durch den Betrag des elektrischen Stromes teilt. George Simon Ohm (1787 bis 1854) entdeckte, daß bei elektrischen Leitern das Verhältnis aus Spannung und Strom eine Konstante ist. D.h. verdoppelt man die Spannung, so wird auch die Stärke des elektrischen Stromes verdoppelt. Die Konstante nennt man den elektrischen oder den Ohmschen Widerstand eines Leiters (Einheit: Ω).



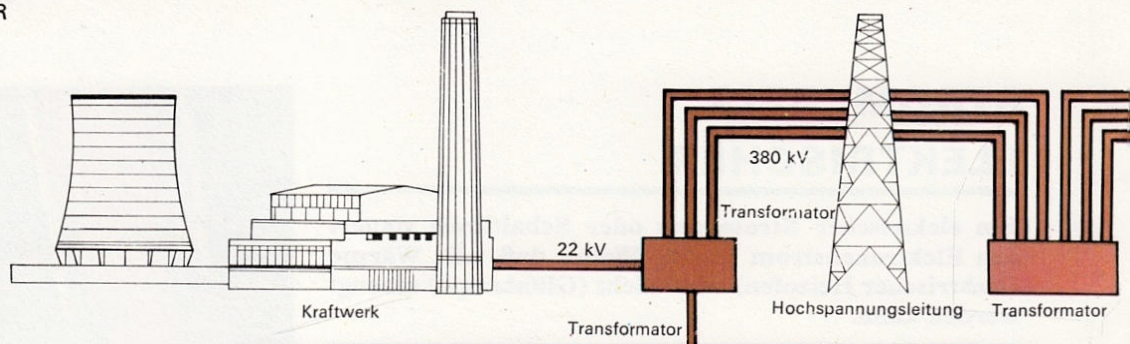
PAUL BRIERLEY

Oben: Teilansicht einer Anlage der Telefonvermittlung. Die Drähte haben farbige Schutzhüllen, um es den Technikern leichter zu machen, Stromkreise zu identifizieren.



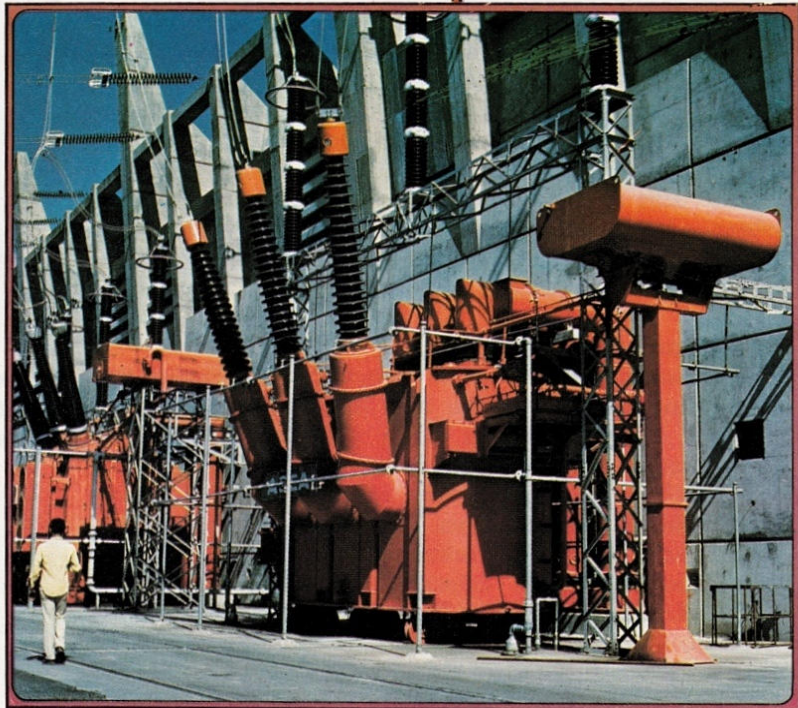
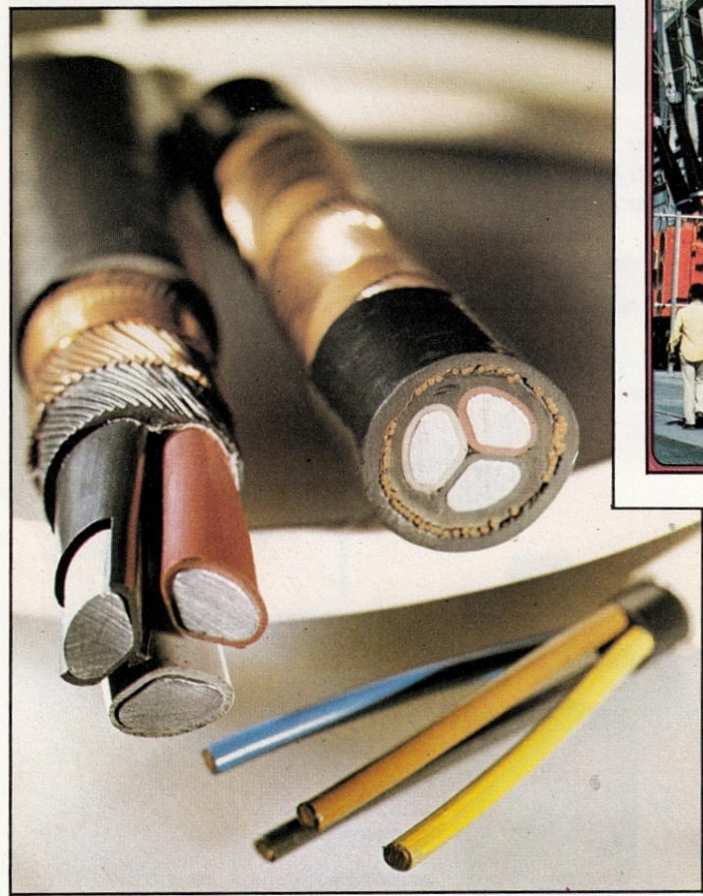
Eine Analogie zwischen Wasser und fließendem Strom. Dem Wasserdruck entspricht die Spannung. Die Turbine könnte als Modell einer Spule angesehen werden. Darunter ein Wassermodell eines elektrischen Schaltkreises, in dem Batterie, Schalter, Widerstand und Kondensator in Reihe geschaltet sind.

Rechts: Die umfangreichsten Anlagen für einen Stromkreis findet man bei den Stromversorgungsnetzen. Transformatoren erhöhen die Spannung des Stromes für den Transportweg und bringen sie für den Verbraucher wieder auf die üblichen Werte herunter.



Rechts: Dieser Transformator in einem Kraftwerk in Venezuela erhöht die Generatorspannung von 18 kV für die Übertragung auf 400 kV.

Unten: Typisches Kabel für Niederspannungen (220/380 V) wie sie für die Stromanschlüsse von Haushalten und Geschäften benutzt werden.



Form von Wärmestrahlung abgegeben wird, entsteht.

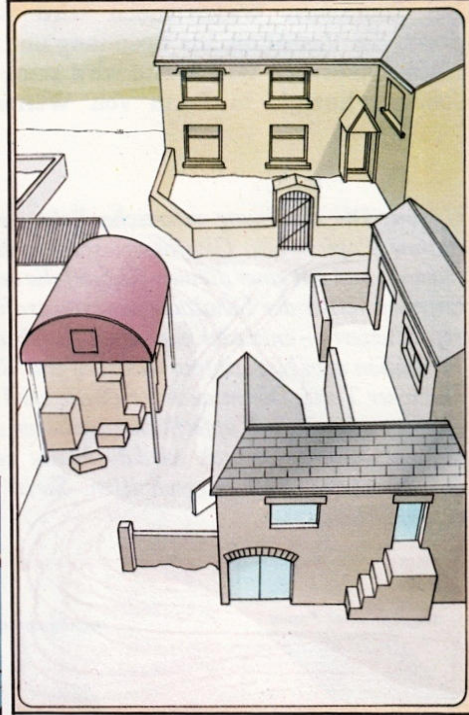
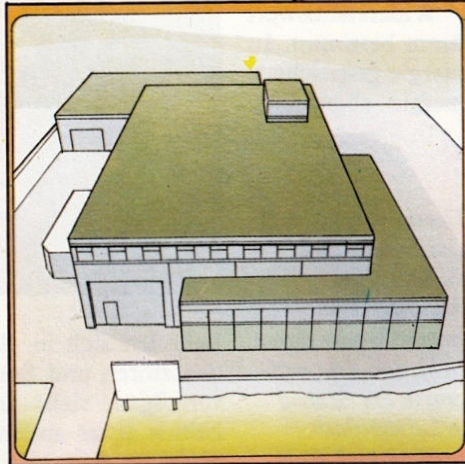
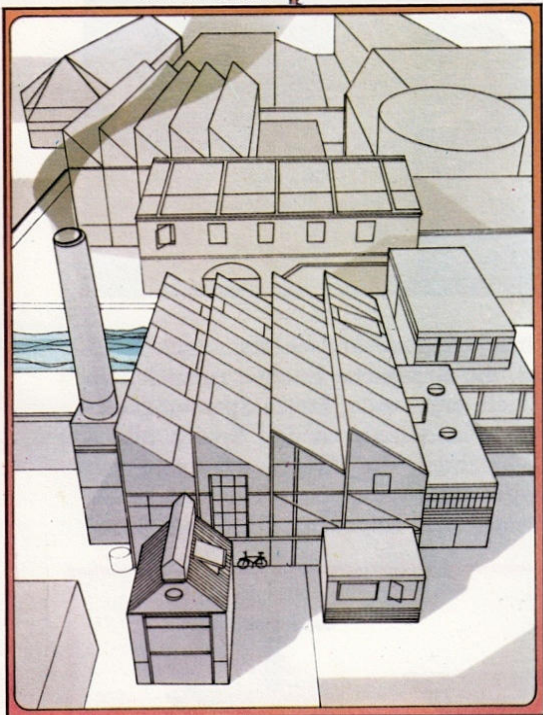
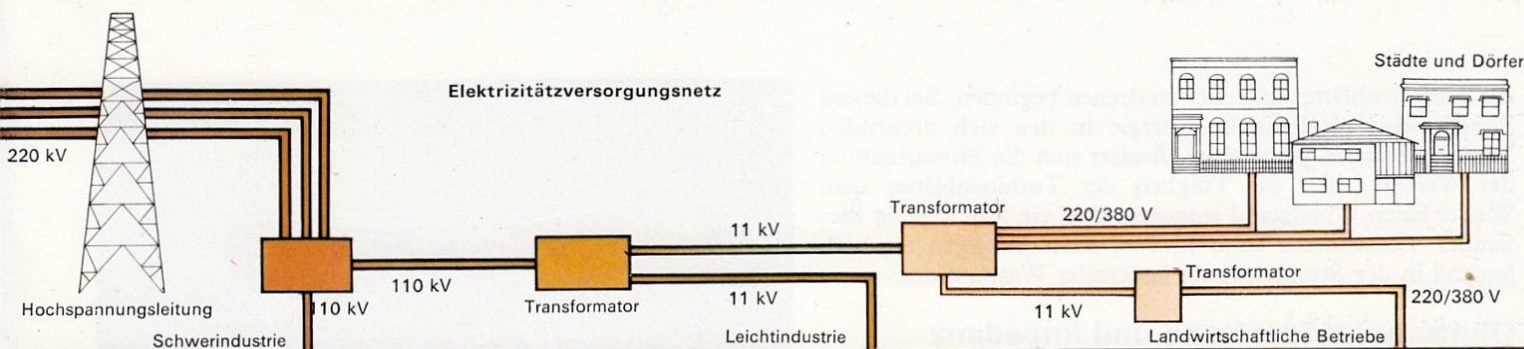
Das mechanische Äquivalent zu einer elektrischen Batterie ist ein mit Wasser gefüllter Behälter. Ebenso wie die elektrische Batterie ist auch der mit Wasser gefüllte Behälter ein Energiespeicher. Ein elektrischer Schalter kann, bezogen auf das mechanische Modell, als ein Wasserhahn angesehen werden. Der Analogiebetrachtung zwischen Wasser und Elektrizität sind Grenzen gesetzt. Sie ist jedoch sinnvoll, wenn man sich eine elementare Vorstellung des elektrischen Stromes machen möchte. Ein Wechselstrom, wie er für die Stromversorgung von Haushaltsgeräten vorkommt, kann im Wassermodell mit einem Wasserkreislauf verglichen werden, dem einmal von der einen Seite, das andere Mal von der anderen Seite Energie zugeführt wird.

Ein Kondensator kann elektrische Energie speichern. Er besteht aus zwei parallelen, metallischen Platten, auf die elektrische Ladungen aufgebracht werden. Die zwischen den Platten entstehende Potentialdifferenz ist ein Maß für die Anzahl der gespeicherten Ladungen. Einen 'Wasserkondensator' kann man sich so vorstellen, daß sich in einem Zylinder ein Kolben befindet, der auf jeder Seite mit einer Feder verbunden ist. Wirkt auf den Kolben ein Wasserdruck, wird der Kolben verschoben, d.h. die eine Feder wird gedehnt, die andere Feder zusammengepreßt. Dies bedeutet, daß in den Federn mechanische Energie gespeichert ist.

