

WIE GEHT DAS

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



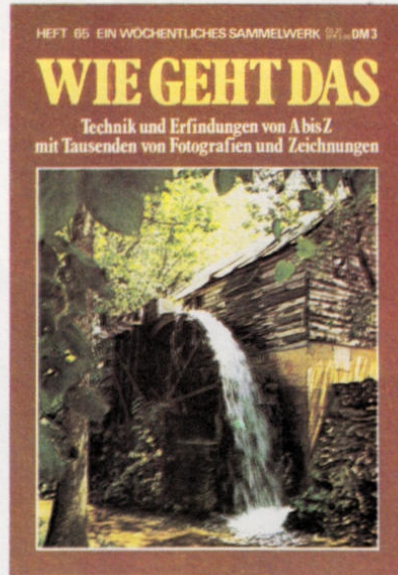
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Verpackungs- maschinen	1765
Verschuß, fotografischer	1770
Verstärker	1772
Videoaufnahmen	1775
Voltmeter	1781
Waagen und Wägemaschinen	1784
Walzen von Metall	1790

In Heft 65 von Wie Geht Das



Das Wasserrad wurde zum ersten Mal vor zweitausend Jahren im Römischen Reich benutzt. Später lieferte es die Antriebskraft für die ersten europäischen Industriemaschinen. Lesen Sie in Heft 65 von Wie Geht Das, wie die Wassermühle zur Industriellen Revolution beigetragen hat.

Der von Dr. Felix Wankel in Deutschland entwickelte Wankelmotor ist eine kompakte, schwingungsfreie Alternative zum konventionellen Verbrennungsmotor. Lernen Sie in der nächsten Ausgabe von Wie Geht Das, wie der Wankelmotor funktioniert.

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.

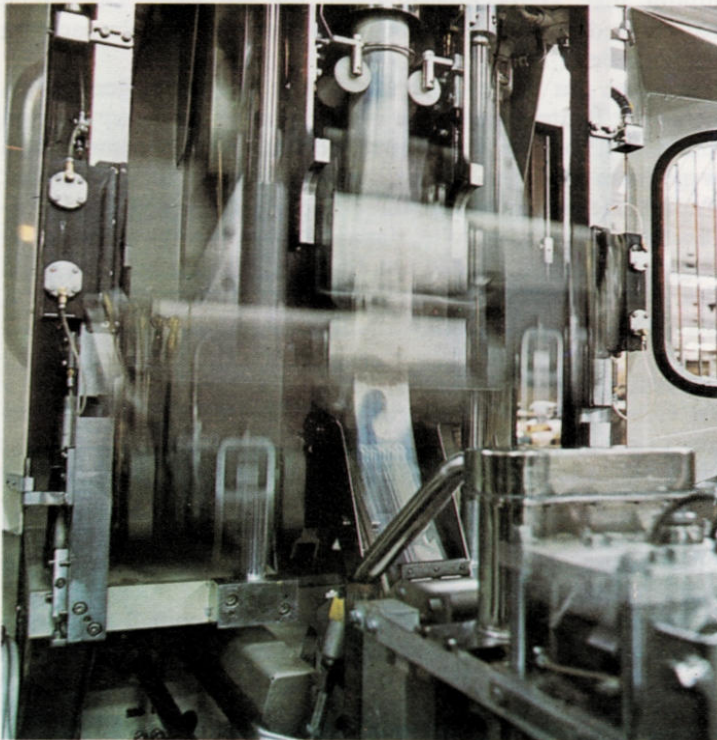
Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Sammelordner schnell und sicher bekommen. Überweisen Sie durch Ihre Bank, so muß die Überweiskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.



VERPACKUNGSMASCHINEN

Verpackungsmaschinen sind in der modernen konsumorientierten Gesellschaft, in der das Einfüllen, Verschließen und Verpacken von Waren mit der Hand zu langsam, zu teuer und für diejenigen, die diese Arbeiten auszuführen hätten, auch wenig attraktiv ist, eine absolute Notwendigkeit.

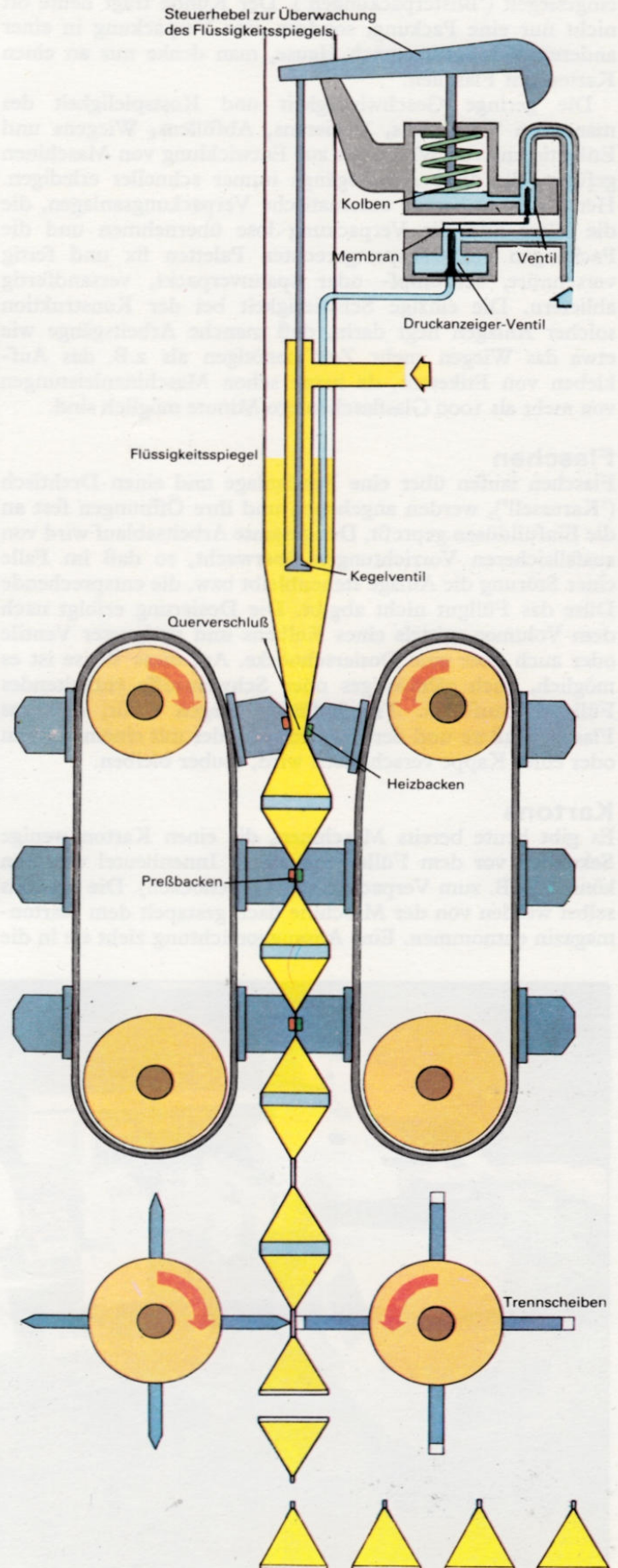
Konstruktion und Betrieb von Verpackungsmaschinen machen das Zusammenspiel ganz unterschiedlicher Bereiche von Wissenschaft und Technik erforderlich. Nicht nur chemische und arbeitswissenschaftliche Gesichtspunkte, auch Computer, wie sie etwa zur automatischen Steuerung benötigt werden, müssen mehr in Betracht gezogen werden, wenn eine solche Anlage konzipiert und später in Betrieb genommen werden



Oben: Eine kontinuierlich ablaufende Bahn von bereits bedrucktem Verpackungsmaterial wird zu 'Tetra Paks' geformt, dann sterilisiert, gefüllt, geschnitten und verschlossen.

Rechts: Maschine zur Herstellung der bekannten 'Tetra Paks'. Das bedruckte Verpackungsmaterial erhält seine Schlauchform, wenn es über eine druckluftbetriebene Vorrichtung, die den Flüssigkeitsspiegel in dem Schlauch überwacht, nach unten gezogen wird. Sinkt der Flüssigkeitsspiegel zu weit ab, hat dies einen Druckabfall in dem Druckanzeiger zur Folge, wodurch eine Reihe von Ventilen betätigt wird. Diese Ventile sorgen dafür, daß durch Druckluft der Kolben betätigt wird, der über Hebel das Kegelventil nach unten drückt, so daß oben mehr Flüssigkeit in das Metallrohr einlaufen kann. Das Verschließen der Packungen erfolgt mittels paarweise angeordneter Backen, die mit Hitze und Druck arbeiten. Die schematische Darstellung zeigt nur jeweils ein Backenpaar und ein Trennscheibenpaar, tatsächlich sind es jedoch je zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Backenpaare. Da die Packungen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels verschlossen werden, enthalten sie keinerlei Luft. Sie werden automatisch in sechseckige Transportkisten verpackt, die entweder zum ein- oder auch mehrmaligen Gebrauch geeignet sind, und können dann sofort zu den entsprechenden Verbraucherstellen transportiert werden.

soll. Bei einer Verpackung kann es sich um eine Glasampulle handeln, die in steriler Atmosphäre mit einer Injektionslösung gefüllt und verschlossen wird, aber auch um einen Weichholz-Verschlag zum Überseeversand von Kraftfahrzeugen. Zwischen diesen beiden Extremen liegt eine in die Millionen



gehende Vielzahl von Beuteln, Flaschen, Kartons, Tuben, im Spritzguß- oder Warmformverfahren hergestellten Kunststoffbehältern usw. Zum Schutz gegen Diebstahl werden zum Verkauf in Selbstbedienungsläden vorgesehene kleine Waren auf Pappkarten aufgezogen und in eine Kunststoffhülle eingesiegelt ('Blisterpackungen'). Der Kunde trägt heute oft nicht nur eine Packung, sondern eine Verpackung in einer anderen Verpackung nach Hause, man denke nur an einen Karton mit Flaschen.

Die geringe Geschwindigkeit und Kostspieligkeit des manuellen Transports, Dosierens, Abfüllens, Wiegens und Etikettierens von Waren hat zur Entwicklung von Maschinen geführt, die diese Arbeitsgänge immer schneller erledigen. Heute gibt es bereits automatische Verpackungsanlagen, die die Ware und die Verpackung lose übernehmen und die Packungen auf transportgerechten Paletten fix und fertig verschnürt, schrumpf- oder spannverpackt, versandfertig abliefern. Die einzige Schwierigkeit bei der Konstruktion solcher Anlagen liegt darin, daß manche Arbeitsgänge wie etwa das Wiegen mehr Zeit benötigen als z.B. das Aufkleben von Etiketten, da heute schon Maschinenleistungen von mehr als 1000 Glasflaschen pro Minute möglich sind.

Flaschen

Flaschen laufen über eine Bandanlage und einen Drehtisch ('Karussell'), werden angehoben und ihre Öffnungen fest an die Einfülldüsen gepreßt. Der gesamte Arbeitsablauf wird von ausfallsicheren Vorrichtungen überwacht, so daß im Falle einer Störung die Anlage stehenbleibt bzw. die entsprechende Düse das Füllgut nicht abgibt. Die Dosierung erfolgt nach dem Volumen mittels eines Kolbens und geeigneter Ventile oder auch über eine Dosierschnecke. Auf diese Weise ist es möglich, auch zähflüssiges oder Schwebstoffe enthaltendes Füllgut abzufüllen. Tropfenfänger sorgen dafür, daß das Flaschenäußere und der Flaschenhals, der mit einem Korken oder einer Kappe verschlossen wird, sauber bleiben.