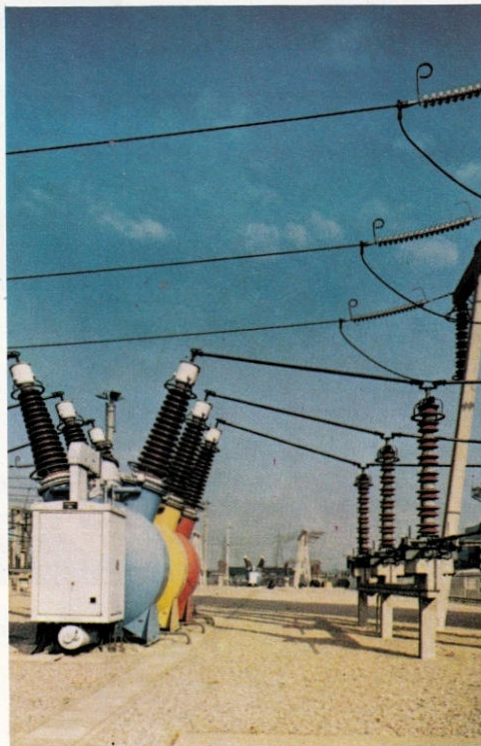
Eine Spule speichert Energie in einem Magnetfeld, wenn sie von einem elektrischen Strom durchflossen wird. Einer Änderung der Stromrichtung wird ein 'Widerstand' durch ein Magnetfeld entgegengesetzt, das sich ebenfalls ändern müßte. Eine Spule kann daher von einem Gleichstrom, jedoch nicht von einem Wechselstrom durchflossen werden. Ein mechanisches Äquivalent ist eine Wasserturbine. Bei einer Druckdifferenz an den Turbinenöffnungen beginnt das Wasser zuerst langsam zu fließen. Es fließt dann rascher, wenn sich

Analogien mit Wasser

Unter Widerstand versteht man das Widerstandsvermögen, das ein elektrischer Leiter dem Elektronenfluß entgegensetzt. Der Widerstand einer Röhre, durch die Wasser fließt, kann als die Druckdifferenz (Äquivalent: Spannung) zwischen den Enden der Röhre gemessen werden, um Wasser mit einer gewissen Geschwindigkeit (Äquivalent: Elektronenfluß) durch die Röhre fließen zu lassen. Verkleinert man den Durchmesser der Röhre, so muß der aufzuwendende Energiebetrag erhöht werden, um das Wasser mit gleicher Geschwindigkeit fließen zu lassen. Die Reibung der Wassermoleküle an der Röhrenwandung erzeugt Wärmeenergie, die normalerweise nicht wahrgenommen wird. Bei der Bewegung von Elektronen durch einen elektrischen Leiter entsteht ebenfalls Wärmeenergie. In einer elektronischen Schaltung ist diese Wärmeenergie unerwünscht. Bei elektrischen Stromkreisen nutzt man die Erzeugung von Wärmeenergie z.B. in elektrischen Heizgeräten (Kochplatte, Heizofen) oder in elektrischen Glühlampen, in denen ein Glühfaden in Weißglut versetzt wird. Je höher der elektrische Widerstand ist, um so mehr Wärmeenergie, die in



Oben: Vereinfachte Darstellung eines typischen elektrischen Versorgungsnetzes. Der Strom wird z.B. mit einer Spannung von 22 kV erzeugt und für die Überlandleitung auf eine Spannung von beispielsweise 380 kV hochtransformiert. Innerhalb des Verteilernetzes wird die Spannung dann schrittweise reduziert. Eine Reihe von Transformatoren senkt die Spannung auf 220 kV, 110 kV, 11 kV und schließlich auf 220/380 V. Fabriken haben mitunter ihre eigenen Transformatoren und werden dann direkt vom Netz mit 11 kV oder gar 110 kV beliefert.

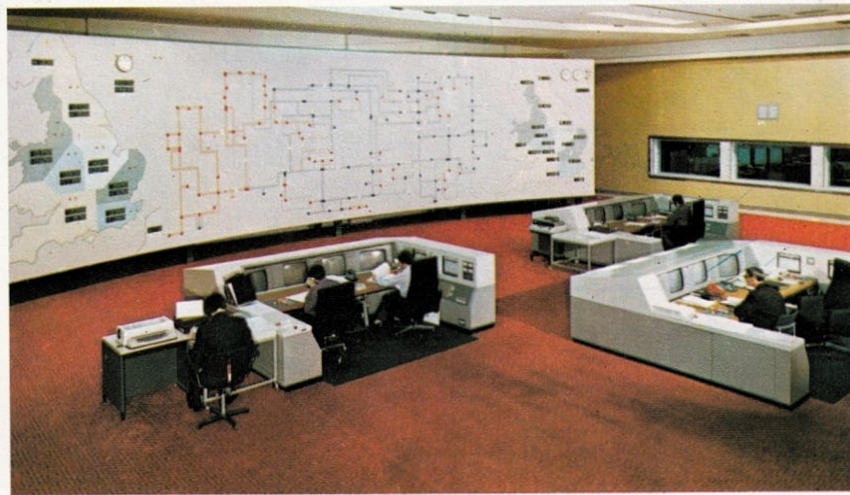
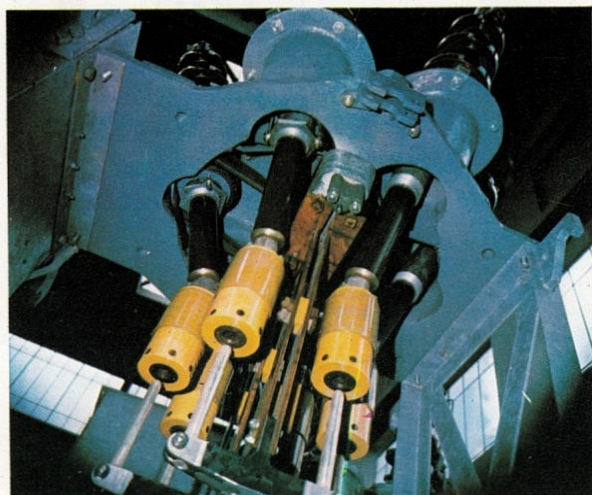


CEGB

Links: Ein Leistungsschalter für Spannungen bis zu 275 kV in einer Transformatoranlage. Die für Überlandleitungen benutzten Spannungen variieren von Land zu Land. So werden in Deutschland 380 kV, 220 kV und 110 kV benutzt, in Großbritannien 400 kV, 275 kV und 132 kV. In der Sowjetunion arbeitet man mit 750 kV- und 500 kV-Netzen.

Unten links: Der Isolatorteil eines Leistungsschalters für Hochspannungen.

Unten: Im Kontrollraum eines Elektrizitätsversorgungsnetzes.

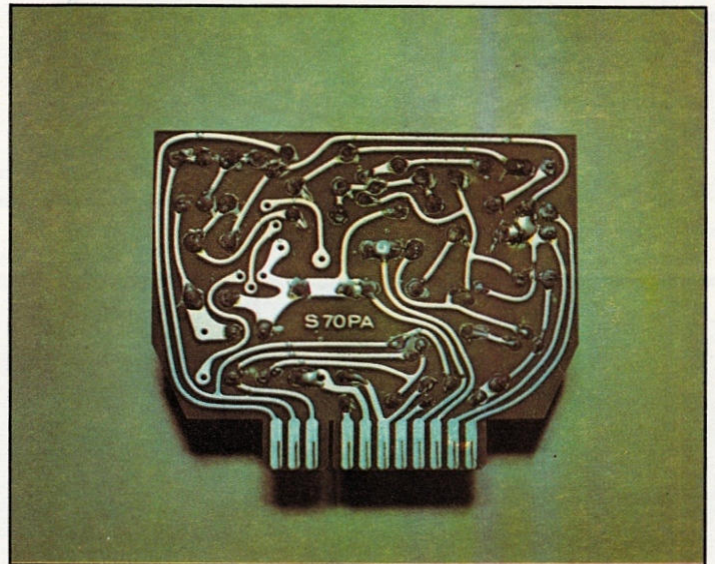


die Turbinenblätter schneller zu drehen beginnen. Bei diesem Prozeß wird mechanische Energie in den sich drehenden Turbinenblättern gespeichert. Ändert sich die Stromrichtung des Wassers, setzt die Trägheit der Turbinenblätter dem Wasser einen Widerstand entgegen. D.h. ein gleichmäßig fließender Wasserstrom kann fließen, nicht hingegen ein sich laufend in der Stromrichtung ändernder Wasserstrom.

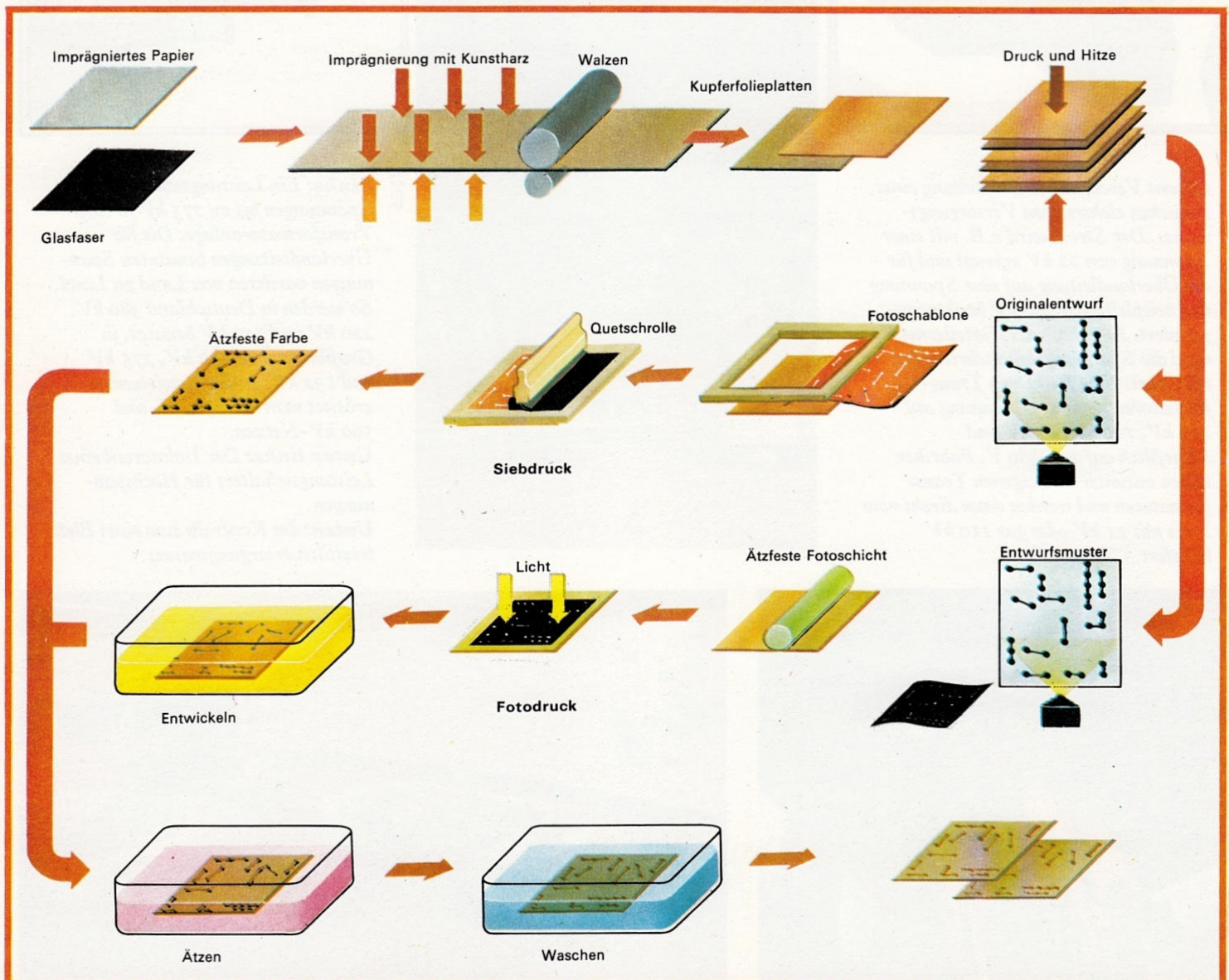
Ohmscher Widerstand und Impedanz

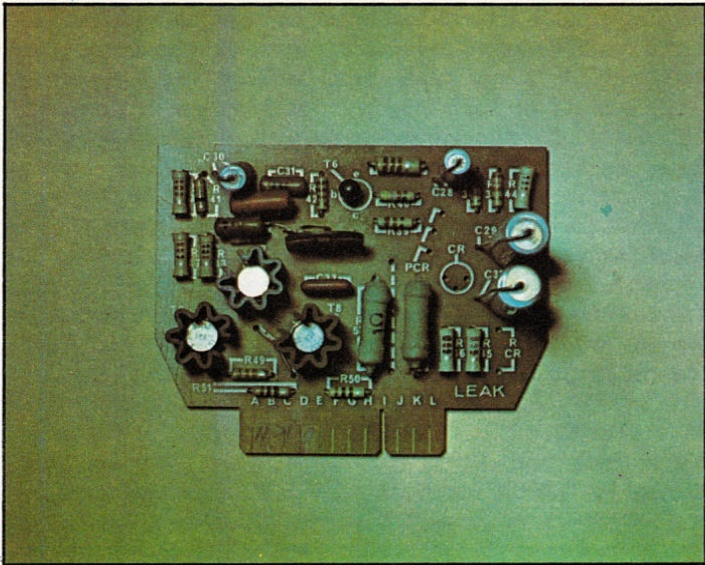
Bei Ohmschen Widerständen wird der Widerstandswert durch das Verhältnis aus Spannung und Strom bestimmt. In einem Ohmschen Widerstand wird keine Energie gespeichert, sondern Energie in Form von Wärmeenergie abgegeben.

Unten: Die Zeichnung veranschaulicht die Herstellung einer Platine. Papier- oder Glasfaserplatten werden mit Kunstharz getränkt und mit einer dünnen Kupferfolie beschichtet. Ein Entwurfsmuster der Schaltung wird fotografisch auf der Platte reproduziert — entweder nach einer Siebdruckmethode oder durch Projektion vom Negativfoto selber auf eine Schicht von lichtempfindlicher Tinte. Die entwickelte Platte wird dann in ein Ätzbad gelegt, wodurch die Kupferflächen zwischen den Leiterbahnen entfernt werden. Danach wird die Platte gewaschen und dann auf die richtige Größe zugeschnitten. Sie ist nun für die Bauteile aufnahmebereit.

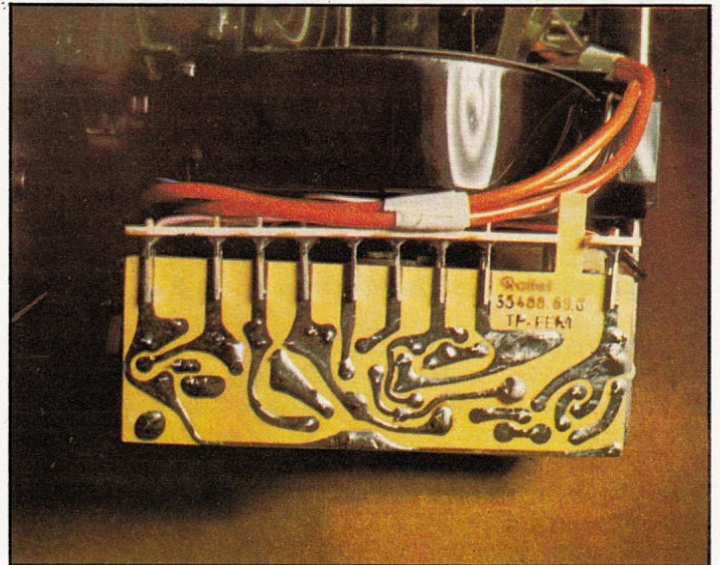


Befinden sich in elektrischen Stromkreisen aber auch Kondensatoren und Spulen, die elektrische Energie zu speichern vermögen, sieht das sich ergebende Strom/Spannungsverhältnis etwas anders aus. Kondensatoren und Spulen bilden einen sogenannten Blindanteil, im Gegensatz zu einem Wirkanteil bei einem Ohmschen Widerstand. Die Summe aus Wirk- und Blindanteil nennt man Impedanz. Die Strom/Span-





MM RATHORE



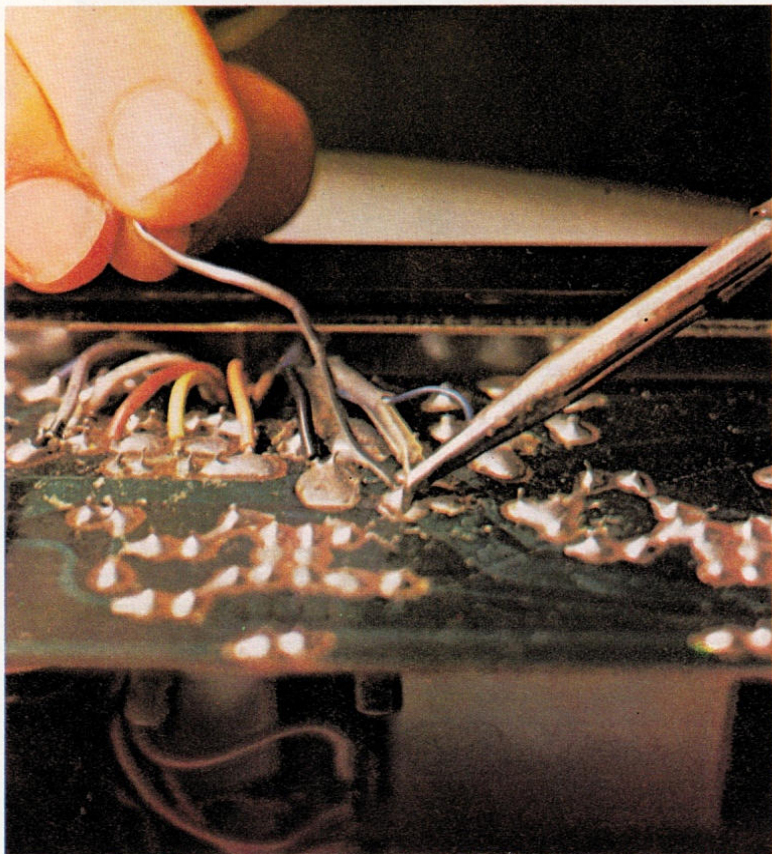
Oben und oben links: Die beiden Bilder zeigen die Ober- und Unterseiten einer gedruckten Schaltung. Diese Platine ist Teil der Endverstärkerstufe eines Hi-Fi-Verstärkers. Sie enthält nicht die Ausgangstransistoren, die bei großen Leistungen zum Schutz gegen Überhitzung mit Kühlkörpern versehen und getrennt montiert sind. Die Karte wird mit den untenliegenden Kontakten in die Verstärkerstufe eingesteckt. Diese Art der Schaltung ist wartungsfreundlich, da sie sich leicht aus der Verstärkerstufe entfernen läßt und alle Bauteile deutlich gekennzeichnet sind.

Oben: Eine gedruckte Schaltung, die aus einem fotografischen Gerät kommt.

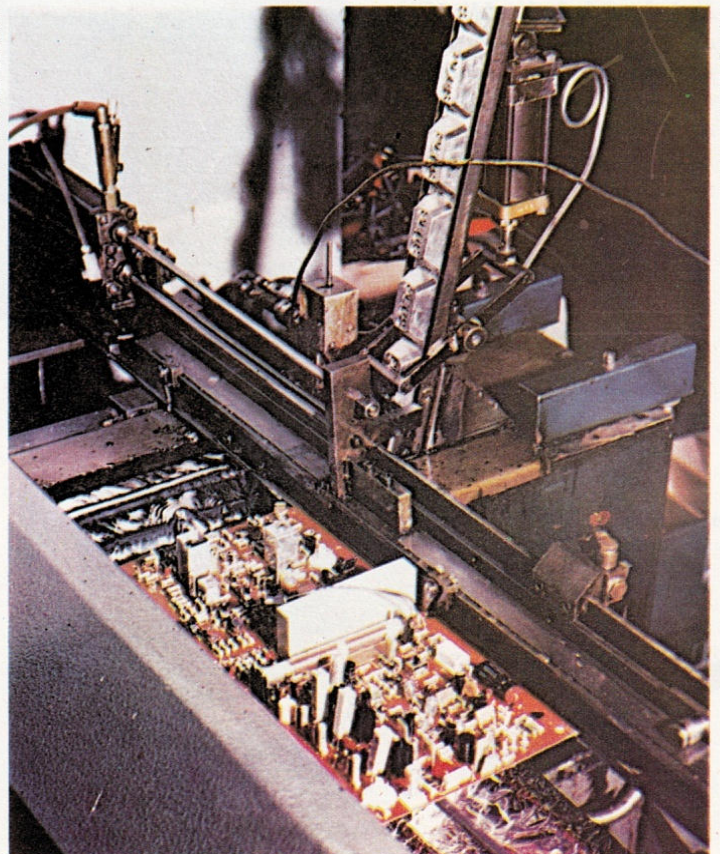
nungsverhältnisse einer Impedanz unterscheiden sich bei Gleich- und Wechselströmen. Hat man z.B. eine Schaltung aus einem Ohmschen Widerstand und einem Kondensator — sogenannte RC-Schaltung — oder aus einem Ohmschen Widerstand und einer Spule — sogenannte RL-Schaltung —, kann man niederfrequente Wechselströme oder Gleichströme herausfiltern. Hochfrequente Wechselströme hingegen werden durchgelassen.

Unten: Elektrische Verbindungen werden durch Lötén mit der Hand hergestellt. Das Lötmaterial schmilzt durch die Hitze des Lötisens. Die so hergestellten Kontakte lassen sich bei Reparaturen leicht lösen.

Unten: Eine automatische Lötanlage für die Massenproduktion. Die elektronischen Bauteile mit ihren elektrischen Kontakten an der Unterseite werden in ein Lötbad getaucht. (Siehe auch das Diagramm auf der linken Seite.)



JAMES BLAKE



TIN RESEARCH INST.

STROMMESSINSTRUMENTE

Instrumente zur Messung der elektrischen Stromstärke heißen Amperemeter. Das Äquivalent des das Meßinstrument durchfließenden elektrischen Stromes wird durch einen Zeiger, der über eine Skala spielt, angezeigt.

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist das Ampere (Symbol: A). Kleinere Einheiten sind das Milliampere ($1 \text{ mA} = 1 \text{ Tausendstel A}$) und das Mikroampere ($1 \mu\text{A} = 1 \text{ Millionstel A}$).

Unter den sogenannten analog anzeigenden Amperemetern (Ablesung des Wertes der Stromstärke auf einer Skala) kennt man zwei grundlegende Typen: Drehspulinstrumente und Dreheiseninstrumente.

Das Prinzip, auf dem ein Amperemeter beruht, ist folgendes: Wird ein Draht von einem elektrischen Strom durchflossen, bildet sich um den Draht ein Magnetfeld aus. Dreht man den Draht zu einer Spule auf, entsteht ein Elektromagnet, dessen Stärke proportional zu dem den Draht durchfließenden Strom ist.

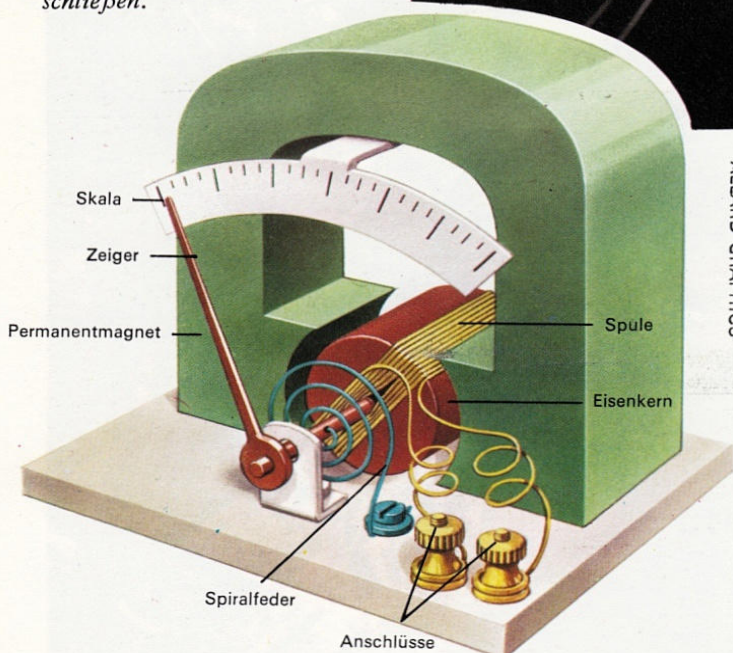
Ein Drehspulinstrument setzt sich aus drei Grundelementen zusammen: einem Hufeisenmagneten, einer rechteckigen Spule

Rechts: Ein modernes Strommeßinstrument mit digitaler Anzeige, das auch Spannung und Widerstand mißt.

Unten: Ein Drehspulampere-meter. Der zu messende Strom durchfließt eine Spule, die ein Magnetfeld erzeugt, das dem Magnetfeld des Permanentmagneten entgegengerichtet ist. Hierdurch wirkt auf die Spule eine Kraft ein, die sie so lange dreht, bis diese Kraft sich im Gleichgewicht mit der entgegengesetzten Federkraft befindet. Mit Hilfe des an der Spule angebrachten Zeigers kann man anhand seines Ausschlages auf die Stärke des durch die Spule fließenden Stromes schließen.



PAUL BRIERLEY



ALLARD GRAPHICS

mit Zeiger und einer Spiralfeder. Die Spulendrähte durchsetzen das Magnetfeld des Hufeisenmagneten senkrecht.

Durchfließt der zu messende elektrische Strom die Spule, bildet sich um die Spule ein Magnetfeld aus, das dem Magnetfeld des Hufeisenmagneten entgegengerichtet ist. An der Spule greift ein Kräftepaar an, das ein Drehmoment ausübt. Die Spule dreht sich nun so lange, bis sie im Gleichgewicht mit der auf die Feder einwirkenden Kraft ist. Je nach Stärke des die Spule durchfließenden Stromes ist die Auslenkung der Spule aus ihrer Gleichgewichtslage größer oder kleiner, d.h. der mit der Spule verbundene Zeiger schlägt weiter oder weniger weit aus. Eicht man nun die unter dem Zeiger befindliche Skala in den Einheiten des elektrischen Stromes, kann man auf der Skala unmittelbar die zu messende Stromstärke ablesen.

Will man mit dem Drehspulinstrument Wechselströme messen, muß der Wechselstrom mit Hilfe eines Gleichrichters in Gleichstrom umgewandelt werden. Einfacher, jedoch mit geringerer Genauigkeit, läßt sich ein Wechselstrom mit einem Dreheiseninstrument messen.

Bei diesem Instrument ist ein Eisenstreifen an einer Achse befestigt, an der auch der Zeiger und die Spiralfeder befestigt sind. An der Spule befindet sich ein fest angebrachter Eisen-

streifen, der dem an dem Stab angebrachten Eisenstreifen gegenübersteht. Durchfließt die Spule ein elektrischer Strom, werden beide Eisenbleche gleichsinnig magnetisiert und stoßen sich ab. Je nachdem wie stark die Erregung des Magnetfeldes ist, ist die Abstoßung der beiden magnetisierten Eisenstreifen größer oder geringer, d.h. der Zeigerausschlag ist entsprechend weiter oder weniger weit. Der Zeigerausschlag ist bei einem Dreheiseninstrument nicht wie beim Drehspulinstrument dem elektrischen Strom I proportional, sondern proportional dem Quadrat des Stromes. Dies bedeutet, daß die Anzeige nichtlinear ist.

Fließt ein Wechselstrom durch die Spule, ändert sich das Magnetfeld in den beiden Eisenstreifen mit der Frequenz des elektrischen Stromes, d.h. die Abstoßung der magnetisierten Eisenstreifen hat immer den gleichen Betrag. Mit einem Dreheiseninstrument können Gleichströme und Wechselströme bis zu 300 Hz gemessen werden.

STRÖMUNGSMESSER

Heute werden viele Flüssigkeiten, meist Wasser und Öl, in Pipelines transportiert; hierbei ist die Strömungsgeschwindigkeit eine wichtige Größe.

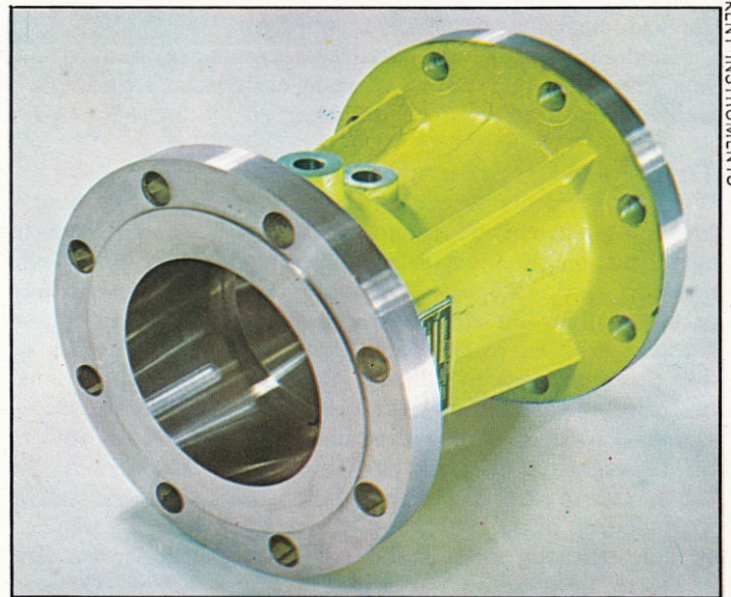
Strömungsmesser geben die Geschwindigkeit bewegter Gase oder Flüssigkeiten an. Sie sind den Anemometern, die zur Messung von Gasgeschwindigkeiten benutzt werden, eng verwandt.

Anemometer (das Wort 'anemos' entstammt dem Griechischen und bedeutet Wind) wurden in der Meteorologie zur Messung von Windgeschwindigkeiten entwickelt. Im Zuge der Industriellen Revolution wurden die Fertigungsprozesse komplexer (etwa in der chemischen Industrie und in Kraftwerken) und erforderten die Messung der Strömungsgeschwindigkeit verschiedenster Gase und Flüssigkeiten. Da flüssige Stoffe 'schwerer' und 'dichter' als Gase sind, d.h. eine höhere Viskosität besitzen, haben sich die Strömungsmesser zu einer eigenen 'Familie' von Meßinstrumenten entwickelt, obgleich keine klare Abgrenzung zu den Anemometern besteht.