Kartons

Es gibt heute bereits Maschinen, die einen Karton wenige Sekunden vor dem Füllen mit einem Innenbeutel versehen können (z.B. zum Verpacken von Püreeflocken). Die Kartons selbst werden von der Maschine flach gestapelt dem Kartonmagazin entnommen. Eine Ansaugvorrichtung zieht sie in die

Maschine, faltet sie zu ihrer rechteckigen Form auf, schlägt die Bodenklappen übereinander, falzt und verschließt sie mit Leim. Die Kartons laufen über ein Transportband zur Gewichtskontrolle, die feststellt, ob Füllgut und Füllmenge stimmen, und werden anschließend auf ähnliche Weise wie vorher an der Bodenseite verschlossen.

Beutel

Beutel werden aus verschiedenen Kunststoffen, Aluminiumfolie, Schichtstoffen und auch aus Papier hergestellt. Sie werden aus einem bereits bedruckten Materialstreifen, der 'Bahn', von elektronisch überwachten Vorrichtungen geschnitten. Für loses Füllgut vorgesehene Beutel verschließt man mit schnelltrocknenden Klebstoffen. Wo unterschiedliche Materialien verwendet werden, wenn Papier oder Pappe auf nur einer Seite mit Polyethylen kaschiert oder beschichtet wird, nimmt man Heißschmelzmassen, die auf jeder Oberfläche haften und in Sekunden abkühlen und so die Verpackung verschließen ('Heißsiegeln').

Zu den am weitesten entwickelten Verpackungen zählen heute die Beutel, wie sie für pulverförmige Fertigsuppen und ähnliche Produkte verwendet werden. Außen nimmt man wegen des geringen Preises und der guten Bedruckbarkeit Papier und innen wegen ihrer Lichtechtheit und Undurchlässigkeit Aluminiumfolie, dazwischen Polyethylen als Heißsiegel. Die Beutel werden aus einer einzigen bedruckten Bahn des Schichtstoffes hergestellt, an drei Seiten verschlossen, gefüllt und unter Hitzeeinwirkung versiegelt.

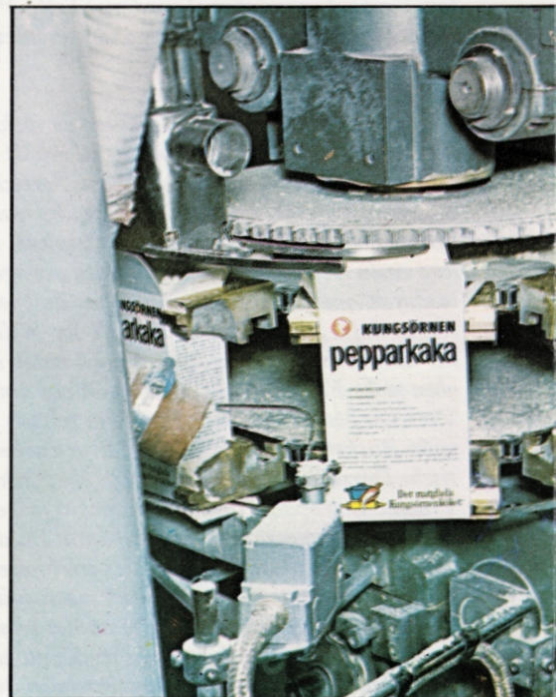
Sonstige Arbeitsgänge

In vielen Fällen sind genaue Füllmengen vom Gesetz vorgeschrieben, es sei denn, es handelt sich um sehr wertvolle bzw. gefährliche Substanzen. Heute ist die Gewichtsdosierung Bestandteil jedes Verpackungsvorganges. Man kennt sogar sogenannte Feedback-Mechanismen, die geringfügige Über- oder Unterschreitungen des geforderten Gewichtes nachträglich korrigieren.

Flaschen und Dosen werden heute maschinell in vorgefertigte Container verpackt. Die Maschinen verwenden dabei vorgestanzte und gefaltete Pappen, in die sie jeweils mehrere Dosen oder Flaschen fest einschlagen, so daß keine Trennwände dazwischen erforderlich sind, um ein Aneinanderreiben der Etiketten zu verhindern. Nebenbei hat eine derart feste



BAKER PERKINS



Verpackung noch den zusätzlichen Vorteil, Transportschäden erheblich zu reduzieren.

Auch die Anbringung von Kontroll-, Haltbarkeits- und Herkunftsstempeln, Datumsangaben usw. kann maschinell erfolgen. Jeweils mehrere verschlossene Kartons oder Flaschen werden von einem Transportband übernommen, wie oben beschrieben verpackt oder auch in eine Kiste, einen großen Karton oder eine Steige sortiert. Die verpackten Einheiten werden dann auf Paletten transportgerecht zusammengefaßt. Für Versandzwecke lassen sich einzelne Packungen oder auch ganze Paletten automatisch in Plastik einsiegeln. Bei der 'Schrumpfverpackung' wird eine Kunststoffolie kalt über die zu verpackende Ware gezogen und dabei gedehnt; unter Einwirkung von Wärme versucht die Folie, ihre ursprüngliche Form wieder anzunehmen ('schrumpfen'). Die 'Spannverpackung' funktioniert ganz ähnlich, allerdings kommt man hier ohne Wärmeeinwirkung aus. In jüngster Zeit haben schwedische und englische Ingenieure ein Verfahren zur Spannverpackung ganzer Paletten-Ladungen entwickelt, um die Ware während des Transports gegen Verschmutzung zu schützen und eventuelle Diebstähle zu erschweren.

Verpackungsanlagen

Im Verpackungswesen geht der Trend mehr und mehr zu ganzen Verpackungsanlagen, bei denen Maschinen und Verpackungsmaterial jeweils von einem Hersteller konstruiert und geliefert werden, der dann auch die Gewährleistung übernimmt. Manchmal handelt es sich bei einem solchen Angebot auch um komplizierte, doppelwandige Kartonagen, die gar

Unten links: Verpacken von Brot. Die Maschine legt jeden Laib in einen Plastikbeutel. Anschließend wird der Beutel mit einem Kunststoffklipp verschlossen.

Unten Mitte: Abfüllen von Schachteln. Nach dem Durchlauf durch das 'Karussell' werden die Verschlusskappen an den Schachteln gefaltet und gefalzt, oder sie werden mit Leim bestrichen.

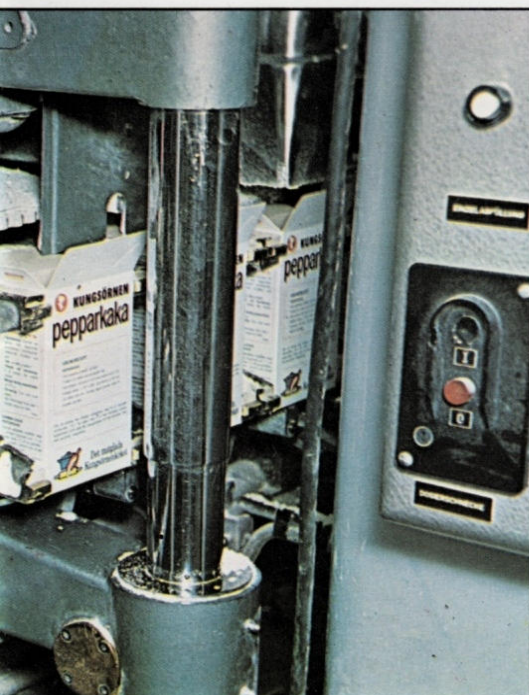
Unten rechts: Automatische Abfüllung von Orangensaft und Verschuß der Behälter.

nicht von Hand gefaltet, gefüllt und verschlossen werden könnten. Die Kartons, in die Zigaretten verpackt werden, werden ebenso wie die Zigaretten selbst und ihre aus drei Schichten bestehenden Packungen auf integrierten Anlagen gefertigt und verpackt, die die vollen Kartons auch gleich noch in Versandkisten ablegen.

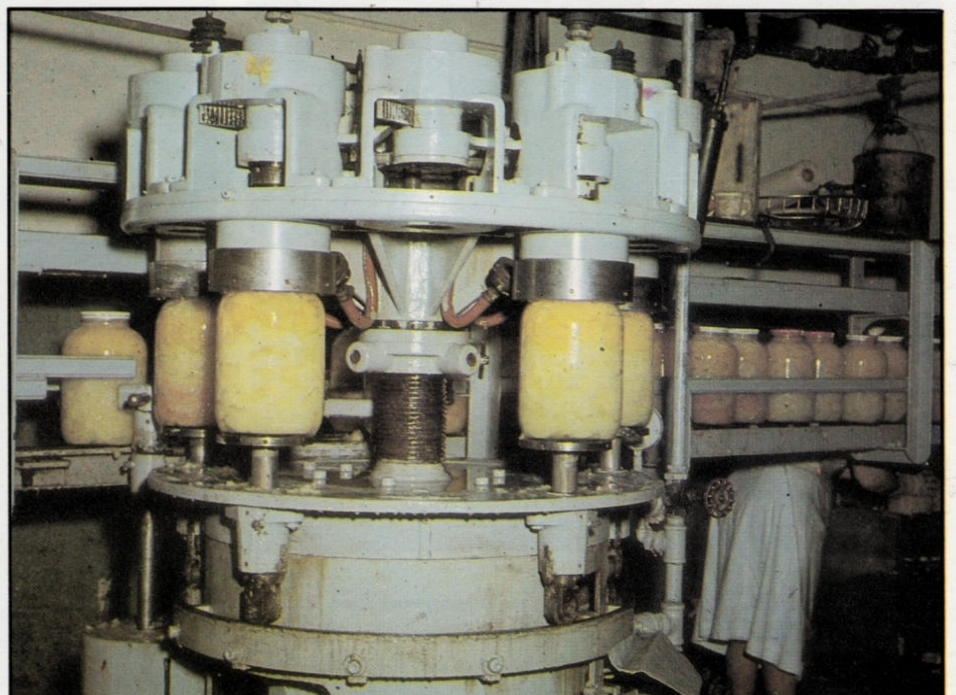
Eines der fortschrittlichsten Verpackungssysteme ist das in Schweden entwickelte, international als 'Tetra Pak' bekannte System zur Verpackung von Milch in der typischen Tetraeder-Packung. Diese Packung wird aus einer von einer Rolle kontinuierlich ablaufenden, bereits bedruckten Materialbahn gefertigt, die über formgebende 'Schultern' auf ein Metallrohr aufgezogen wird, so daß sie am Rand geringfügig übersteht. Durch Wärmeeinwirkung auf den überstehenden Rand erhält man einen durchgehend geschlossenen Schlauch. Dieser wird von zwei Paar im rechten Winkel angeordneten heißen Klemmbacken nach unten gezogen. Läßt man nun oben in das Metallrohr Milch einlaufen, so erhält man unter gleichzeitiger Mitwirkung der heißen Metallbacken, deren Druck ausreicht, um die Milch von der Verschlussstelle wegzudrücken, aus einem Pappschlauch eine bis an den Rand ihres Fassungsvermögens gefüllte Packung. Die Maschine wurde inzwischen soweit weiterentwickelt, daß auf ihr auch rechteckige Milchpackungen aus Pappe in verschiedenen Größen automatisch geformt, gefüllt und verschlossen werden können.

Sterilisiert man diese Packungen, so erhält man, vorausgesetzt, die Milch selbst ist ebenfalls steril und der ganze Vorgang findet in einer abgeschlossenen, sterilen Atmosphäre statt, als Endprodukt verpackte Milch, die ohne Kühlung längere Zeit haltbar ist und sich deshalb für Zeiten starker Nachfrage im voraus produzieren läßt.