Arten von Strömungsmessern

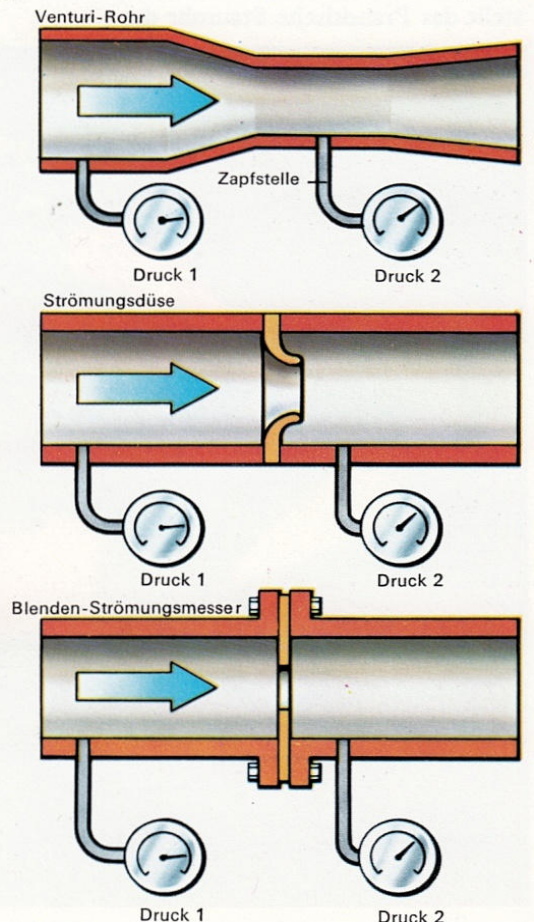
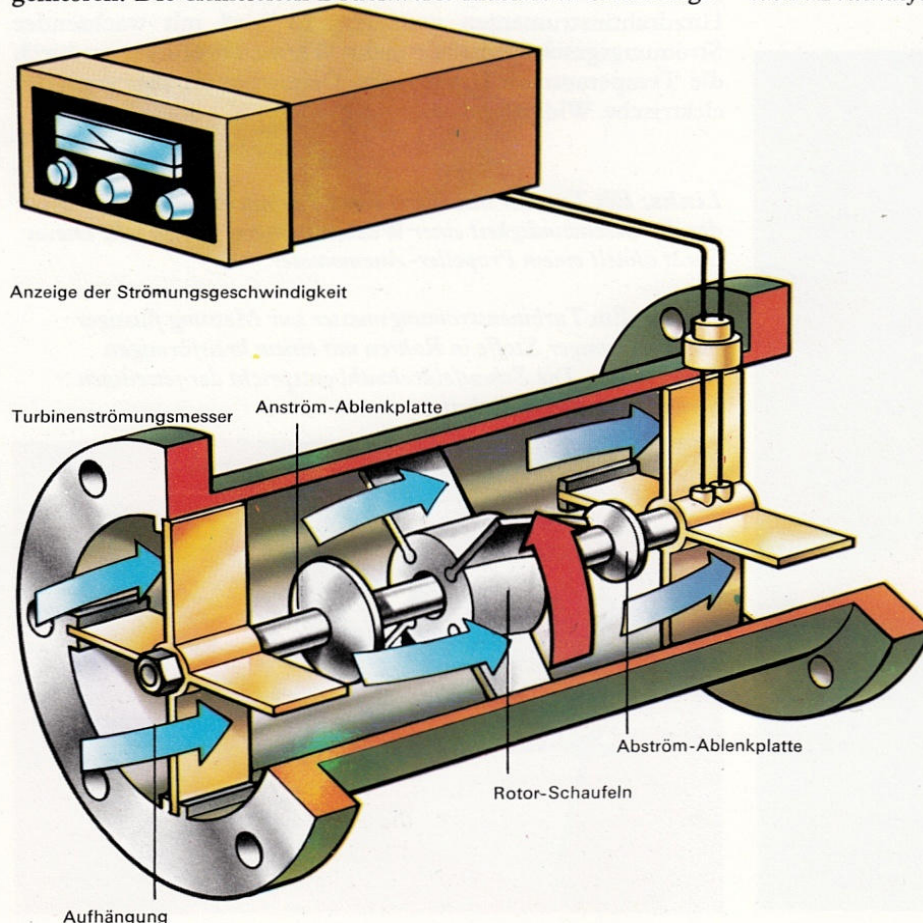
Strömungsmesser bestimmen die Geschwindigkeit, mit der eine Substanz ein begrenztes Volumen, etwa ein Rohr, durchfließt; nur selten wird die Strömungsgeschwindigkeit in offenen Kanälen benötigt. Die gesuchte Größe ist somit das Flüssigkeitsvolumen, das in einer Zeiteinheit einen vorgegebenen Querschnitt passiert; Maßeinheiten sind Kubikmeter pro Sekunde oder — bei Öl — Gallonen pro Stunde (1 Gallone = 4,55 dm³).

Turbinen-Strömungsmesser liefern diese Eichung direkt, da die Turbinenschaufeln durch die Flüssigkeit bewegt werden müssen. Bei anderen Meßgeräten, wie dem Venturi-Rohr und dessen Abwandlungen sowie dem Pitot-Rohr, werden Drucke gemessen. Die ermittelten Druckwerte müssen in Strömungs-



Oben: Das Dall-Rohr ist eine Weiterentwicklung des Venturi-Rohres. Beide Apparaturen verursachen geringere Druck- und Energieverluste als andere Strömungsmesser dieser Art, bei denen Druckunterschiede zwischen Orten unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit gemessen werden.

Unten: Im Turbinenströmungsmesser wird die Strömungsgeschwindigkeit durch die Drehzahl der Turbinenschaufeln angezeigt. Die Schaufeln sind auf eine Welle montiert, die dann einen Wechselstromgenerator antreibt. Die Frequenz des erzeugten Wechselstroms ist der Welledrehzahl proportional. Die drei Druckunterschiede anzeigenden Strömungsmesser — Venturi-Rohr, Strömungsdüse und Blenden-Meßgerät — benutzen das Prinzip, nach dem an einer Einschnürung der Querschnittsfläche die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt; dies führt dort zu einem Druckabfall.



geschwindigkeiten umgerechnet werden.

Hitzdrahtinstrumente (Hitzdrahtanemometer) nutzen die sich mit der Temperatur ändernde elektrische Leitfähigkeit eines stromdurchflossenen Drahtes.

Turbinen-Strömungsmesser

Wie die Propeller-Anemometer sind auch die Turbinen-Strömungsmesser aus einem Satz von Turbinenschaufeln aufgebaut, die in einem Rohr konzentrisch so auf eine Welle montiert sind, daß die Drehachse der Strömungsrichtung parallel ist. Strömt eine Flüssigkeit gegen die Schaufeln, so werden diese zu Drehbewegungen gezwungen. Hierbei ist die Strömungsgeschwindigkeit der Drehzahl proportional und wird aus der gemessenen Turbinendrehzahl bestimmt.

Solche Anlagen sind widerstandsfähig und können sowohl bei Flüssigkeiten als auch bei Gasen eingesetzt werden. Sie haben jedoch drei Nachteile: Erstens erzeugen sie starke Turbulenzen in der Strömung ('Wirbel'). Zweitens entziehen sie der Strömung einen Teil der Bewegungsenergie, was sich in einem Druckabfall hinter der Turbine äußert. Drittens reagieren diese Meßgeräte nur sehr träge auf rasche Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit. Dies hängt jedoch von Größe und Gewicht der Turbinenschaufeln ab; durch eine ausgefeilte Konstruktion können diese Nachteile auf ein Minimum reduziert werden.

Druckmessende Strömungsmesser

Das Pitot-Rohr, das Venturi-Rohr und Strömungsmesser mit Düsen oder Blenden benutzen den Druck einer Strömung. Sie sind extrem widerstandsfähig, billig und die am häufigsten benutzten Strömungsmesser.

Das Pitot-Rohr besteht aus einem kleinen, einseitig offenen Rohr, dessen Öffnung angeströmt wird. Dort wird die Flüssigkeit aufgestaut, die im Pitot-Rohr einen höheren als den in der übrigen Leitung vorliegenden Druck erzeugt. Durch Messung dieses Gesamtdruckes kann die Geschwindigkeit bestimmt werden. Eine Weiterentwicklung dieses Prinzips stellt das Prandtl'sche Staurohr dar.



Druckunterschiede messende Strömungsmesser

Diese Geräte arbeiten nach dem Prinzip, daß eine Verringerung der zur Durchströmung verfügbaren Querschnittsfläche die Strömungsgeschwindigkeit erhöht. Da der fließenden Substanz weder Energie zugeführt noch entnommen wird, muß eine Erhöhung der kinetischen Energie, der Bewegungsenergie, bei gleichbleibender Gesamtenergie zur Verringerung der potentiellen Energie führen. Die potentielle Energie ist aber durch den statischen Druck in der Rohrleitung meßbar. Sind die Dichte der Flüssigkeit, die Einschnürung der Querschnittsfläche und der Unterschied des statischen Druckes vor und nach der Verengung bekannt, so läßt sich daraus die Strömungsgeschwindigkeit bestimmen.

Venturi-Rohre besitzen eine sanft gewölbte Einschnürung und weiten sich anschließend allmählich wieder auf den alten Leitungsquerschnitt. Durch die sanften Konturen entstehen keine turbulenten Strömungen (das heißt keine Wirbel), die Druck- und Energieverluste verursachen. Die Herstellung solcher Strömungsmesser ist jedoch schwieriger und teurer als die von einfachen Meßgeräten mit Düsen oder Blenden.

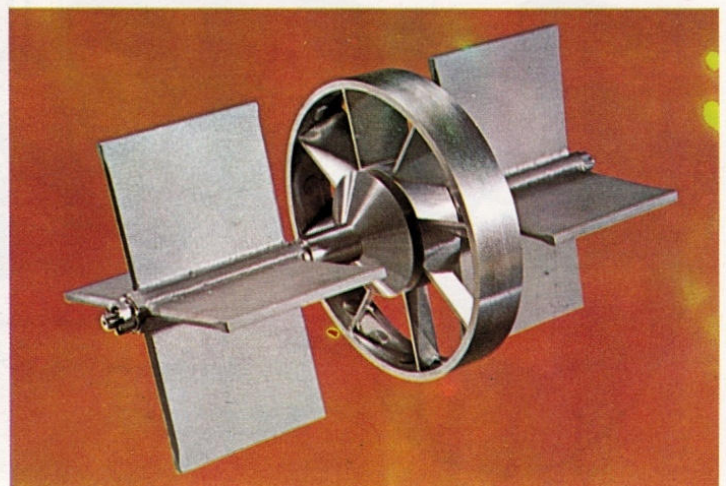
Düsen-Strömungsmesser bestehen aus einem Rohr, in das eine düsenförmige Einschnürung eingebaut ist, die — wie beim Venturi-Rohr — eine langsame Verkleinerung der Querschnittsfläche bewirkt. Die Einschnürung endet hier jedoch durch einen sprunghaften Übergang auf den ursprünglichen Querschnitt. Vor und hinter der Düse wird der Druck gemessen und aus dem Druckunterschied wie beim Venturi-Rohr die Strömungsgeschwindigkeit berechnet.

Hitzdrahtinstrumente

Diese Geräte nutzen den bei Metallen meist mit der Temperatur steigenden elektrischen Widerstand. Metalldrähte werden durch Stromfluß erwärmt; ihre Temperatur hängt jedoch davon ab, wieviel Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Umströmt eine Flüssigkeit oder ein Gas einen von einem schwachen elektrischen Strom durchflossenen Draht, wie es in Hitzdrahtinstrumenten geschieht, so wird mit wachsender Strömungsgeschwindigkeit mehr Wärme abgeführt, wodurch die Temperatur im Draht sinkt. Damit nimmt aber auch der elektrische Widerstand ab.

Links: Ein Taucher installiert einen Turbinenströmungsmesser, der die Geschwindigkeit einer Wasserströmung messen soll. Dieses Gerät ähnelt einem Propeller-Anemometer.

Unten: Ein Turbinenströmungsmesser zur Messung flüssiger oder gasförmiger Stoffe in Rohren mit einem kreisförmigen Durchmesser. Die Schaufeldrehzahl entspricht der jeweiligen Strömungsgeschwindigkeit.



SUPRALEITUNG

Bei extrem niedrigen Temperaturen kann die Materie außergewöhnliche Eigenschaften annehmen — eine davon ist das Phänomen der Supraleitung.

Die Supraleitung tritt nur bei sehr tiefen Temperaturen, innerhalb etwa 25 K (K = Kelvin) vom absoluten Nullpunkt, auf. Das Auftreten der Supraleitung zeigt sich im vollständigen Verschwinden des elektrischen Widerstandes bei einer bestimmten 'kritischen Temperatur' T_c , die vom Material abhängt. Oberhalb der kritischen Temperatur verhalten sich Supraleiter ähnlich wie übliche metallische Substanzen; sie befinden sich in ihrem 'normalleitenden' Zustand, während unterhalb von T_c der 'supraleitende' Zustand vorliegt. Kühlt man einen Supraleiter auf eine Temperatur unterhalb von T_c ab, so kann ein elektrischer Strom verlustfrei, also ohne Wärmeerzeugung fließen, da der elektrische Widerstand verschwindet. Diese Tatsache ist von großer praktischer Bedeutung, denn damit bieten Supraleiter die Möglichkeit der Energieübertragung ohne die Verluste, die bei konventionellen Leitungen und Kabeln (z.B. aus Kupfer) auftreten.

Nach der Entdeckung der Supraleitung durch den Norweger H. Kamerlingh Onnes (1853 bis 1926) im Jahre 1911 galt das Verschwinden des elektrischen Widerstands für einige Zeit als das wesentliche Kennzeichen der Supraleitung. Im Jahre 1933 jedoch berichtete W. Meißner (1882 bis 1974), daß die Supraleitung durch Anlegen eines hinreichend großen Magnetfeldes zerstört werden kann. Unterhalb dieses 'kritischen Feldes' H_c (gemessen in A/m) kann kein magnetischer Fluß in den Supraleiter eindringen ('Meißner-Ochsenfeld-Effekt'). Neben der perfekten Leitfähigkeit besitzt ein Supraleiter also auch die Eigenschaft des 'perfekten

Diamagnetismus' für Temperaturen unterhalb von T_c und für Magnetfelder kleiner als H_c . Eine Folge der Existenz eines kritischen Feldes ist die Begrenzung der Stromtragfähigkeit eines Supraleiters, da das mit einem elektrischen Strom verbundene Magnetfeld schließlich zum Zusammenbruch der Supraleitung, d.h. zum Übergang in den normalleitenden Zustand, führt. Trotzdem können in einigen supraleitenden Materialien in niedrigen Magnetfeldern Stromdichten (Strom pro Flächeneinheit des Leiterquerschnitts) um $1\,000\text{ A/cm}^2$ (10^7 A/m^2) erreicht werden. Da das kritische Feld (von Null bei T_c) mit abnehmender Temperatur zunimmt, ist es ein Vorteil, supraleitende Anlagen bei Temperaturen zu betreiben, die deutlich unter T_c liegen.