Moderne vollautomatische Molkereien sind heute in der Lage, die in Kannen angelieferte Milch auszugießen, die Milchkannen zu retournieren, die Qualität der Milch zu überprüfen, sie, je nachdem, welche Packungsart, -form und -größe verlangt wird, der richtigen Maschine zuzuführen, die Einzelpackungen auf automatisch bereitgestellten Tablettts oder Steigen aus Hartpappe zu stapeln, sie auf Paletten zu transportgerechten Einheiten zusammenzufassen und mit einer Schrumpfverpackung zu versehen. Hierbei werden nur wenige Fachkräfte benötigt, die im wesentlichen Überwachungsfunktionen ausüben.

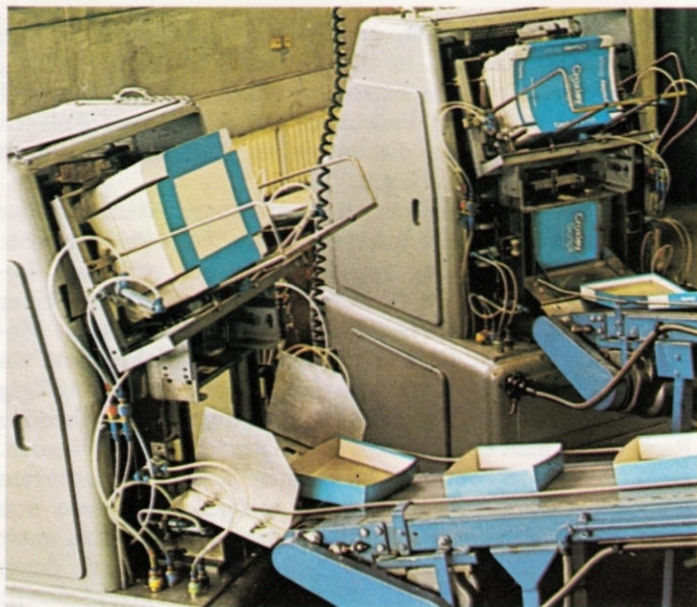


DICKINSON ROBINSON



PHOTRI

DICKINSON ROBINSON



Links: Herstellung von Pappschachteln. Im Magazin oben liegen die flachen Pappstücke zur Entnahme bereit. Die Maschine faltet die Stücke und falzt die Klappen. Die fertigen Schachteln werden anschließend auf einem Transportband abtransportiert.

Unten: Eine Verpackungsmaschine mit Bahnen von bedrucktem Klarsichtpapier, in das Schwarzbrot verpackt wird.

Unten rechts: In der pharmazeutischen Industrie ist es besonders wichtig, daß die Verpackung unter sterilen Bedingungen erfolgt. Hier werden Ampullen verpackt, die zum Injizieren bestimmt sind.

BAKER PERKINS



Oben: Bedrucktes Kunststoff-Verpackungsmaterial für Süßigkeiten. Die Maschine legt eine genau abgemessene Menge an Süßigkeiten auf dem Verpackungsmaterial ab, schneidet es zurecht und verschließt es rundherum.

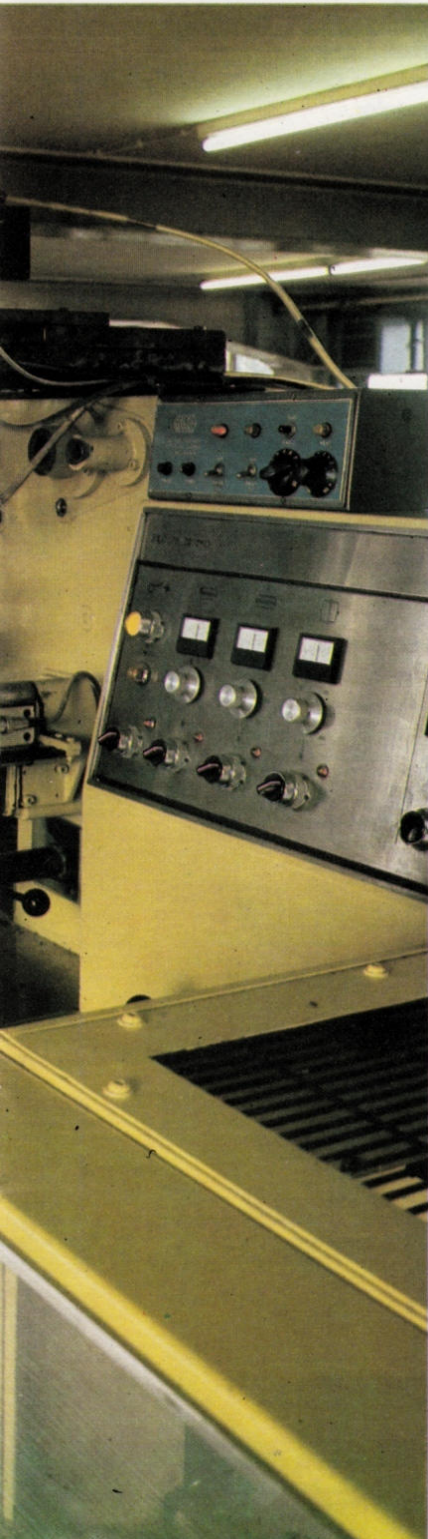


Der Idee, einen kontinuierlichen, heißversiegelten Schlauch als Verpackungsmaterial zu benutzen, begegnet man auch bei anderen Produkten. So verpackt man auf diese Weise z.B. Schokoladenriegel oder ähnliche Erzeugnisse wirklich 'am laufenden Band'. Daneben gibt es auch Maschinen in vertikaler Anordnung, die Beutel mit abgewogenen Süßigkeiten oder Kartoffelchips produzieren und diese Packungen dann heißversiegeln, und zwar mit Hilfe eines schweißbaren Kunststoffes wie Polyethylen, wobei ein heißer Draht den Materialschlauch auf die gewünschte Größe schneidet und an den beiden offenen Seiten verschließt.

Nach einem anderen Verfahren wird eine Materialbahn erhitzt und im Vakuum zu einer Art Teller geformt, der das jeweilige Füllgut aufnimmt. Dann wird eine zweite Bahn darübergezogen und am Tellerrand heißversiegelt, so daß

sie das Füllgut völlig verschließt. Eine ähnliche Technik verwendet man zur Herstellung der Kunststoffkissen, die Shampoo oder ähnliche Produkte enthalten: Durch Warmformung werden aus PVC (Polyvinylchlorid) zwei Materialbahnen hergestellt und unter Verwendung eines Hochfrequenzstromes, mit dem der Kunststoff zusammengeschnitten wird, verschlossen.

Es ist nicht erforderlich, daß nur ein Material oder nur ähnliche Materialien zu einer Verpackung verarbeitet werden. So kann z.B., vorausgesetzt, daß sich beide Ausgangsstoffe heißsiegeln lassen, eine Kunststoffolie mit einer bedruckten Pappe zu einer sogenannten Blisterpackung verarbeitet werden; alternativ läßt sich auch eine dünne Kunststoffolie erhitzen und im Vakuum quasi als Haut über eine wärmeempfindliche Pappe ziehen.



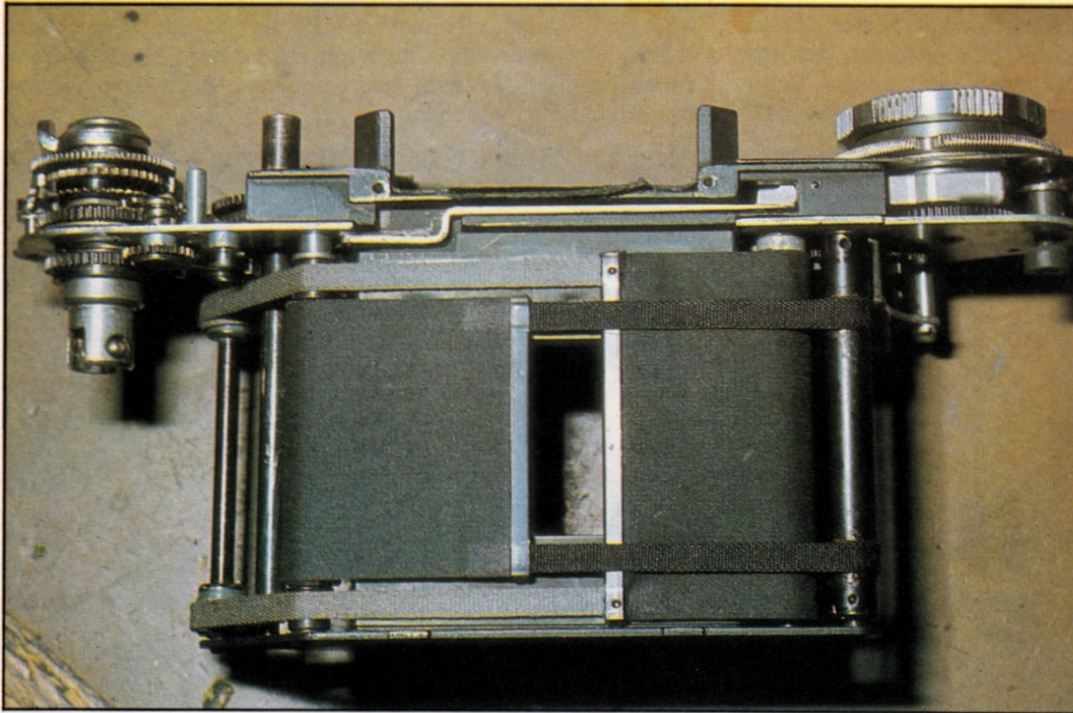
PHOTRI

VERSCHLUSS, FOTOGRAFISCHER

Die Geschwindigkeit, mit der ein Kameraverschluß arbeitet, ist entscheidend dafür, wie scharf ein bewegtes Objekt abgebildet wird. Je kürzer die Verschlusszeit ist, um so mehr Einzelheiten werden in einem Bewegungsablauf erkennbar.

Der Kameraverschluß steuert die Belichtungszeit des Filmes. In der Frühzeit der Fotografie genügte es, den Verschlussdeckel vom Objektiv abzunehmen, die Sekunden während der Belichtung zu zählen und dann den Deckel wieder aufzustecken. In einigen Fällen waren auch Metallflügel am Objektiv angebracht, die wie Fensterläden betätigt wurden. Mit der Einführung höher empfindlicher Fotomaterialien — wie im Jahre 1880 die trockene Fotoplatte und im Jahre 1884 der erste Rollfilm — wurden jedoch Verschlussmechanismen erforderlich, die es erlaubten, Belichtungszeiten von weniger als

JOHN WATNEY

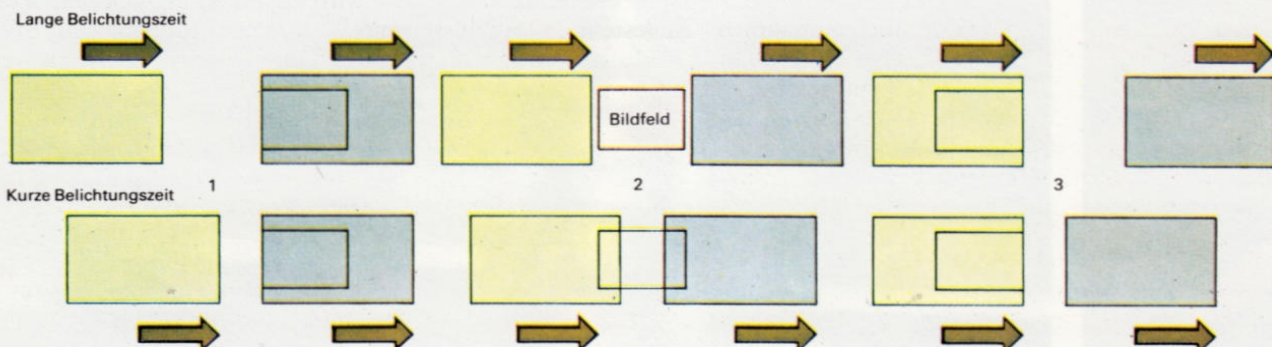
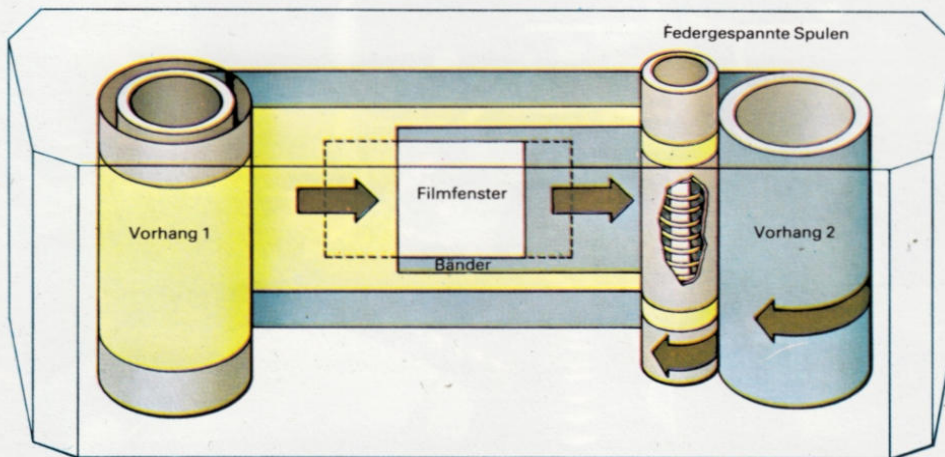


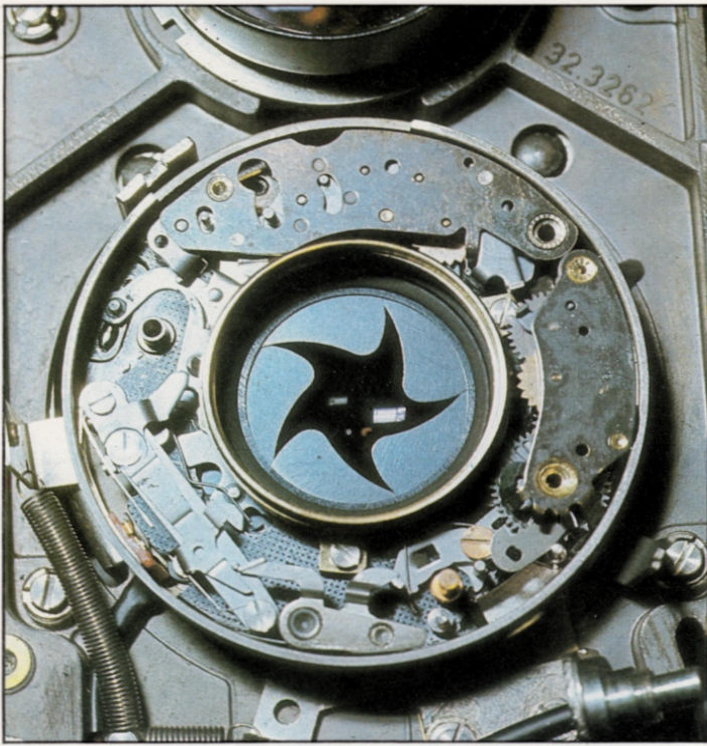
Rechts: Der 'Compur'-Verschluss einer doppeläugigen Rolleiflex-Spiegelreflex-Kamera. Zusätzliche Blendenflügel (hier halb offen) schließen sich, wenn die Belichtung beendet ist. Die vordere Linse ist hier entfernt worden.

Links: Der Schlitzverschluss einer Exacta Varex IIA.

Unten links: Schematische Darstellung eines Schlitzverschlusses. Die Vorhänge bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit und überstreichen das Bildfeld in etwa $1/50$ s. Die zeitliche Verzögerung zwischen ihnen ist jedoch unterschiedlich lang: Die Bewegung der beiden Vorhänge in der oberen Bildreihe würde einer Belichtungszeit von etwa $1/30$ s in der unteren Reihe einer Zeit von etwa $1/250$ s entsprechen.

OSBORNE/MARKS





einer Sekunde exakt zu verwirklichen.

Alles in allem wurden sehr viele und sinnvolle Verschlussmechanismen entwickelt. Der einfachste war der Fall- oder Guillotineverschluss, der aus einer rechteckigen Platte bestand, die vor das Objektiv fiel. Die Fallbewegung konnte von einem elastischen Band zusätzlich beschleunigt werden.

Ein völlig anderer Weg wurde eingeschlagen, als man den Verschluss vom Objektiv weg und so dicht wie möglich vor den Film verlegte. Da sich diese Verschlussvariante im Bereich der Brennebene des Objektivs befand, hieß sie zunächst Fokalschlitzverschluss. Heute spricht man allerdings nur noch von Schlitzverschluss.

Zentralverschluss

Diese Verschlussart ist in sehr vielen Kameras eingebaut, vorausgesetzt sie sind nicht für Wechselobjektive ausgerüstet. Der Zentralverschluss befindet sich nämlich entweder zwischen den Linsen des Objektivs — die meisten Objektive bestehen aus mehreren Linsen — oder auch unmittelbar hinter dem Objektiv. Die Bezeichnung Zentralverschluss resultiert aus dem Bewegungsablauf des Verschlusses. Vom Zentrum aus öffnet sich der in der Regel aus mehreren lichtdichten Lamellen bestehende irisartige Verschluss und schließt sich auch wieder zur Mitte hin. Angetrieben wird dieser Mechanismus von einem Federwerk, das entweder durch das Niederdrücken des Auslösers aufgezogen oder, wie heute üblich, gleichzeitig mit dem Filmtransporthebel gespannt wird ('Spannverschluss'). Doppelbelichtungen werden mit Hilfe einer besonderen Sperre verhindert.

Die einfachen Boxkameras hatten für Momentaufnahmen nur eine Verschlusszeit von etwa $1/40$ s bis $1/50$ s, während die anspruchsvolleren Kameras die Belichtungszeiten in weiten Grenzen zu verändern gestatten. Die unterschiedlichen Verschlusszeiten werden mit Hilfe eines Hemmwerkes eingestellt, in dem wie bei einem Uhrwerk ein schwingender Anker die Drehbewegung von Zahnrädern reguliert ('Compur'-Verschluss). Die meisten Kamerasverschlüsse bieten außerdem die Möglichkeit, den Film beliebig lange zu belichten. Diese Einstellung trägt die Bezeichnung B, weil sie in früheren Konstruktionen pneumatisch durch Druck auf einen Gummiball (engl.: Bulb) vorgenommen wurde. Daneben gibt es gelegentlich noch die Einstellmöglichkeit T (Time) oder Z

(Zeit), bei der der Verschluss mit dem ersten Knopfdruck geöffnet und durch einen zweiten geschlossen wird.

Schlitzverschluss

Er besteht aus zwei aufrollbaren, lichtdichten Vorhängen aus Gummistoff oder Metall, die nacheinander in genau bestimmtem zeitlichem Abstand in horizontaler oder in vertikaler Richtung unmittelbar vor dem Film vorüberlaufen. Die einstellbare Verzögerung zwischen dem ersten und dem zweiten Vorhang bestimmt die Schlitzbreite und damit die Belichtungszeit. Letztere hängt natürlich auch davon ab, wie schnell sich die Vorhänge bewegen. Der Schlitzverschluss belichtet also das Filmbild örtlich nacheinander, der Zentralverschluss das gesamte Bild auf einmal.

Verschlusszeiten

Sie reichen üblicherweise von 1 s bis zu $1/500$ s bei den Zentralverschlüssen und bis $1/1000$ s bei den Schlitzverschlüssen. Die zwischen diesen Grenzen einstellbaren Verschlusszeiten waren früher gestaffelt in $1/5$ s, $1/10$ s, $1/25$ s, $1/50$ s, $1/100$ s, $1/250$ s, $1/500$ s; heute sind sie genormt in der Folge $1/2$ s, $1/4$ s, $1/8$ s, $1/15$ s, $1/30$ s, $1/60$ s, $1/125$ s, $1/250$ s, $1/500$ s, $1/1000$ s. Einige neuere Schlitzverschlüsse erreichen sogar eine Verschlusszeit von $1/2000$ s. Umgekehrt gab es früher Verschlüsse, die mit Hilfe eines Getriebes bis zu 12 s lang öffneten.

Verschlüsse mit einer sogenannten 'Selbstausslöser'-Vorrichtung haben ein zusätzliches Vorlaufwerk, das vor dem Öffnen des Verschlusses erst abläuft.

Elektronische Verschlüsse

Auch sie sind eigentlich mechanische, von einem Federwerk angetriebene Verschlüsse, wobei aber die Öffnungszeiten elektronisch gesteuert werden. Die in einem Kondensator gespeicherte Ladung entlädt sich über einen Elektromagneten, der den Verschluss so lange offen hält. Die Ladung des Kondensators kann nun ihrerseits von einem elektrischen BELICHTUNGSMESSE — üblicherweise eine Cadmiumsulfid-(CdS)- oder eine Silicium-Zelle — gesteuert werden. Auf diesem Zusammenspiel von Lichtmessung und Verschlusssteuerung beruht die Belichtungsautomatik, in die heute auch die Blendeneinstellung einbezogen wird (Lichtwertsteuerung). Die Verschlusszeiten werden von der Automatik kontinuierlich und nicht mehr schrittweise geändert. In einigen Kameras kann die Verschlusszeit im Sucher abgelesen werden. Die manuelle Einstellung der Belichtungszeit ist auch möglich, wobei jedoch die Verschlusszeiten nach wie vor elektrisch gesteuert werden. Belichtungszeiten bis zu 20 s sind dabei möglich.

Synchronisation

Alle Kamerasverschlüsse, auch die einfachen, sind für den Anschluß von Elektronenblitzgeräten oder Blitzlampen ausgelegt, um das Öffnen mit dem Blitzlicht zu synchronisieren. Im einfachsten Falle wird eine Öffnungszeit von $1/30$ s eingestellt. Verschlüsse mit X-Kontakt zünden den Blitz, sobald sie völlig geöffnet sind ('Offenblitzmethode'); sie sind auf die nur etwa 2 ms dauernden Elektronenblitze abgestimmt. Für gewöhnliche Blitzlampen, die erst nach etwa 16 ms ihre volle Helligkeit erreichen, gibt es bei den vollsynchronisierten Verschlüssen zusätzlich den M-Kontakt. Er zündet die Blitzlampe um diese Vorzündzeit früher und öffnet dann erst den Verschluss. Grundsätzlich dürfen bei den Schlitzverschlüssen die Öffnungszeiten nicht kürzer als $1/60$ s sein, da sonst das Bild nicht gleichmäßig belichtet wird. Sie sind dafür aber häufig mit einem F-Kontakt ausgerüstet, um für Blitzlampen mit langer Brenndauer kurze Öffnungszeiten wählen zu können. (Siehe auch FOTOAPPARATE.)

VERSTÄRKER

Ein Verstärker ist ein elektronisches Bauteil, das zum Verstärken schwacher Signale dient. Ein guter Hi-Fi-Verstärker hat eine mehr als 300 000fache Verstärkung.