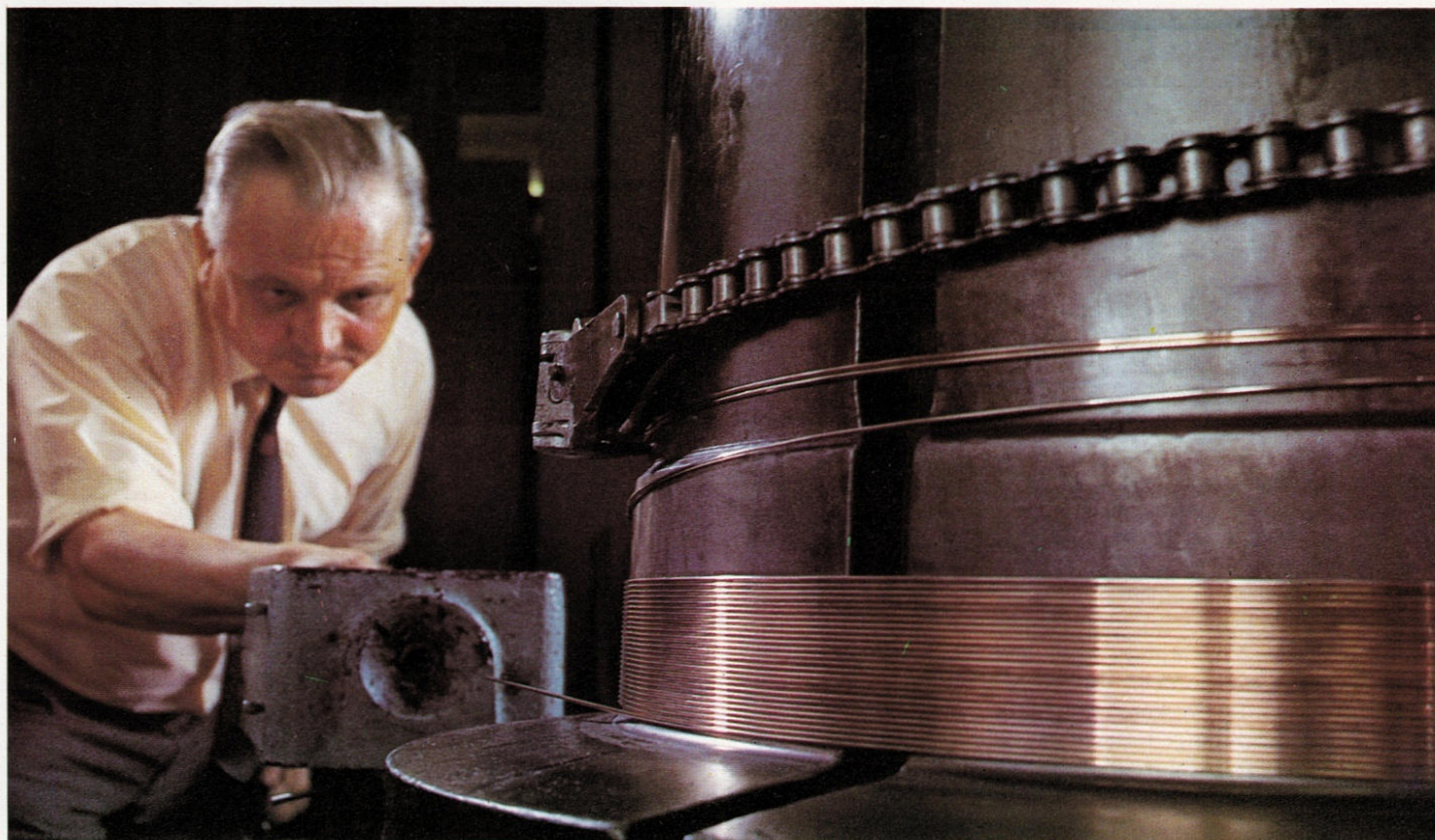
Seit der Entdeckung der Supraleitung hat es nicht an Versuchen gefehlt, die genannten Eigenschaften theoretisch zu deuten und zu verstehen, warum viele, aber nicht alle Stoffe supraleitend werden. Erst im Jahre 1951 gelang es den amerikanischen Wissenschaftlern Bardeen (geb. 1908), Cooper (geb.



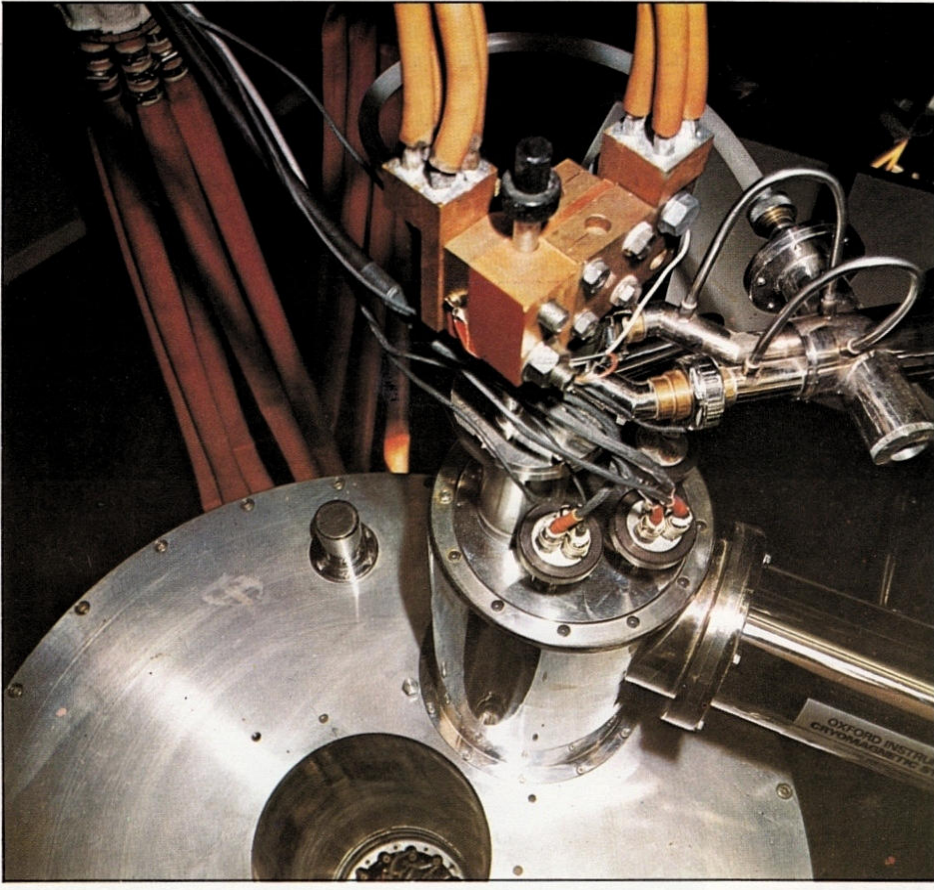
UKAEA

Unten: Ein sehr stabiler Supraleiter aus Niobium und Zinn wurde in England entwickelt. Er arbeitet bei höherer Temperatur (bis 18K) als andere Supraleiter.

Oben: Ein Multifilament-Supraleiter. Niobiumstäbe werden in einen Bronzestutzen eingeführt und erhitzt. Es entsteht eine Niobium-Zinn-Legierung, die gut leitet.

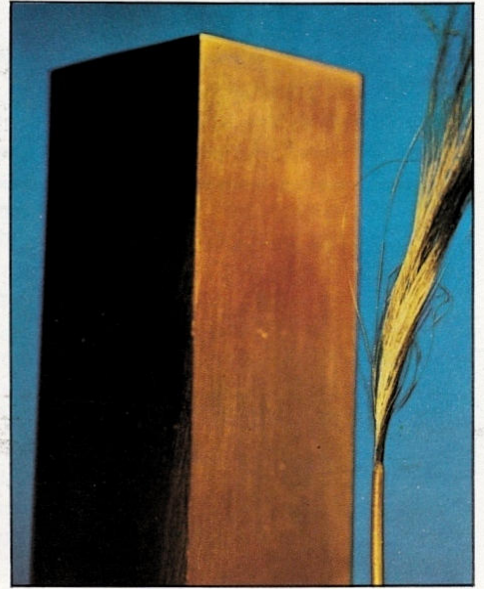


UKAEA



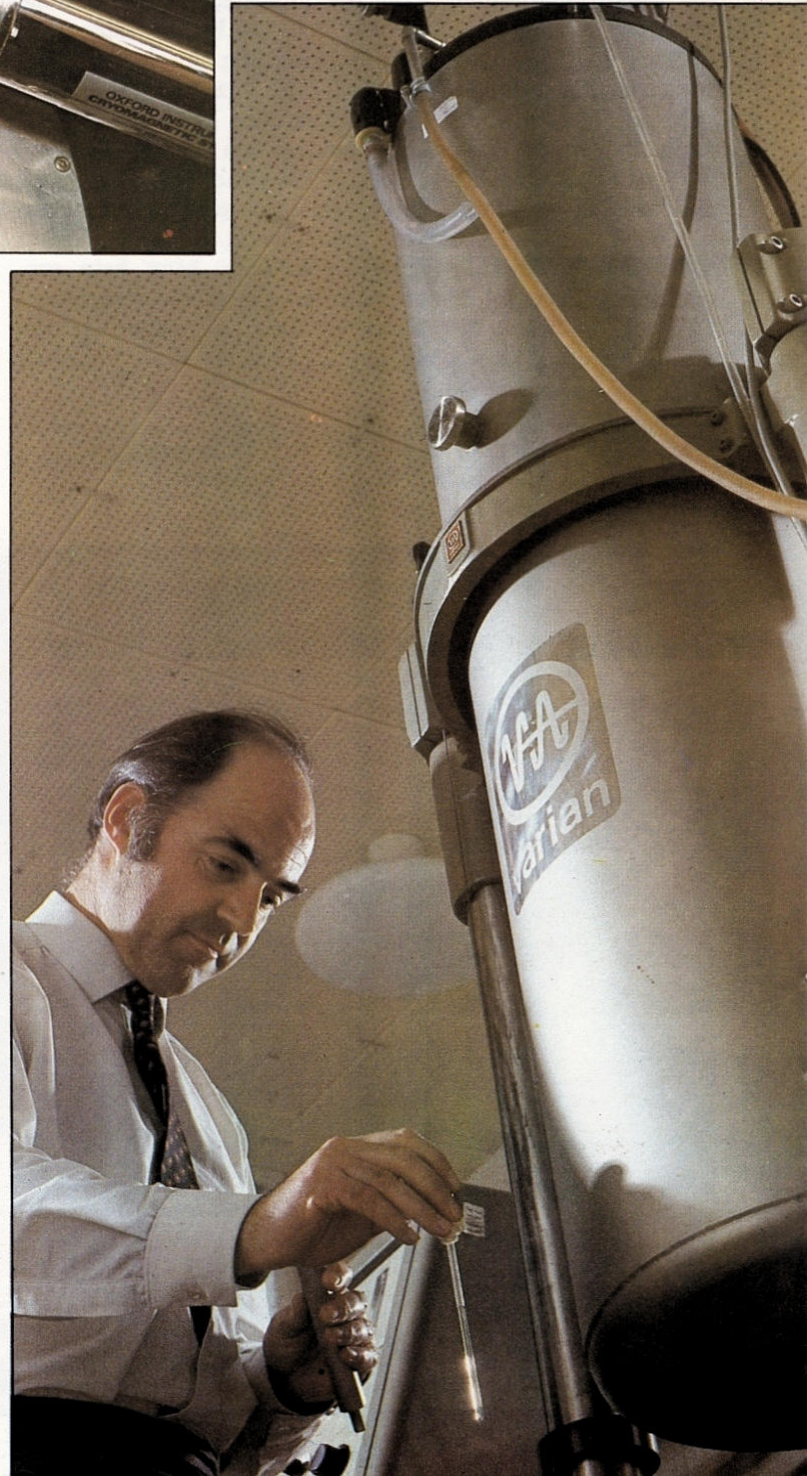
Oben: Wenn ein Behälter mit einer konventionellen Vakuumpumpe geleert worden ist, wird eine Kryopumpe eingesetzt. Die im Behälter noch verbliebenen Gasmoleküle verfestigen sich bei den so erreichten Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt und vergrößern so das Vakuum.

Rechts oben: Der rechts erkennbare dünne supraleitende Draht trägt die gleiche Stromstärke wie der Kupferblock daneben.



1930) und Schrieffer (geb. 1931), eine zufriedenstellende Theorie zu entwickeln, für die sie im Jahre 1972 den Nobelpreis für Physik erhielten. Diese Theorie geht davon aus, daß die für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlichen Elektronen trotz ihrer normalerweise überwiegenden abstoßenden Tendenz in einem Supraleiter Paare ('Cooper-Paare') bilden. Diese Paarbildung kommt durch eine komplizierte Wechselwirkung zwischen den Leitungselektronen und den quantisierten Schwingungen der Atome im Festkörper, den 'Phononen', zustande. Die zum Aufbrechen der Paare in einzelne, 'normale' Elektronen benötigte Energie bestimmt die kritischen Parameter T_c und H_c und beeinflußt viele andere Eigenschaften der Supraleitung.

Man hat einige Mühe darauf verwendet, nachzuprüfen, ob der Widerstand eines Supraleiters vielleicht doch nicht genau Null ist. Ein Experiment zu diesem Problem besteht im Induzieren eines Dauerstroms in einer ringförmigen Probe des supraleitenden Materials. Durch ein hohes Magnetfeld senkrecht zur Ebene des Ringes bringt man die Probe zunächst in den normalleitenden Zustand. Bei Abschalten des Magnetfelds wird in dem supraleitenden Ring ein Ringstrom induziert, der bei Vorliegen eines Widerstands mehr oder weniger schnell abklingen müßte. Mit empfindlichen Methoden, beispielsweise mit dem vom Galvanometer bekannten Verfahren mit dem Ring anstelle der Spule, konnte man über Zeiten bis zu zwei Jahren keine Änderungen des Ringstroms feststellen. Aus diesen Experimenten folgt, daß der spezifische Widerstand der Supraleiter unmeßbar klein ist, also nur wenig von Null verschieden sein kann (kleiner als $10^{-25} \Omega m$).



Supraleitende Materialien

Mehr als 30 Elemente des Periodensystems (siehe CHEMIE) und etwa 2 000 Legierungen sind heute als Supraleiter bekannt. Die kritischen Temperaturen reichen bis etwa 23 K ($= -250^{\circ}\text{C}$). Von dieser großen Zahl sind aber nur einige Substanzen praktisch wichtig, weil die meisten sehr kleine Werte von T_c oder H_c besitzen, also auch bei entsprechender Kühlung nur kleine Ströme tragen könnten.

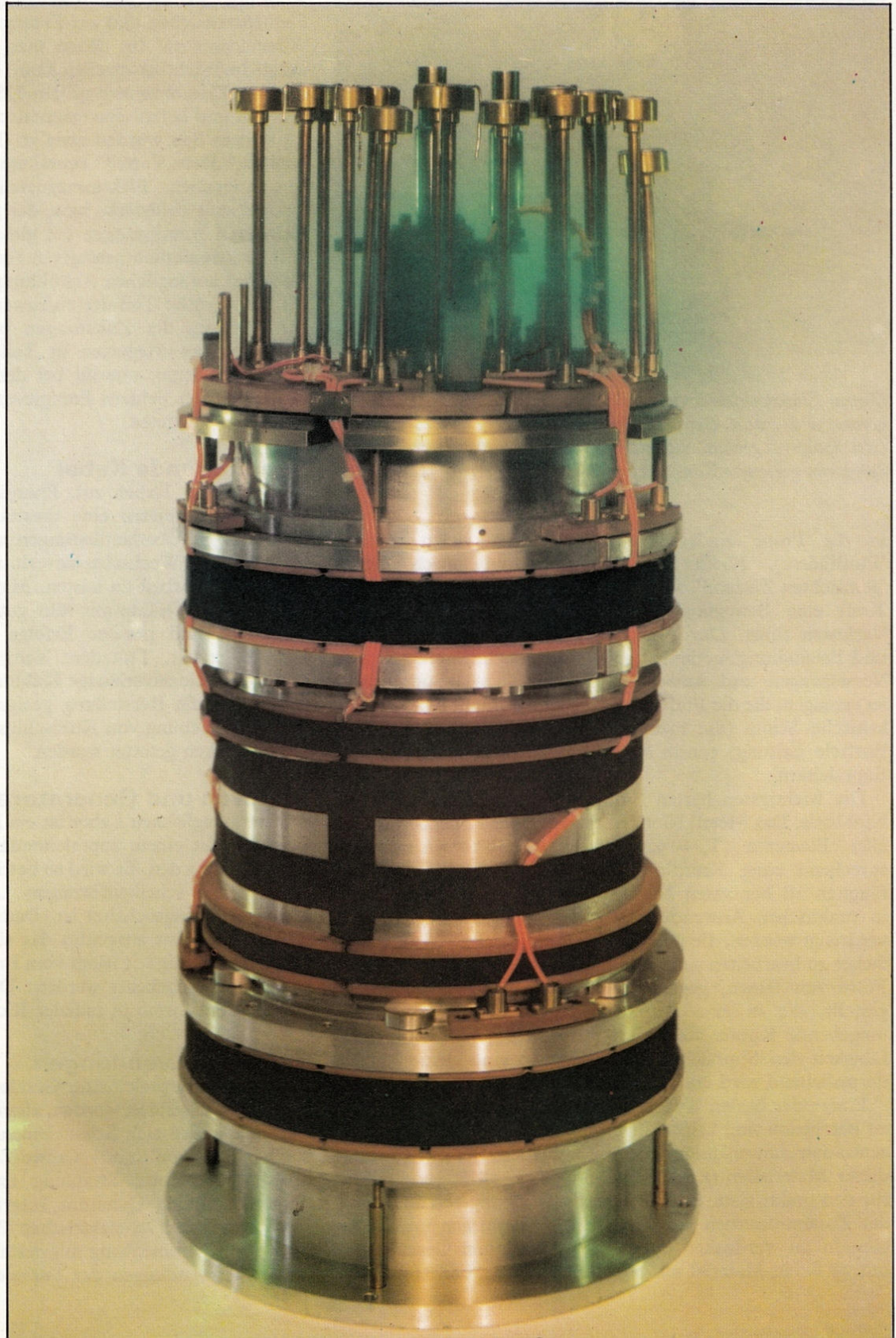
Unten links: Ein kernmagnetisches Resonanzspektrometer der britischen Atomenergiebehörde, das mit einem supraleitenden Magneten arbeitet.

In den sechziger Jahren wurde die 'Typ-II-Supraleitung' der Legierungen besonders intensiv untersucht. Es gelang, neue Legierungssupraleiter zu entwickeln, die auch in sehr großen Magnetfeldern noch eine große Stromtragfähigkeit besitzen. Bei Typ-II-Supraleitern (Supraleitern 2. Art) gibt es neben dem Meißner-Zustand der völligen Verdrängung des magnetischen Flusses einen Bereich, wo das Feld graduell

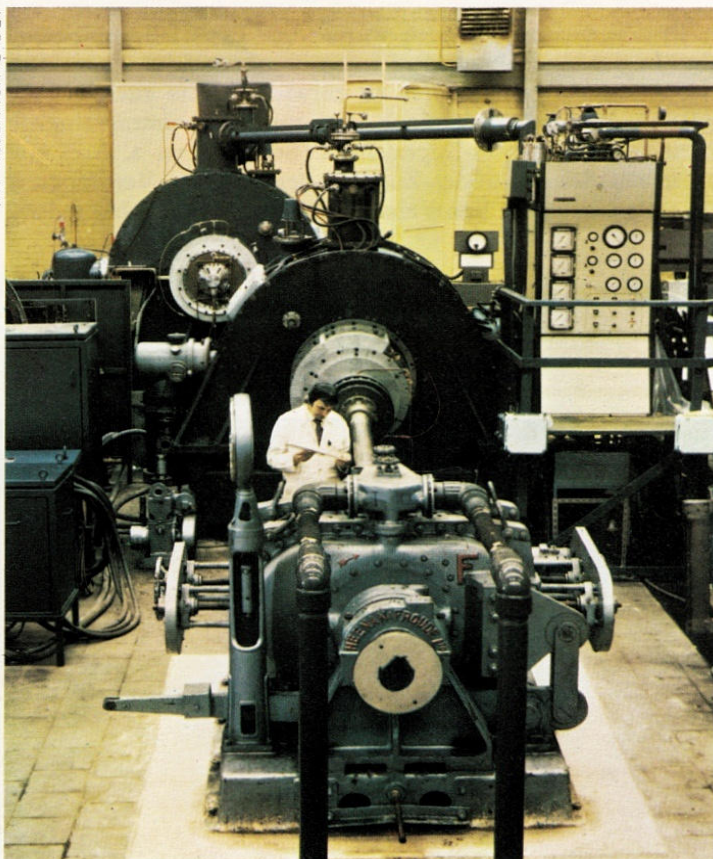
Unten: Dieser supraleitende Magnet produziert ein sehr stabiles Magnetfeld, das ideal für äußerst präzise Instrumente wie z.B. ein kernmagnetisches Resonanzspektrometer ist.



UKAEA



OXFORD INSTRUMENTS



Oben: Eine Antriebseinheit mit supraleitendem Gleichstromgenerator und -motor. Der Motor ist ähnlich wie ein konventionelles Gleichpolgerät gebaut. Störende Wirbelstromverluste werden durch eine geeignete Konstruktion der Scheibe verringert.

in die Probe eindringt (in Form von vielen dünnen 'Flußfäden'). Fließt ein Transportstrom durch diesen 'gemischten Zustand', so wird durch die sogenannte Lorentz-Kraft eine Bewegung der Flußfäden verursacht, die zu Verlusten führt. Durch geeignete Herstellungsbedingungen und Behandlungsmethoden gelingt es jedoch, Baufehler, z.B. Versetzungen und Ausscheidungen, in Typ-II-Supraleitern zu erzeugen, die die Flußfäden verankern. Damit läßt sich der kritische Strom (die maximale Strombelastbarkeit für verlustfreie Leitung) enorm steigern (man spricht von 'harten' Supraleitern).

Die wichtigsten harten Supraleiter sind Legierungen auf Niobbasis. Das Metall Niob hat die höchsten kritischen Daten aller Elemente ($T_c = 9,2 \text{ K}$; $H_c = 1,59 \cdot 10^5 \text{ A/m}$, entsprechend einer Kraftflußdichte von $0,2 \text{ Tesla}$). Die anfänglich oft benutzten Niob-Zirkon-Legierungen sind heute in praktischen Anwendungen von Niob-Titan-Legierungen verdrängt worden, die duktiler (leichter verformbar) und einfacher zu bearbeiten sind. Die Legierung wird kommerziell in Form von feinen, gegeneinander verdrehten Drähten hergestellt, die in eine Kupfermatrix eingebettet sind. Das umgebende Kupfer stabilisiert mit seiner guten Wärmeleitfähigkeit den Supraleiter, falls irgendwo eine kleine Region normalleitend wird und Wärme entsteht.

Einige der besten Typ-II-Supraleiter sind spröde, schwer zu bearbeiten und zeigen Eigenschaften, die stark von Konzentrationsschwankungen beeinflusst werden. Die Entwicklung dieser Materialien (z.B. Niob-Zinn, $T_c = 18 \text{ K} = -255^\circ\text{C}$) für den praktischen Einsatz ist dem Erfindungsreichtum und der Zusammenarbeit von Physikern, Metallurgen und Ingenieuren zu verdanken. Für Niob-Aluminium-Germanium, mit 23 K ein Material mit noch höherem T_c , bedarf es noch

einiger Anstrengungen, um die praktische Verwendung zu ermöglichen.

Anwendungen der Supraleitung

Heute beschränkt sich die Anwendung supraleitender Materialien vor allem auf die Erzeugung sehr hoher Magnetfelder. Der Supraleiter, als Draht oder Band, wird als Spule gewickelt und in einem Kryostaten auf die Temperatur des flüssigen Heliums ($4,2 \text{ K}$) abgekühlt. Kleine Magnete dieser Art werden in vielen Laboratorien benutzt, um Kraftflußdichten bis zu 14 Tesla in relativ kleinen Volumina zu erzeugen, aber für niedrigere Felder sind auch erheblich größere Anlagen gebaut worden. Sie finden vor allem in der Kernphysik Verwendung, wo sie zur Ablenkung von Strahlen geladener Elementarteilchen und zur Erzeugung von Magnetfeldern für 'Blasenkamern' (in denen man die Bahnen von Elementarteilchen sichtbar machen kann) dienen. Ein großer Magnet für eine Blasenkammer in den USA hat einen Durchmesser von 5 m und liefert eine magnetische Flußdichte von 2 Tesla . Zu seinem Bau wurden etwa 50 Tonnen Leitermaterial verbraucht. Der Vorteil supraleitender Magnete gegenüber konventionellen Elektromagneten liegt in der höheren erreichbaren Feldstärke bzw. der geringeren Masse und den geringeren Abmessungen bei gleicher Feldstärke, aber auch in ihrem wesentlich geringeren Energieverbrauch im Einsatz. Nach der anfänglichen Abkühlung auf die Arbeitstemperatur wird der größte Teil der aufzuwendenden Energie nur noch zur Kühlung der Zuleitungen benötigt. Der Einsatz von supraleitenden Magneten in Teilchenbeschleunigern macht gute Fortschritte, obwohl bei den dabei benötigten schnell veränderlichen Feldern Energieverluste durch Bewegung der Flußfäden auftreten.

Supraleitende Kabel

Supraleitende Kabel zur Energieübertragung über große Entfernungen bieten eine ernstzunehmende Alternative zu den heutigen Überlandleitungen und Erdkabeln. Wegen der auftretenden Wechselstromverluste ist jedoch noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. Man hat beispielsweise dünne supraleitende Drähte mit sehr guter Oberflächenbearbeitung hergestellt und gewisse Erfolge in der Reduzierung der Verluste erzielt. Trotzdem bleiben noch einige Schwierigkeiten, wie die zuverlässige Kühlung über die gesamte Länge der Kabel, die Herstellung geeigneter thermischer Isolation und die Behebung von Kurzschlüssen. Bisher sind nur kurze Laborstrecken getestet worden.

Motoren und Generatoren

In einem englischen Labor ist ein Elektromotor mit 2424 kW Leistung mit einem supraleitenden Magneten als Feldspule entwickelt worden. Er wird so betrieben, daß ein hoher Strom durch einen scheibenförmigen Leiter fließt, während das Magnetfeld eingeschaltet ist. Dadurch wird auf die Scheibe ein Drehmoment ausgeübt, das sie in Drehbewegung setzt. Die Geschwindigkeit hängt vom Erregerstrom ab. Der Prozeß kann auch umgekehrt werden: Durch Drehen der Scheibe läßt sich ein Strom in radialer Richtung erzeugen.