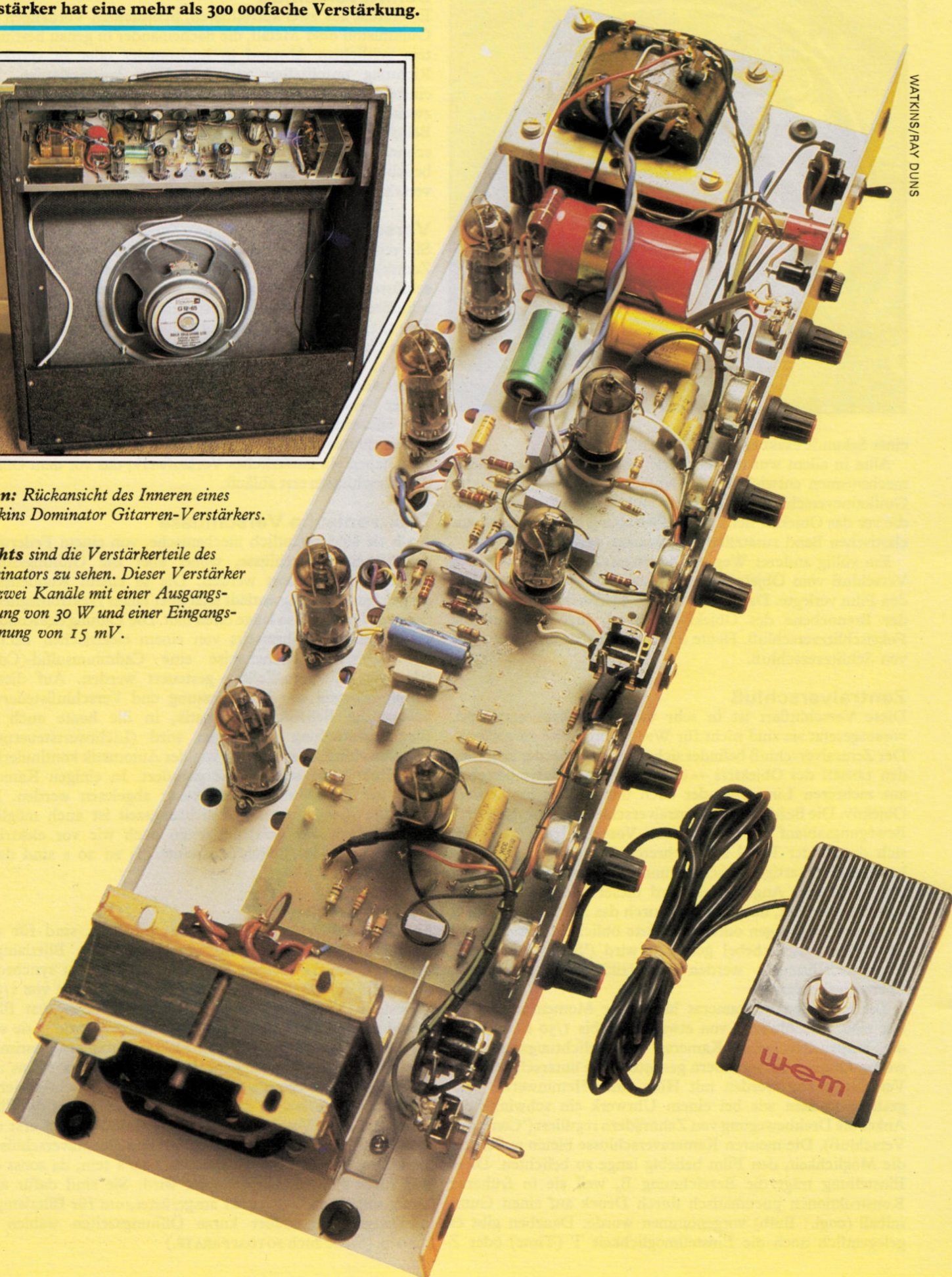
WATKINS/RAY DUNS



Oben: Rückansicht des Inneren eines Watkins Dominator Gitarren-Verstärkers.

Rechts sind die Verstärkerteile des Dominators zu sehen. Dieser Verstärker hat zwei Kanäle mit einer Ausgangsleistung von 30 W und einer Eingangsspannung von 15 mV.

WATKINS/RAY DUNS



Elektronische Verstärker werden in Radios, Fernsehern, Schallplattenspielern, Tonbandgeräten, Hi-Fi-Systemen, bei Radar, Analogrechnern und vielen anderen elektronischen Geräten verwendet. Andere Arten von Verstärkern sind mechanische Verstärker, z.B. beim Pantographen (er vergrößert Zeichnungen); hydraulische Verstärker, z.B. bei Autobremsen; akustische Verstärker, z.B. beim Schalltrichter an alten Grammophonen; Flüssigkeitsverstärker in der Fluidik und magnetische Verstärker, die man z.B. als Lichtdimmer im Theater oder in Computern wiederfindet.

Das Funktionsprinzip aller Verstärker ist gleich; sie unterscheiden sich jedoch in ihrem Entwurf und in ihrer Verstärkung. Die Verstärkung kann für Spannungen, Ströme oder elektrische Leistungen angegeben werden.

Das wesentliche Element eines elektronischen Verstärkers ist entweder eine ELEKTRONENRÖHRE oder ein TRANSISTOR. Zusätzliche Bauelemente sind Ohmsche WIDERSTÄNDE, KONDENSATOREN und POTENTIOMETER sowie Steuerelemente zur Regulierung des elektrischen Stromflusses.

Obwohl Elektronenröhren und Transistoren die gleiche Funktion ausüben, unterscheiden sie sich prinzipiell in ihrer Wirkungsweise. Im Grunde arbeiten sie als variable Schalter,

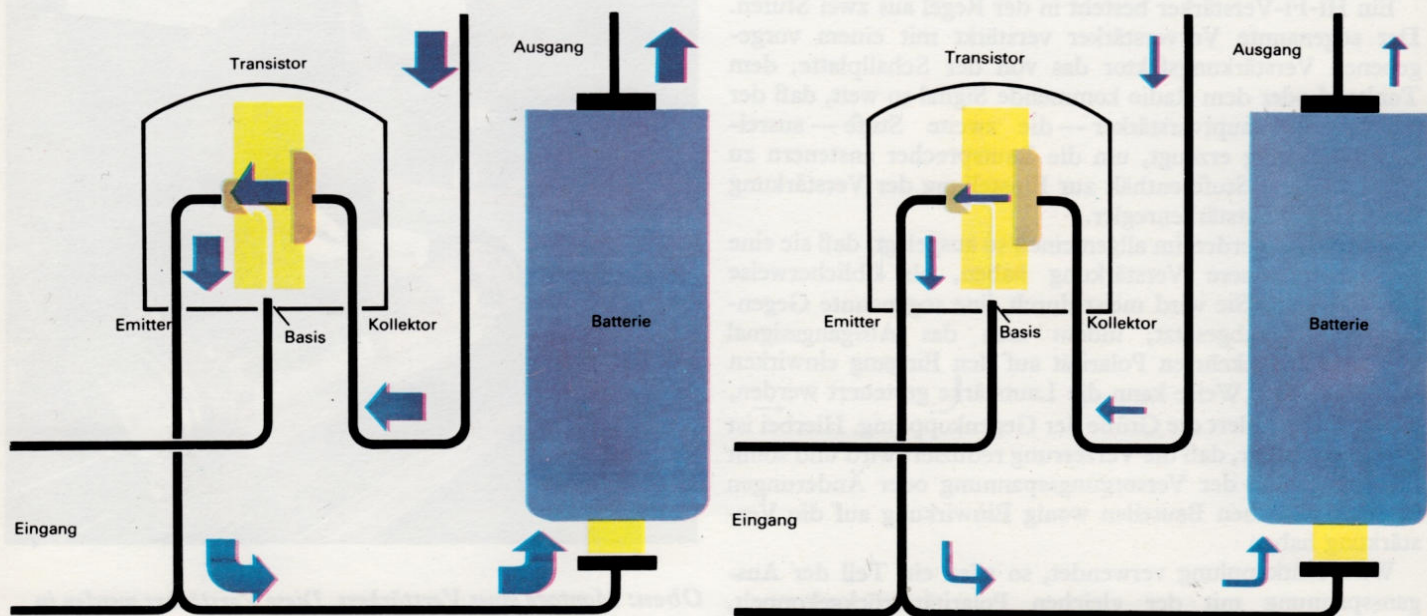
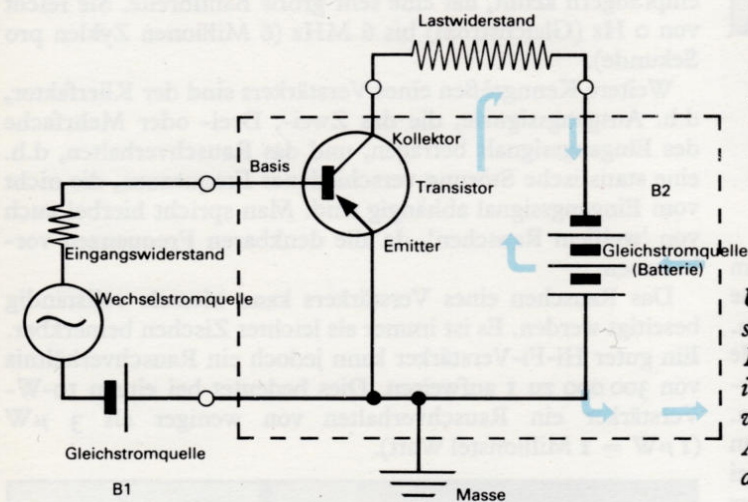
wobei ein kleiner elektrischer Strombetrag einen größeren Strombetrag erzeugt. Fließt der kleine Strombetrag, so fließt auch ein großer Strombetrag, der von einer getrennten Spannungsquelle eingespeist wird. Wird der Stromfluß des kleinen Strombetrages unterbrochen, geschieht dies auch mit dem großen Strombetrag.

Das Verhältnis des kleineren zum größeren Strombetrag ist zumindest beim linearen Verstärker eine Konstante. Wird dem kleinen Strombetrag ein Signal von einer Signalquelle aufmoduliert, verändert sich der große Strombetrag entsprechend dem aufmodulierten Eingangssignal. An den Ausgang des Verstärkers kann dann ein Verbraucher, z.B. ein Lautsprecher, angeschlossen werden.

Bei einem Transistor fließt in der Basis ein kleiner Strom. Am Kollektor kann ein großer Strom abgegriffen werden. Da in einer sogenannten Emitterschaltung nur das Potential zwischen Emitter und Basis bzw. zwischen Emitter und Kollektor von Bedeutung ist, benötigt ein Transistor nur drei Anschlüsse. Dem Kollektor, dem Emitter und der Basis entsprechen bei der Elektronenröhre die Anschlüsse Katode, Anode und Gitter. Die Begriffe für die Anschlüsse unterscheiden sich, nicht jedoch ihre Funktion.

Links: Anordnung eines einfachen Verstärkers. Die zu verstärkende Signalspannung wird der Basis/Emitter-Schaltung zugeführt. Das verstärkte Signal wird als Spannung an dem Lastwiderstand abgegriffen. Die Batterien B1 und B2 dienen als Versorgungsspannungen für den Transistor. Die Batterie B2 dient auch als Spannungsquelle für das am Lastwiderstand abzugreifende Signal.

Unten: Ein Modell, das die Wirkungsweise der oben dargestellten Schaltung beschreibt. Ist der Basisstrom groß, ist der Kollektorstrom entsprechend größer. Ist der Basisstrom klein, ist der Kollektorstrom entsprechend kleiner. Das Eingangssignal wird immer der Basis/Emitter-Strecke zugeführt, das Ausgangssignal wird an der Kollektor/Emitter-Strecke abgegriffen.





Oben: Der zylindrische Gegenstand in der Mitte des Bildes ist ein Verstärker, der für besseren Empfang von durch Unterwasserkabel geleiteten Telefonsignalen sorgt.

Verstärker in der Praxis

Ein wie oben beschriebener einfacher Verstärker erzeugt im allgemeinen keine ausreichende Verstärkung. Er kann eine Eingangsspannung vielleicht um das Dreißigfache verstärken. Ein handelsüblicher Hi-Fi-Verstärker muß hingegen Signale um das 100 000fache verstärken können. Man kennt Verstärker, die noch wesentlich höhere Verstärkungen erzeugen.

Derartige Verstärkungen werden geschaffen, indem man Verstärker in etlichen Stufen hintereinanderschaltet. Dabei wird der Ausgang des einen Verstärkers auf den Eingang der nächsten Verstärkerstufe geschaltet und so fort, bis die geforderte Verstärkung erreicht ist.

Ein Hi-Fi-Verstärker besteht in der Regel aus zwei Stufen. Der sogenannte Vorverstärker verstärkt mit einem vorgegebenen Verstärkungsfaktor das von der Schallplatte, dem Tonband oder dem Radio kommende Signal so weit, daß der sogenannte Hauptverstärker — die zweite Stufe — ausreichend Leistung erzeugt, um die Lautsprecher anzuheben zu können. Diese Stufe enthält zur Einstellung der Verstärkung meist einen Lautstärkenregler.

Verstärker werden im allgemeinen so ausgelegt, daß sie eine wesentlich höhere Verstärkung haben, als üblicherweise benötigt wird. Sie wird meist durch eine sogenannte Gegenkopplung herabgesetzt, indem man das Ausgangssignal mit einer umgekehrten Polarität auf den Eingang einwirken läßt. Auf diese Weise kann die Lautstärke gesteuert werden, d.h. man verändert die Größe der Gegenkopplung. Hierbei ist jedoch wichtiger, daß die Verzerrung reduziert wird und somit Änderungen in der Versorgungsspannung oder Änderungen bei elektronischen Bauteilen wenig Einwirkung auf die Verstärkung haben.

Wird Mitkopplung verwendet, so wird ein Teil der Ausgangsspannung mit der gleichen Polarität rückgekoppelt, um die Verstärkung hervorzurufen. Dies kann zu unerwünschten Schwingungen führen, die sich als heulendes Geräusch

bemerkbar machen. Dieses Geräusch wird dadurch hervorgerufen, daß durch die Rückkopplung das Eingangssignal und somit auch das Ausgangssignal verstärkt wird, was wiederum zu einer Verstärkung des Eingangssignals führt. Hierdurch entstehen nicht mehr steuerbare Spannungspegel, die die ursprüngliche Eigenschaft des Verstärkers zum Erliegen bringen.

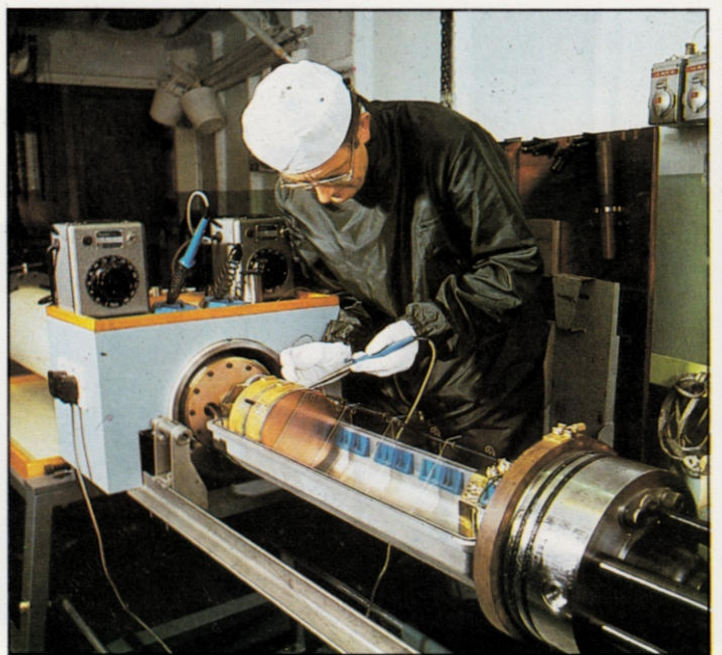
Die Qualität eines Linearverstärkers zeigt sich darin, daß das Eingangssignal so verstärkt wird, daß die Kurvenform dieses Signals nicht wesentlich verändert wird. Verstärker sind jedoch ähnlich anderen physikalischen Systemen keine vollkommenen Bauelemente. Um beispielsweise die Tonlagen eines Musikinstrumentes perfekt wiedergeben zu können, muß der Verstärker auf alle Frequenzen, die das Musikinstrument erzeugt, reagieren können. Praktisch bedeutet dies, daß ein Verstärker innerhalb des gesamten Tonbereiches von 18 Hz bis 18 kHz funktionstüchtig sein muß. Dieser Frequenzbereich oder Frequenzgang wird bei einem Verstärker auch als Bandbreite bezeichnet.

Es gibt keinen Verstärker, der diese Bandbreite überstreicht. Allerdings gibt es hochwertige Hi-Fi-Verstärker, die diese Bedingungen in etwa erfüllen. Der Frequenzgang kann durch Einstellung der Höhen- und Tiefenregelung teilweise verändert werden.

Ein Videoverstärker, den man von Fernsehern und Radarempfängern kennt, hat eine sehr große Bandbreite. Sie reicht von 0 Hz (Gleichstrom) bis 6 MHz (6 Millionen Zyklen pro Sekunde).

Weitere Kenngrößen eines Verstärkers sind der Klirrfaktor, d.h. Ausgangssignale, die das Zwei-, Drei- oder Mehrfache des Eingangssignals betragen, und das Rauschverhalten, d.h. eine statistische Störung verschiedener Frequenzen, die nicht vom Eingangssignal abhängig sind. Man spricht hierbei auch von 'weißem Rauschen', da alle denkbaren Frequenzen vorkommen.

Das Rauschen eines Verstärkers kann niemals vollständig beseitigt werden. Es ist immer als leichtes Zischen bemerkbar. Ein guter Hi-Fi-Verstärker kann jedoch ein Rauschverhältnis von 300 000 zu 1 aufweisen. Dies bedeutet bei einem 10-W-Verstärker ein Rauschverhalten von weniger als $3 \mu\text{W}$ ($1 \mu\text{W} = 1 \text{ Millionstel Watt}$).



Oben: Montage eines Verstärkers. Diese Verstärker werden in Abständen von einigen Kilometern in Unterwasser-Telefonkabeln, zuweilen auch in Überlandkabeln verwendet.

VIDEOAUFNAHMEN

Mit Video-Aufzeichnungsgeräten lassen sich Programme im Anschluß an den Aufnahmevorgang sofort abspielen, je nach Bedarf wieder löschen und auf demselben Band erneut Sendungen aufzeichnen. Im Gegensatz dazu muß ein Kinofilm fertig bearbeitet sein, bevor er vorgeführt werden kann — außerdem läßt sich ein Filmstreifen nur einmal belichten.

Die ersten Video-Aufnahmen wurden im Jahre 1928 gemacht, nachdem John Logie Baird die Phonoplatte entwickelt hatte. Dies war eine Platte von 25 cm Durchmesser, die eine Abspielgeschwindigkeit von 78 cm/min hatte. Sie ähnelte in jeder Hinsicht den Schallplatten der damaligen Zeit (siehe PLATTENSPIELER). Auf der Platte waren Fernsehsignale für ein Bild mit 30 Zeilen in Tiefenschrift als eine Art Berg-und-Tal-Modulation eingeschnitten. Hätte man die 'Bildplatte' über einen Plattenspieler und Lautsprecher abgehört, wären trillernde Töne aus dem Lautsprecher vernehmbar gewesen. Trotz ihrer Einmaligkeit war damals der Phonoplatte kein geschäftlicher Erfolg beschieden, zumal das 30-Zeilensystem im Jahre 1936 zugunsten der höher auflösenden 404-Zeilennorm verworfen wurde (siehe FARBFERNSEHER).

Leichte und handliche Videokameras für den Privatgebrauch werden jetzt auch viel zur professionellen Nachrichtenreportage — anstelle von Filmkameras — benutzt.

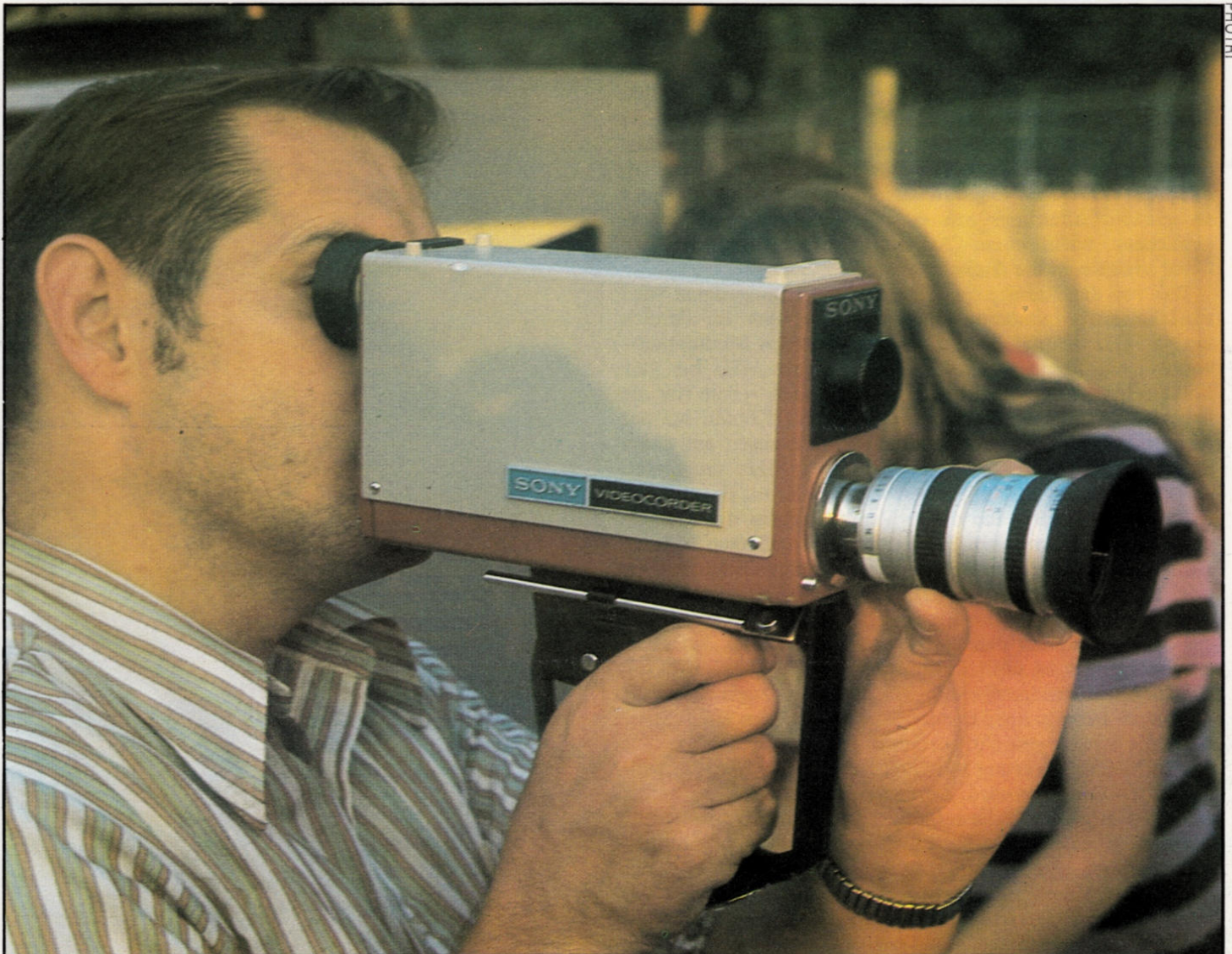
Probleme der Video-Aufzeichnungen

Moderne Video-Aufzeichnungsgeräte erschienen etwa um 1950 auf dem Markt. Ihre Entwicklung wurde durch die Magnetbandmaschinen beschleunigt, genauer durch deren Fähigkeiten, über dem normalen Hörbereich liegende hochfrequente Videosignale aufzeichnen zu können (siehe TONBANDGERÄTE). Videosignale enthalten alle Informationen eines Fernsehbildes.