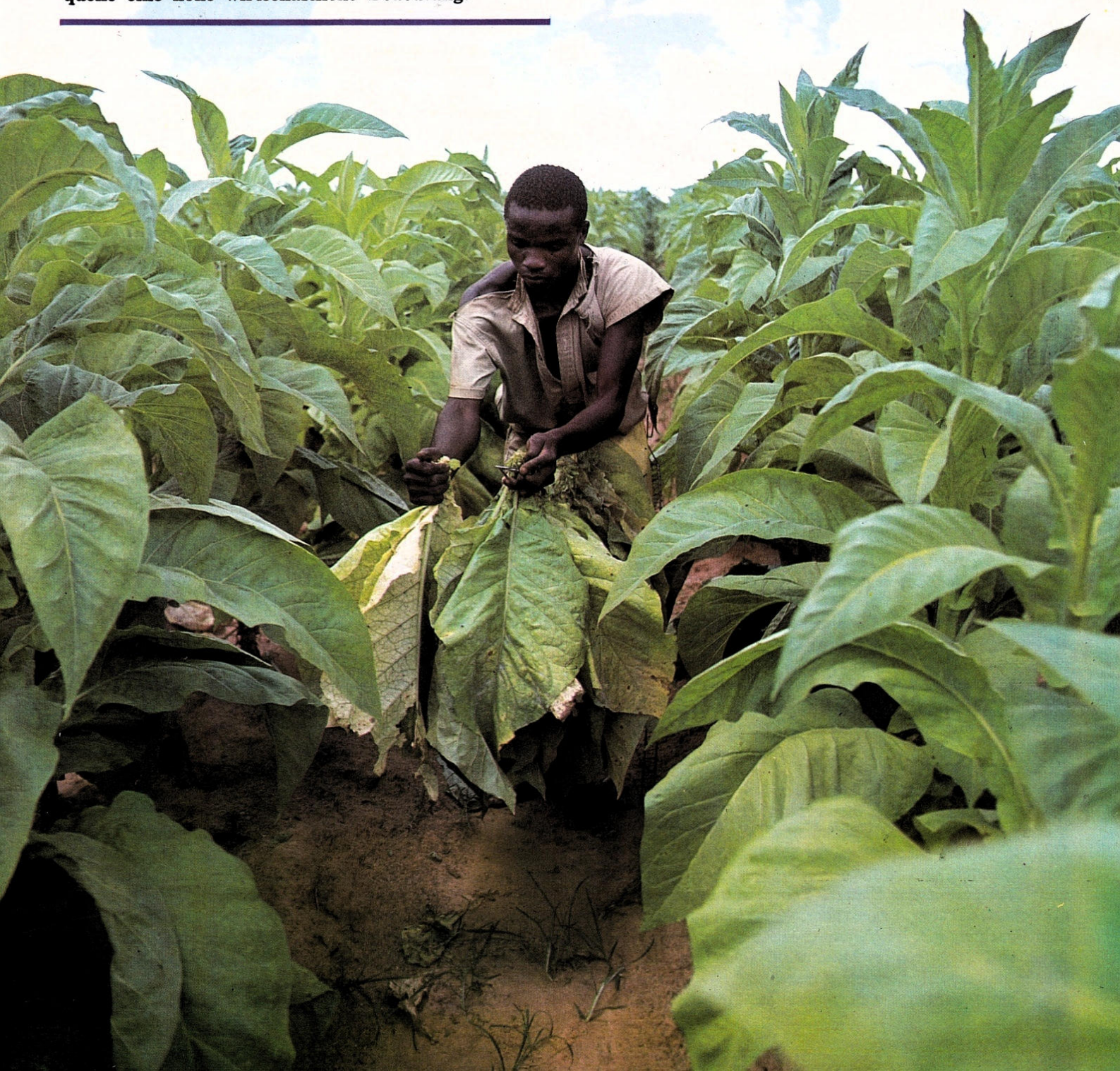
Andere Anwendungen

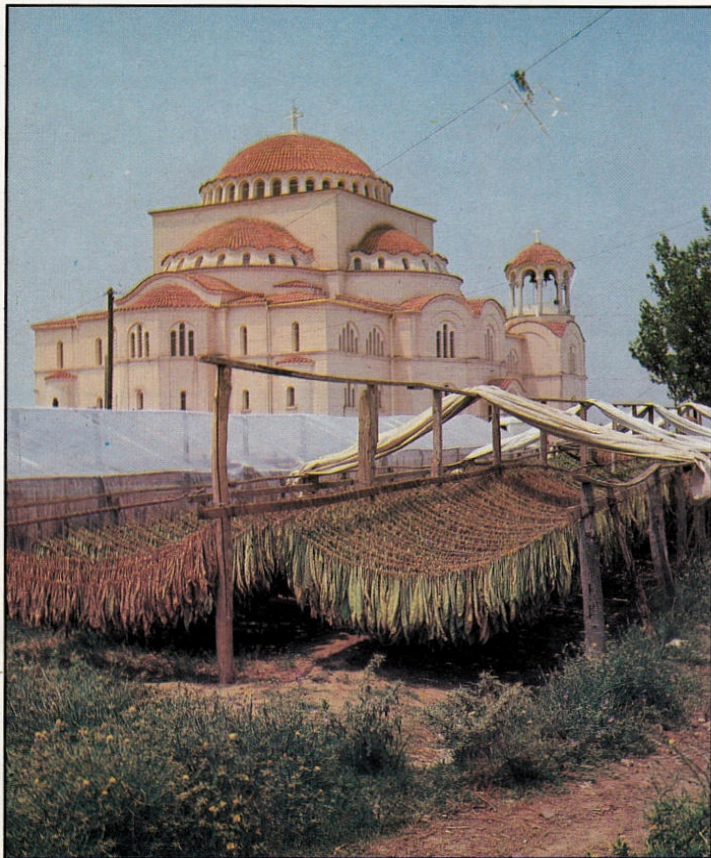
Viele andere supraleitende Geräte sind in den vergangenen 20 Jahren konstruiert worden, allerdings nicht in großer Zahl. Darunter finden sich Schaltelemente und Speicher für Computer ('Kryotron' und 'Crowe-Zelle'), Bolometer für die Messung infraroter Strahlung und das 'SQUID', (engl.: 'Superconducting Quantum Interference Device'), das den Josephson-Effekt zu elektrischen Präzisionsmessungen nutzt. Auch im Zusammenhang mit der aktuellen Energiediskussion werden Anwendungen der Supraleitung verstärkt diskutiert.

T

TABAK

Die Welternte von Tabak beträgt etwa 5 Milliarden kg pro Jahr. Für viele Länder hat der Tabak entweder als vermarktbare Ernte oder als Steuer-Einnahmequelle eine hohe wirtschaftliche Bedeutung.





Tabak wird in vielen Mittelmeerländern angebaut, unter anderem in Griechenland. Hier sind zum Trocknen aufgehängte Tabakblätter in Agninion, Griechenland, zu sehen.

Die Ursprünge des Tabakgenusses reichen bis in die Mayakultur Mittelamerikas im 1. Jahrhundert v. Chr. zurück. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts wurde der Tabak von den beiden Franzosen Nicot und Thevet nach Europa gebracht. Am Anfang wurden die Tabakblätter in der Pfeife geraucht, bis gegen Ende des 17. Jahrhunderts das Schnupfen von Tabak beliebter wurde. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der größte Teil des Tabaks in Form von Zigarren geraucht. Obgleich Zigaretten bereits im 16. Jahrhundert in Spanien bekannt waren, dauerte es doch bis zur Patentierung einer Maschine zur Herstellung von Zigaretten im Jahre 1880 durch den Amerikaner James Bonsack, ehe die Zigarette in der ganzen Welt zur beliebtesten Form des Tabakgenusses wurde.

Tabak ist immer, insbesondere in seiner Genußform als Kautabak, mit anderen Aromastoffen gemischt worden. Heute wird der Tabak für die folgenden, in der Reihenfolge ihrer Bedeutung aufgeführten Zwecke benutzt: maschinell hergestellte Zigaretten, Päckchentabak zum Selbstdrehen von Zigaretten, Pfeifentabak, Zigarren, Schnupf- und Kautabak.

Zigaretten

Die ersten Zigarettenraucher waren die spanischen Bettler des 16. Jahrhunderts, die gesammelte Zigarrenstummel zerkleinerten und den so gewonnenen Tabak in Papier rollten. Die wichtigsten Schritte bei der fabrikmäßigen Herstellung von Zigaretten sind je nach voraufgegangener Trocknungs- und Transportart der Blätter: Feuchten und Entrippen der getrockneten Blätter, Lagern oder Nachreifen mit anschließendem Feuchten z.B. im Vakuum, Mischen der verschiedenen Arten und Qualitäten im Mischturn, Schneiden der Tabakblätter mit anschließendem Pressen und Wiederzerkleinern des Schnitt-Tabaks durch rotierende Messer, Rösten des

Schnitt-Tabaks in der Rösttrommel, Kühlen und abschließendes Einführen in die Formatkammer der Zigarettenmaschine (siehe ZIGARETTENHERSTELLUNG).

Zigarettentabak in Päckchen

Die wesentlichen Schritte zur Herstellung von Tabak in Päckchen — zum Selbstdrehen von Zigaretten — entsprechen den ersten Produktionsgängen bei der Zigarettenherstellung. Die Tabakblätter (Rohtabak) werden auf mehr oder weniger gleiche Art vorbehandelt, gemischt, geschnitten und getrocknet; anschließend werden unmittelbar vor dem Verpacken Aromastoffe zugesetzt.

Abschließend wird der Schnitt-Tabak automatisch gewogen und zu einer Maschine geleitet, die den Tabak in vakuumverschlossene Dosen oder in papierbeschichtete Polyethylenbeutel füllt, die anschließend in Verpackungsmaschinen durch Heißsiegeln verschlossen werden.

Pfeifentabak

Fast alle Pfeifentabak-Sorten werden genauso wie der Zigarettentabak entweder in unterdruckverschlossene Dosen oder heißgesiegelte Folienbeutel verpackt. Die bedeutendsten Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten ergeben sich aus den verwendeten Tabaksorten, den Verfahren, die sie durchlaufen, oder aus den verschiedenen, in einige Päckchensorten eingebrachten Aromastoffen.

Feinschnitt wird auf etwa die gleiche Weise wie Zigarettentabak zum Selbstdrehen hergestellt, obgleich es auch gebräuchlich ist, Tabakblätter vor dem Schneiden, Versetzen mit Aroma und Trocknen in einer Hydraulikpresse zusammenzupressen.

Krüllschnitt entsteht, nachdem eine vorher festgelegte Gewichtsmenge Tabakblätter in Formen gelegt und während eines bestimmten Zeitraumes gepreßt wird. Die sich hierbei bildenden festen Platten, deren Abmessungen ungefähr $46 \times 46 \times 4 \text{ cm}^3$ betragen, werden anschließend in Hydraulikpressen gelegt, wo sie entweder verschiedenen Drücken unterworfen oder der Wärme ausgesetzt werden. Zuletzt wird der Tabak maschinell in senkrecht verlaufende Scheiben geschnitten.

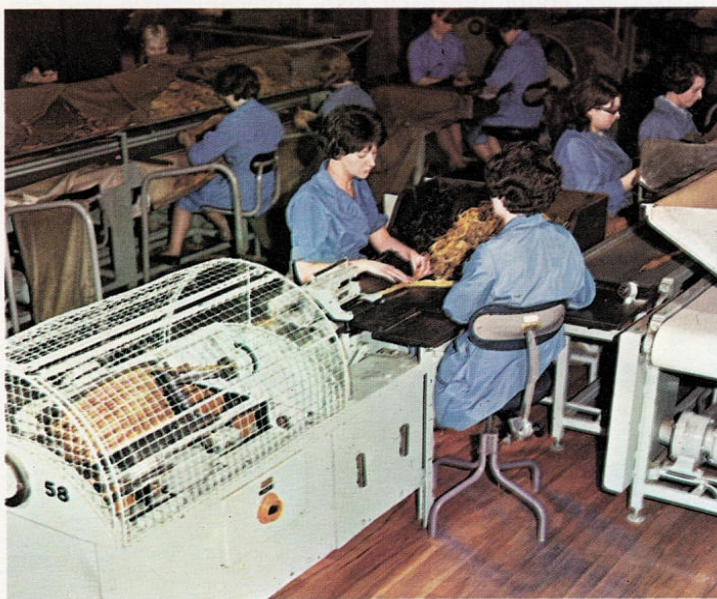
Röllchen und die sogenannten 'Navy-cut' Tabake werden ähnlich wie Krüllschnitt-Sorten zunächst von aus Platten herausgeschnitten oder von besonders gepreßten und ausgeformten, 46 cm langen Tabakstangen mit einem Durchmesser von 4,5 cm abgeschnitten. Die 'Navy-cut' Tabake werden vor der Einbringung in Kaltpressen oft mit der Hand mit besonders ausgewählten Blättern umhüllt und schließlich in Scheiben geschnitten. Die Röllchen werden manchmal unter Druck in kleine, sich in Trockenöfen befindende Schließpressen gefüllt, die den Tabak 'backen', bevor die Pressen geöffnet werden und der Tabak zum Schneiden herausgenommen wird.

Bei 'Mixture' handelt es sich um eine Mischung grob geschnittener Tabake, zu deren Rezeptur im allgemeinen helle, heißluftgetrocknete Virginia-Sorten und sehr dunkle Cavendish-Tabake — dunkle, sonnen- oder luftgetrocknete Tabake, die vor dem Schneiden und Mischen mit Aromastoffen versetzt und stark geröstet werden — gehören.

Zur Herstellung von Strangtabak werden Tabakröllchen mit geeignetem Durchmesser auf einer Spinnmaschine zu kleinen Spiralen gedreht. Der Maschinenführer verdreht die einzelnen Tabakblätter mit der Hand zu länglichen Schnüren, die der Spule der Maschine zugeführt werden. Durch die schraubenförmige Bewegung werden die Spiralen dann zu einer festen Rolle (Strang) gedreht. Einige Stränge werden zur besseren Haltbarkeit mit Leinwand oder Schnur umwickelt und vor dem Schneiden gepreßt bzw. im Ofen getrocknet. Andere Stränge werden vor dem Schneiden mit besonders ausgewählten Blättern umwickelt und nur leicht gepreßt.



Unten: Das 'Spinnen' von Pfeifentabak in einer tabakverarbeitenden Fabrik. Nach diesem Prozeß wird das Erzeugnis 'Röllchentabak' genannt.



Links: Einige Tabakerzeugnisse werden zu Stangen oder Platten gepreßt und anschließend zugeschnitten. Im Bild eine Schneidemaschine mit senkrechtem Messer.

Kautabak

Kautabak ist ein Tabakerzeugnis aus dickblättrigem, stark nikotinartigem Schwergut, das oft mit Blauholzextrakt geschwärzt und von eingedickten Zigarrentabaklaugen in einen aromatisch-klebrigen Zustand versetzt wird. Kautabak ist sowohl in Form von Preßlingen, von denen die benötigte Menge abgeschnitten wird, als auch als Kau-Feinschnitt und in Form von Röllchen oder Stangen erhältlich.

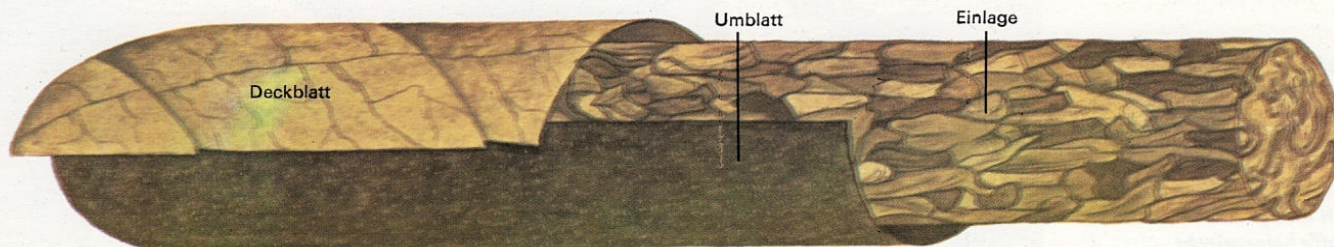
Zigarren

Zigarren bestehen aus drei Teilen: Der Einlage oder Puppe, dem Umblatt (entweder ein von homogenisiertem Bandtabak



Oben: Auflegen des Deckblatts auf die Schneidplatte der Wickelmaschine. Das Deckblatt bildet die äußere Hülle der Zigarre und ist in der Regel ein vollständiges Blatt von bester Qualität. Das Blatt wird mittels Saugluft in seiner Lage festgehalten.