Die mit der Aufzeichnung eines hochauflösenden Fernsehbildes verbundene Hauptschwierigkeit liegt nicht nur in der oberen Grenze der zu übertragenden Frequenzen, die bis zu 6 MHz reichen (6 Millionen Schwingungen in der Sekunde), sondern auch im Frequenzumfang, der dazu übertragen werden muß — insgesamt umfaßt ein Fernsehbild 20 Oktaven.

Das erste magnetische Videogerät zeichnete die Signale in Längsrichtung (longitudinal) auf ein Band. Die Konstruktion der Aufzeichnungsgeräte aber beruhte auf den Grundlagen der Tonbandmaschinen, deren Frequenzumfang nur 10 Oktaven zu umfassen braucht. Daher mußten Verfahren erdacht werden, den weitgespannten Bandbreitenbedarf der Videosignale herunterzuteilen, so daß man sie in parallel verlaufenden Spuren auf dem Bandstreifen unterbringen konnte.

Dennoch erreichte man selbst nach entsprechender Unterteilung der Information 1,5 MHz als höchste Aufzeichnungsfrequenz. Dieser Frequenzbereich erforderte außerordentlich hohe Bandgeschwindigkeiten, die bis zu 6 m/s ansteigen konnten. Videogeräte mit longitudinaler Aufzeichnung wur-



PHOTRI

den um 1950 hergestellt; man konnte mit ihnen brauchbare Farbfernsehbilder aufzeichnen und abspielen.

Im Jahre 1956 entwickelten jedoch Ginsberg und Dolby bei Ampex ein neues Gerät, das die professionelle Videoaufzeichnungstechnik vollständig veränderte. Der Videorecorder besaß eine verhältnismäßig niedrige Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s. Das Band war 5 cm breit und wurde gegenüber dem Aufzeichnungskopffaggregat in einem Bandführungsschuh geführt und fest an den quer zur Bandlaufrichtung liegenden Kopf gedrückt. Damit bei Aufnahme und Wiedergabe immer gleicher Anpreßdruck vorherrschte, besaß der Bandführungsschuh eine konkave Krümmung mit Vakuumkammern, die rechts und links gegenüber dem Magnetkopf versetzt lagen und das Band pneumatisch ansaugten.

Das Kopffaggregat bestand aus einem kleinen Elektromotor, der eine Trommel drehte, auf der vier um 90° versetzte Aufnahme/Wiedergabeköpfe eingebaut waren. Die Köpfe überstrichen nacheinander die gesamte Breite des Bandes, wenn es durch den Bandführungsschuh lief. Verließ ein Kopf die obere Kante des Bandes, kreuzte der auf der Trommel nächstfolgende Kopf die untere Bandkante. Bei sorgfältiger Abstimmung der Geschwindigkeit des Kopfes mit der Bandgeschwindigkeit erschien der Wechsel während einer ausgeblendeten Zeile, damit Bildstörungen vermieden wurden.

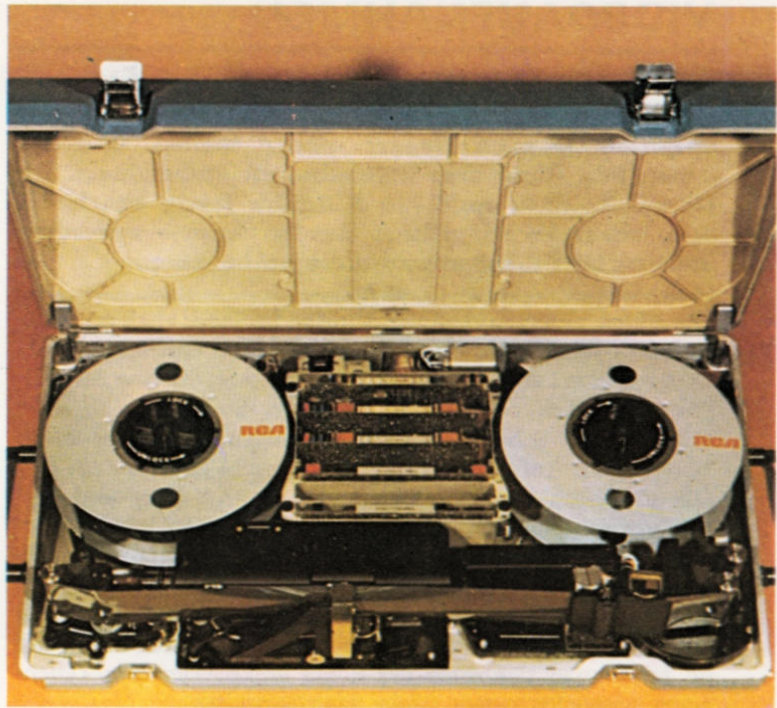
Bei den ersten Videogeräten führte man die elektrischen Signale über Schleifringkontakte den Videoköpfen zu. Die Kontakte saßen auf einer verlängerten Motorachse. Heute übernehmen spezielle Übertrager diese Aufgabe.

Das besprochene transversale Aufzeichnungsverfahren besitzt einen wirtschaftlichen Bandverbrauch und wird wegen der Anordnung der Köpfe auf der Trommel auch als Vierkopfaufzeichnungsgerät bezeichnet.

Bei der Vierkopfaufzeichnung erreicht die Trommel mit den Köpfen eine Geschwindigkeit von fast 40 m/s, während das Band sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 40 cm/s bewegt. Auf diese Weise lassen sich weitaus höhere Frequenzen als beim longitudinalen Aufzeichnungsverfahren aufnehmen. Allerdings müssen die Videosignale unter erheblichem technischem Aufwand vorbehandelt werden, bevor man sie an die Aufnahmeköpfe leiten kann.

Das von der Kamera gelieferte Video-Eingangssignal wird zunächst zur Modulation einer Trägerfrequenz im Bereich um 50 MHz benutzt. Es ergibt sich durch den Modulationsvorgang ein Frequenzbereich, der von 49,1 MHz bis 52,1 MHz reicht. Diese Frequenzen sind jedoch selbst für die hohe Relativgeschwindigkeit von Band und Köpfen bei der Ampex-Maschine zu groß und werden deswegen auf einen niedrigeren Bereich von 6,3 MHz bis 9,3 MHz umgesetzt. Zweck des ersten Modulierungsvorganges ist es, Spannungsfehler zu vermeiden, die durch Veränderungen der Relativgeschwindigkeit zwischen Band und Kopf auftreten können. Das so vorbereitete Frequenzband wird nun parallel zu allen vier Köpfen gleichzeitig geführt. Die Köpfe setzen das ursprüngliche elektrische Signal in ein magnetisches Signal zur Speicherung auf dem Band um. Während des Aufzeichnungsvorganges ist es nicht notwendig, einen genauen Bezug zwischen der Bandgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Köpfe herzustellen. Das heißt aber, daß zur Wiedergabe eine Möglichkeit gesucht werden muß, mit deren Hilfe eine genaue Synchronisierung zwischen Band- und Kopfgeschwindigkeit gewährleistet wird, damit die Wiedergabeköpfe sofort an der richtigen Stelle die aufgezeichneten Spuren abtasten.

Die Möglichkeit ist gegeben, wenn man eine longitudinal aufgezeichnete Steuerspur entlang der Bandkante anbringt und sie mit einem zusätzlichen Kopf abtastet, der sich nur wenig entfernt neben dem rotierenden Videokopf befindet. Auf der Steuerspur ist ein Tonsignal gespeichert, dessen



Oben: Ein ausgesprochen kompakt aufgebautes und transportables Video-Bandspeichergerät.

Unten: Ein modernes Video-Bandaufzeichnungsgerät mit Monitor (Kontrollempfänger) und Steuerungsanlage.



Frequenz sich proportional zur momentanen Rotationsgeschwindigkeit der Aufnahmeköpfe verhält. Während der Wiedergabe wird das Signal der Steuerspur mit dem Signal verglichen, das ein fotoelektrischer Meßwertfühler auf der Achse des Antriebsmotors für das Aufzeichnungsaggregat liefert. Abweichungen zwischen beiden Meßwerten lassen einen Vergleich ansprechen, dessen Ausgangssignal die Geschwindigkeit des Motors herabsetzt und sie wieder auf den gegebenen Wert zurückführt.

Auf eine ähnliche Weise sind die eigentlichen Tonfrequenzen mit der Schallinformation longitudinal auf der entgegengesetzten Bandkante untergebracht. Sie werden von einem herkömmlichen Tonkopf abgetastet.

Dieser Typ von Videoaufzeichnungsgeräten wird heute von vielen Herstellern in Lizenz nachgebaut und bei allen Fernsehanstalten benutzt. Das System ist in der Folgezeit weiterentwickelt worden, insbesondere hat man das Aufzeichnungskopfaggregat verbessert. Zusätzlich laufen experimentelle Arbeiten zur Untersuchung der Möglichkeit, Farbfernsehsignale als digitale Pulse in ähnlicher Weise wie die Datenspeicherung in Computern aufzuzeichnen.

Schrägschrift-Aufzeichnungsverfahren

Die Zusammenhänge des bisher beschriebenen Aufzeichnungsverfahrens sind sehr kompliziert. Der große Bandverbrauch schließt einen anderen Verwendungsbereich als den der Sender aus. Als Alternative dazu wurde im Jahre 1959 das Schrägschrift-Aufzeichnungssystem entwickelt.