Unten: Eine Zigarre besteht aus drei Teilen: der Einlage, dem um sie herumgewickelten Umblatt und dem äußeren Deckblatt. Die Einlage ist eine Mischung vieler verschiedener, zur Erzielung des gewünschten Geschmacks und Aromas ausgewählter Tabaksorten. Das Umblatt ist entweder ein einzelnes, starkes Blatt oder ein von einer Rolle Bandtabak abgeschnittenes Stück. Das Deckblatt, ein einzelnes, besonders ausgewähltes Blatt, ist das teuerste Stück Tabak, das zur Herstellung der betreffenden Zigarre verwendet wird.



abgeschnittenes oder ein naturbelassenes Blatt) und dem Deckblatt, das grundsätzlich ein Naturblatt guter Qualität ist. Das Zigarrenwickeln, früher ein Spezialberuf, wird heute zumeist von halb- oder vollautomatischen Maschinen durchgeführt. Somit gibt es zwei wesentliche Verfahren zur Herstellung einer Zigarre: Entweder werden durch Dampfnebelwirkung gelockerte, gefeuchtete und gekappte (kabochierte) Einzelblätter von Hand stabförmig aufgewickelt, zur Puppe geformt und anschließend mit Umblatt und Deckblatt versehen oder es wird auf der Strangmaschine unter Zugabe des Rippentabaks von einem aus Tabakstückchen bestehendem Flies auf einem endlosen Tisch die Puppe geformt, mit Bandtabak umschlossen und mit einer Längsnaht verklebt. Die so hergestellten Wickel werden an den Enden (Mund- und Brandende) zugeschnitten und auf der Zigarrenmaschine in die sorgfältig zugeschnittenen und auf beiden Seiten der

Maschine aufgestapelten Deckblätter gerollt. Bei diesem Vorgang führt die Wicklerin jedes Blatt einzeln über eine Schneidplatte der Maschine, wo es in Streifen geschnitten und anschließend spiralförmig um den Wickel gedreht wird. Die jetzt fertigen, noch feuchten Zigarren werden getrocknet und in Verpackungsmaschinen einzeln mit Zellglas umhüllt, ehe sie versandfertig in Kistchen verpackt werden.

Rippen und andere Abfallteile des Tabaks werden manchmal auf ähnliche Weise wie bei der Papierherstellung verarbeitet, um den für das Umblatt benötigten Bandtabak zu erhalten. Deckblätter bestehen nur selten aus Bandtabak.

Schnupftabak

Nach dem Mischen wird er Schnitt-Tabak zu einem grobkörnigen Pulver vermahlen, erneut angefeuchtet und nach einigen Stunden das Vermahlens gesiebt. Das Pulver läßt man unter Zugabe von Ölen und Aromastoffen in Fässern reifen. Einige Schnupftabak-Sorten werden zur Erzielung eines besonderen Aromas während der Verarbeitung geröstet oder fermentiert. Das Endprodukt wird in Päckchen oder kleine Dosen verpackt.

Heute wird der größte Teil des Tabaks zur Zigarettenherstellung verwendet, da der Zigarettenverbrauch mit der wirtschaftlichen und industriellen Entwicklung einer Nation gefährlich ansteigt. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde eine Zunahme der Erkrankungen an Lungenkrebs offensichtlich. Anfänglich wurde diese Tatsache den verbesserten Diagnoseverfahren zugeschrieben, jedoch zeigte es sich bald eindeutig, daß besonders bei Zigarettenrauchern eine Verbindung zwischen der Entstehung des Krebses und dem Tabakgenuss besteht. In einigen Ländern wurde die Werbung für Zigaretten durch das Fernsehen verboten; Zigarettenhersteller beteiligten sich finanziell an der Krebsforschung und beschäftigten sich mit Planungen des Übergangs auf andere Produktionszweige für den Zeitpunkt, da ihre Gewinne am Tabak zurückgehen werden. Zur Herabsetzung von Rauchkondensat und Nikotingehalt wird von einigen Zigarettenherstellern auch Tabakersatz in Form von gereinigter Zellulose zugesetzt. Der Tabakersatz ergibt praktisch kein Kohlenmonoxid und ein Drittel bis ein Siebtel weniger Rauchkondensat als Tabak. Solche 'künstlichen' Zigaretten haben sich jedoch nicht als verkäuflich erwiesen.



Oben: Zigarrenwickeln per Hand in Jamaika. Als diese Art der Produktion noch üblich war, pflegten die Zigarrenwicklerinnen eine Vorleserin zu haben, die sie während der eintönigen Arbeit unterhielt. Heute ist das Handwickeln wegen der Konkurrenz durch die Maschinen fast überall ausgestorben.



Rechts: Um dem Schnupftabak ein typisches Aroma und einen eigenen Geschmack zu vermitteln, werden ihm, wie hier gezeigt wird, Essenzen und pharmazeutische Wirkstoffe beigemischt.

Erfindungen 52: TOILETTEN MIT WASSERSPÜLUNG

Um das Jahr 1775, als die erste Toilette mit Wasserspülung (Wasserklosett, Spülabort) patentiert wurde, stieg infolge der zunehmenden Auswirkungen der Industriellen Revolution der Zustrom der Landbevölkerung in die Städte stetig an, während sich andererseits die sanitären Verhältnisse der Städte seit dem Mittelalter nur geringfügig verbessert hatten. Es sollten noch einhundert Jahre vergehen, bis die Erbauer neuer Häuser gesetzlich zum Einbau sanitärer Einrichtungen verpflichtet wurden. Während dieser Zeit hat man fast ausschließlich eine von Joseph Bramah konstruierte Toilette benutzt. Selbst nach 1900, als mit fließendem Wasser versorgte sanitäre Anlagen schließlich die Regel waren, wurden noch immer verbesserte Ausführungen seiner Toilette installiert. So hatte um 1800 ein Viertel aller Häuser in London Spülaborte (WC), und in Berlin besaßen im Jahre 1871 9% der Grundstücke Wasserklosetts.

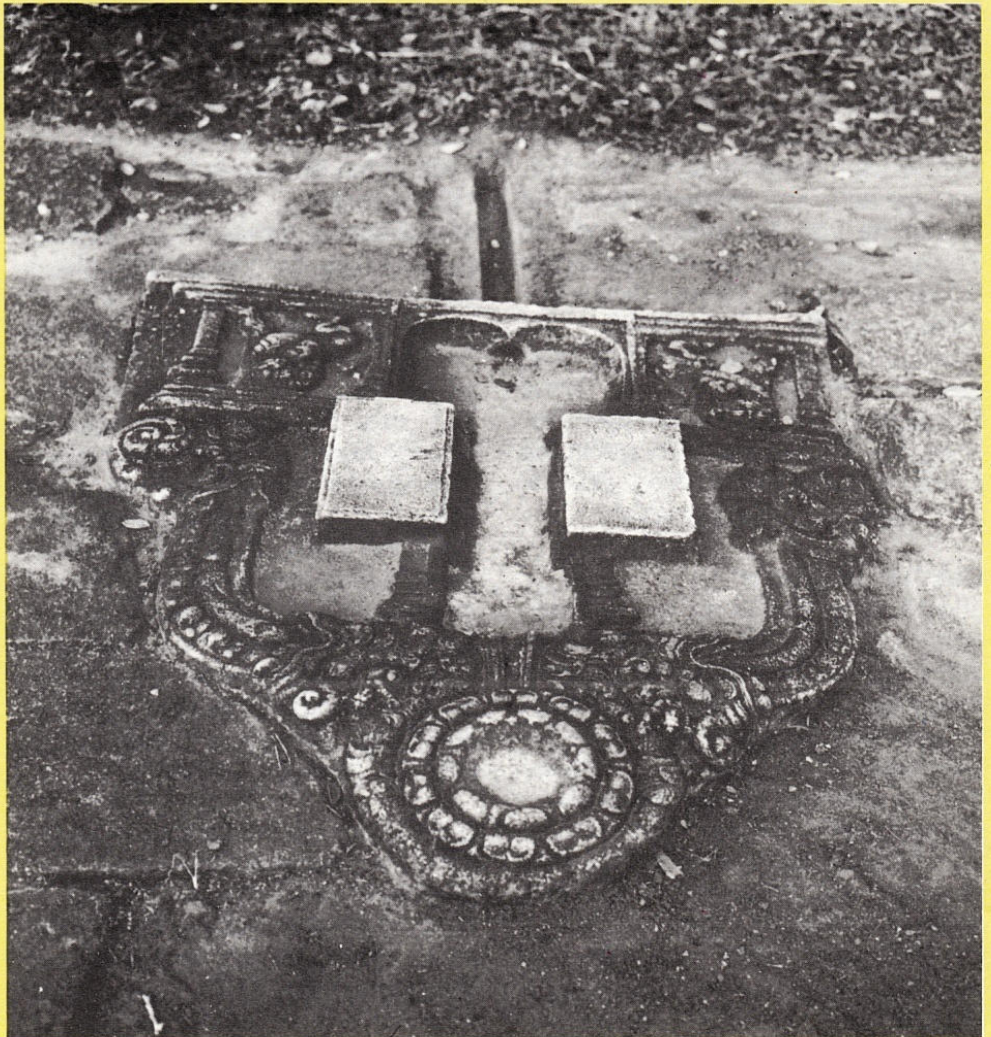
Sanitäre Anlagen des Mittelalters

Zu einer zufriedenstellend funktionierenden sanitären Einrichtung mit Wasserspülung gehören Vorrichtungen zur Zuleitung des Spülwassers, ein Toilettenbecken und Vorrichtungen zur Einleitung des Spülwassers bzw. zur Ableitung des die Fäkalien fortführenden Schmutzwassers. Die einfachsten Formen, wie z.B. die in Burgmauern direkt über Flüssen angebrachten Durchbrüche, sind zwar seit altersher bekannt, wurden aber nur in sehr begrenztem Maße benutzt. Das Fehlen sanitärer Entsorgung selbst in kleinen Gemeinwesen führte zum Auftreten von Epidemien.

In den Städten wurden von den

Oben rechts: Eine Lösung sanitärer Probleme im 10. Jahrhundert in einem Tempel in Sri Lanka.

Rechts: Das Leben im 18. Jahrhundert war weniger vornehm, als wir es uns vorstellen. Wie dieses Bild von Hogarth andeutet war es oft unhygienisch und von üblen Gerüchen begleitet.



ROGER VIOLET



JOHN FREEMAN

ärmeren Klassen in der Regel die Rinnsteine zur Aufnahme ihrer Ausscheidungen benutzt, und eine Reihe schon frühzeitig unternommener Versuche, das unbefugte Ausleeren von Fäkaliengefäßen an beliebigen Orten zu verhindern, blieben nahezu vollständig ohne Erfolg.

Das erste Wasserklosett

Der Bau eines Wasserklosetts wurde im Jahre 1596 von Sir John Harington, einem Taufpaten von Königin Elizabeth I, beschrieben und zeichnerisch dargestellt. Zu dem Klosett gehörte ein Wasserbecken zur Entnahme von Spülwasser und ein Stöpsel (Ventil) im Boden des Topfes (Klosettschüssel). Wegen dieser bemerkenswerten Vorrichtung gilt Harington als der anerkannte Erfinder des Ventilklosetts. Da es keine Möglichkeit zur weitergehenden Beseitigung der Fäkalien gab, geriet die Erfindung bis etwa Anfang des 18. Jahrhunderts in Vergessenheit.

Das Ventilklosett

Joseph Bramah ließ seine Konstruktion im Jahre 1778 patentieren. Drei Jahre zuvor war dem Uhrmacher Alexander Cumming das erste Patent für ein Wasserklosett — ebenfalls ein Ventilklosett — zuerkannt worden. Cumming bezeichnete seine Konstruktion als 'auf einer Neukonstruktion beruhendes Wasserklosett' und bestätigte damit das Vorhandensein anderer Spülabort-Typen. Er wollte gewährleisten, daß das stehende Wasser des bereits im Jahre 1775 erfundenen 'Geruchsverschlusses' nach jedem Spülvorgang vollständig durch sauberes Wasser ersetzt wurde.

Das Ventilklosett mußte zur Abstützung der verschiedenen Ventile und Hebel sowie zum Verbergen der für das Auge nicht gerade erfreulichen Anlage mit einem hölzernen Rahmen und einer Verkleidung versehen werden. Bramah, der von Beruf Möbeltischler war, baute die Cumming'schen Wasserklosetts in London ein. Als er erkannte, daß eine Übelkeit erregende Verschmutzung des im Boden des Sitzbeckens benutzten Schieberventils unvermeidbar war, ersetzte Bramah es durch ein sich nach unten öffnendes Scharnierventil (Klappenventil). Durch den im Wasserklosett verlaufenden Spülvorgang wurde die Ventilfläche gleichzeitig gereinigt. Überdies war das Ventil so angebracht, daß nach dem Schließen eine kleine Menge sauberen Wassers in dem abführenden Teil des Sitzbeckens zurückblieb. Bramah beschrieb seine Erfindung so: 'Die Absicht und der Zweck des unterhalb des Sitzbecken-Bodens angebrachten Ventils liegt darin, daß an dieser Stelle eine geeignete Wassermenge zurückbleibt, wodurch jegliche Weiterleitung von Gerüchen oder Gestank vermieden wird, zu der es sonst durch Aufsteigen derselben durch den Abfluß, die Abflußrohre oder die Senkgrube kommt.'

Das Klosett von Sir John Harington (links) war durchaus zweckentsprechend und wurde in Königin Elizabeths Palast in Richmond eingebaut. Joseph Bramahs Wasserklosett aus dem Jahre 1778 (rechts): Durch Anziehen des Griffs F wurde das Wasserkastenventil geöffnet, so daß gespült wurde.

Bramah setzte ein zweites Klappenventil am Wasserbecken (Spülkasten) an. Das federbelastete Ventil war so angeordnet, daß es während der Bewegung nicht von Wasser überströmt wurde. Hierdurch sollte verhindert werden, daß die Ventilbewegung durch Eisbildung während Frostperioden verhindert werden konnte. Die Lage des Ventils unter dem Spülkasten dagegen gewährleistete die Zufuhr der 'geeigneten Wassermenge' über das Zulaufrohr, das seinen Inhalt nach gleichzeitigem Schließen beider Ventile in das Toilettenbecken ausströmen ließ. Das unter dem Sitzbecken angeordnete Ventil wurde durch einen federbelasteten Hebel, der wiederum mit einer an der Scharnierwelle angesetzten Kurbel verbunden war, im geschlossenen Zustand gehalten. Zog man einen mit dem Hebel verbundenen Metallstab nach oben, öffnete sich das unter dem Sitzbecken befindliche Ventil sofort und öffnete seinerseits gleichzeitig das Spülkasten-Ventil über eine aus Draht und Hebeln bestehende Vorrichtung. Das anschließende Hinunterdrücken des Metallstabes bewirkte ein Schließen beider Ventile durch Federkraft. Aus der Patentzeichnung ist ersichtlich, daß Bramah das Spülwasser zur Vermeidung eines Herumspritzens hinter einem Abweiser bzw. einer Prallwand im oberen Bereich des Toilettenbeckens in das Sitzbecken einströmen ließ.

Nur verhältnismäßig langsam wurde das Ventilklosett aufgrund der Kosten für die Ventile und den Ventilmechanismus von einfachen Anlagen verdrängt.