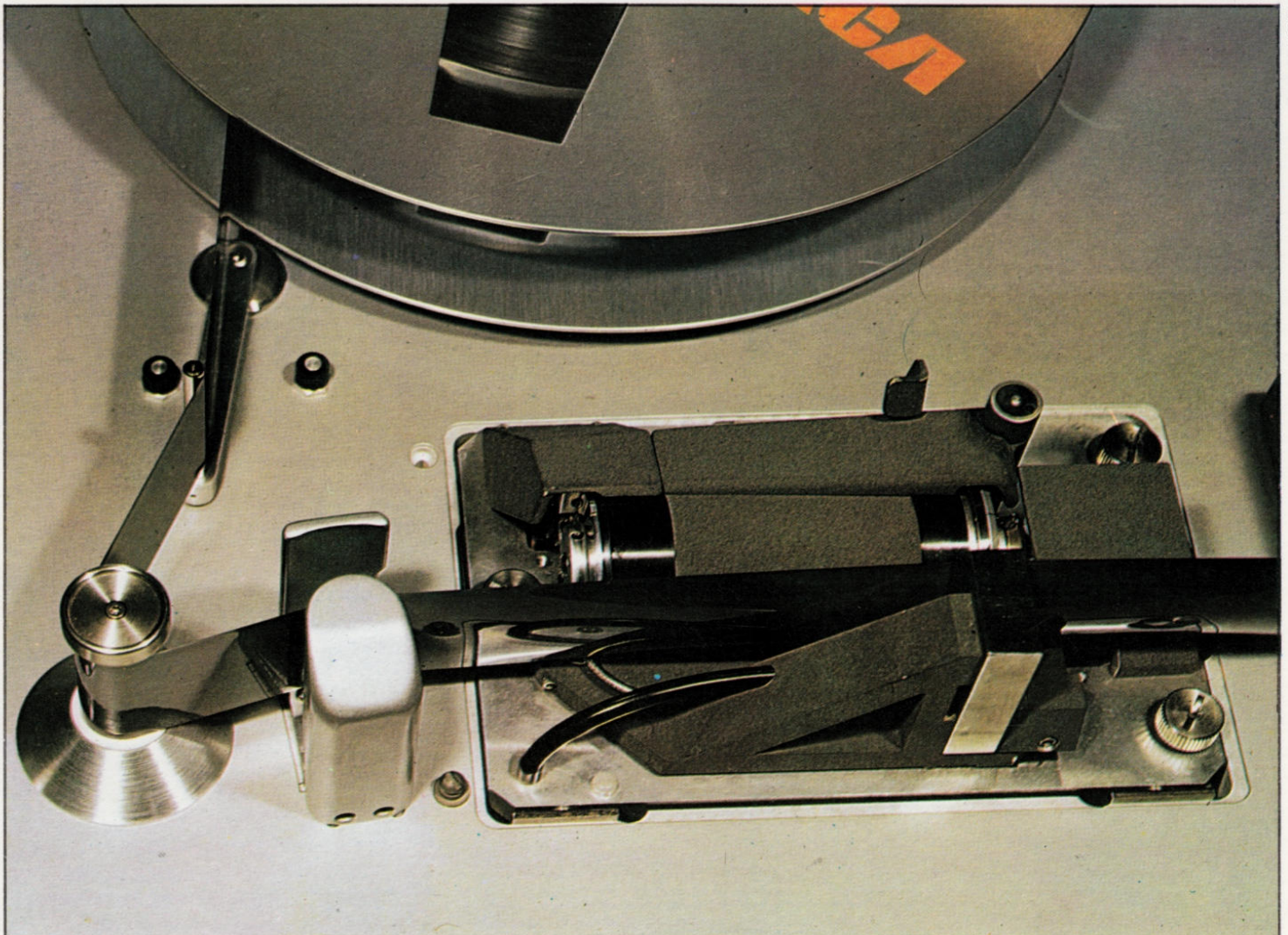
Zur Schrägschriftaufzeichnung muß das Videoband einmal spiralförmig um die Trommel gewickelt werden. Die Trom-

mel wird durch eine Nut, die über den gesamten Umfang verläuft, in zwei Hälften unterteilt. In der Nut sind zwei rotierende Videoköpfe um 180° versetzt untergebracht. Ist das Band im vorgeschriebenem Winkel um die Trommel gewickelt, bewirkt das Zusammenspiel der Vorwärtsbewegung des Bandes und der Rotation der Videoköpfe eine Spur auf dem Videoband, die mit etwa 3° Abweichung von der Horizontalen ansteigt.

Einer der bedeutendsten Nachteile des Schrägschriftverfahrens sind die Variationen bei den Geräteausführungen, die im Handel erhältlich sind. Der Winkel, unter dem die Trommel vom Band umschlungen werden muß, schwankt zwischen 90° und 360° ; das Kopfaggregat kann ein bis vier Videoköpfe tragen, und jede Spur auf dem Band kann ein oder mehrere Bildfelder besitzen, die über die Länge des Bandes verteilt sind. Weil die Relativgeschwindigkeit zwischen Kopf und Band beim Schrägschriftverfahren sehr viel kleiner als bei der Vierkopf-Aufzeichnung ist, läßt auch das Auflösungsvermögen des Bildes merklich nach.

Dies führt zu einer maximalen Bandbreite, die bei Heimgeräten zwischen 3 MHz und 4 MHz liegt, also im ungünstigsten Falle nur die Hälfte des Erreichbaren bei Studio-

Beim alternativen Schrägschriftverfahren wird eine hohe Relativgeschwindigkeit zwischen Abtastkopf und Bandgeschwindigkeit erreicht. Die Videoköpfe sitzen in einer Nut auf der Trommel, um die das Band spiralförmig geführt wird. Rotiert die Trommel, tasten die Köpfe das Band mit einem Winkel von 3° gegen die horizontale Längsrichtung des Bandes ab.



maschinen. Mit einer Reihe kompliziert ablaufender Maßnahmen bemüht man sich um Signalverarbeitungsverfahren, die gewährleisten sollen, daß der Inhalt der eigentlichen Bandbreite von 6 MHz an den Frequenzbereich der Heimgeräte angepaßt wird. Zur Zeit ergibt sich wegen der Vielzahl der vorhandenen Schrägschrift-Aufzeichnungssysteme eine verwirrende Situation für den Käufer.

Die drei bedeutendsten käuflichen Systeme sind das Philips, das EIAJ- (Electronic Industries Association of Japan) und das U-Matic-System von Sony. Das Philips-System läßt sich sowohl beim 625-Zeilen PAL-Verfahren als auch beim 525-Zeilen NTSC-Verfahren einsetzen. Das EIAJ-System ist nur der 525-Zeilennorm angepaßt, und Sony U-Matic ist wie das Philips-System in beiden Normen einsetzbar (siehe FARBFERNSEHER).

Das Philips-System arbeitet mit einer Kassette, in der sich zwei übereinanderliegende Spulen befinden. Das 1,25 cm breite Band wird in einer Schleife aus der Kassette gezogen und über Spannstifte auf kompliziertem Weg an der Kopftrommel vorbeigeführt.

Die EIAJ-Norm bezieht sich hauptsächlich auf offene Bandmaschinen, das Magnetband ist ebenfalls nur 1,25 cm breit. Obwohl dasselbe Schrägschriftverfahren wie bei Philips zugrunde liegt, wird das Band auf Spulen ähnlich wie bei Tonbandgeräten geführt. Einige wenige Kassettensmaschinen baute man nach dieser Norm, sie haben sich aber nicht auf dem Markt durchsetzen können. Das dritte System entstand bei Sony und heißt U-Matic-System. Das 1,9 cm breite Band befindet sich auf zwei nebeneinanderliegenden

Spulen innerhalb einer Kassette. Das Band wird in einer Schleife herausgeführt und so um die Kopftrommel geführt, daß es in Form des Buchstabens 'U' anliegt.

Sowohl das Philips- als auch das Sonysystem sind für Farbfernsehaufzeichnungen geeignet. Video-Recorder sind zwar für direkte Aufzeichnungen vom Fernsehgerät gedacht, die meisten Modelle enthalten aber einen zusätzlichen Hochfrequenzempfangsteil (FS-Tuner). Damit ist es möglich, die von der Empfangsantenne kommenden Signale dem Video-Recorder ohne Umweg über den Empfänger direkt zuzuführen. Wie im Fernhempfänger werden die hochfrequenten Signale demoduliert und die bildinhaltbestimmenden Videoanteile herausgezogen. Entsprechende Baugruppen bereiten sie so auf, daß sie sich je nach Gerätetyp bis zu Frequenzen von 3 MHz bis 4,7 MHz auf dem Band aufzeichnen lassen.

Bei beiden Systemen wird die Farbinformation als amplitudenmodulierte Schwingung verarbeitet. Das Philips-System hat für den Farbanteil eine Bandbreite von 650 kHz zur Verfügung, das Sony-System arbeitet mit einer Bandbreite von 500 kHz.

Fernsehsysteme, die einen in sich geschlossenen Regelkreis bilden und auch Aufzeichnungen zulassen. Solche Systeme werden in Ausbildungsinstituten und Diskussionsrunden immer beliebter. Mit der Mikroelektronik lassen sich Informationseinheiten, die bisher nur in Studios zu finden waren, transportabel gestalten: Monitors, Mischpulte; Geräte für Trickeffekte und Video-Bandspeichergeräte.





PICTUREPOINT

Videoplatten

Während Schrägschrift-Recorder und andere experimentelle Aufzeichnungsgeräte, aber auch reine Wiedergabesysteme zunächst als Prototyp vorgestellt wurden, erschien im Herbst 1975 ein zur Marktreife vollständig entwickeltes neues System.

Es handelte sich um ein Plattensystem, das von den Firmen Decca und AEG unter der Handelsmarke Teldec entwickelt wurde. Im wesentlichen ist es eine Rückkehr zur Schallplattenversion in der Videoaufzeichnungstechnik mit vielen entscheidenden Verbesserungen, durch die Frequenzen bis zu 3 MHz aufgezeichnet und abgespielt werden können.

Die Platte besteht aus dünnem Plastikmaterial mit Durchmesser von 20 cm oder 30 cm. Sie dreht sich mit einer Geschwindigkeit von 1 500 U/min bei 50 Hz Netzfrequenz oder mit 1 800 U/min bei 60 Hz Netzfrequenz. Der Signalabnehmerarm und die Nadel sind in der Vertikalen befestigt. Die Platte wird durch ein Luftpolster gegen die Nadel gedrückt. Da die Platte aus biegsamem Material besteht, kann sie während des Abtastvorganges von der Nadel verformt werden. Die Signale sind als Berg-und-Tal-Modulation, also in Tiefschrift, in die Rille geprägt. Bei diesem Abtastverfahren wirken Druckänderungen auf das Wandlersystem ein, das auf den Abnehmerarm montiert ist. Die Abtastvorrichtung setzt die Druckänderungen zur Verarbeitung im Videoverstärker in elektrische Signale um. Auf der Platte lassen sich sowohl Schwarz/Weiß- als auch Farbbilder mit 625-Zeilennorm aufzeichnen, obgleich sie vermutlich nur mit Schwarz/Weiß-Programmen käuflich sein wird. Eine eigene Aufnahmetechnik ist mit ihnen ebenso wenig möglich wie bei den bewährten Schallplatten. Aufnahme- und Vervielfältigungstechniken

sind denen von Schallplatten ähnlich.

Inzwischen gibt es weitere Plattenabspielsysteme. Ein bemerkenswertes Beispiel ist die Videoplatte von Philips. Sie unterscheidet sich von der Teldecplatte dadurch, daß beim Lesen der Information kein direkter Kontakt zwischen Platte und Abtastsystem vorliegt.

Das Videosignal ist als spiralförmige Spur in Form von Absenkungen aufgezeichnet. Zwischenräume beinhalten die Schwarz/Weiß-Information des Bildes, die Länge enthält die Farbinformation. Die Platte besteht aus Plastikmaterial, das von einer stark reflektierenden Metalloberfläche überzogen ist.

Das Abspielgerät enthält einen Helium-Neonlaser, der einen außerordentlich kleinen und leistungsstarken Lichtpunkt auf die Platte wirft. Der Laserstrahl wird auf der spiralförmigen Spur mit einem elektronischen Nachlaufregelungssystem zentriert. Das von der Platte zurückgeworfene Licht unterliegt Intensitätsschwankungen während der Rotationsbewegung der Platte. Eine Fotodiode nimmt die Intensitätsschwankungen auf und setzt sie in elektrische Signale um. Es handelt sich um ein reines Abspelsystem. Da die Platten ohne jeden mechanischen Kontakt abgetastet werden, sind keine Abnutzungserscheinungen zu erwarten. Theoretisch müßten die Platten unbegrenzt haltbar sein.

Die Rotationsgeschwindigkeit der Videoplatten beträgt 25 U/s, jede Plattenumdrehung enthält genügend Informationen, um ein vollständiges, nach dem Zeilensprungverfahren verschachteltes Vollbild unterzubringen.

Weitere optische Abtastverfahren, denen Kompatibilität (Austauschbarkeit) nachgesagt wird, sind in Verbindung mit Philips entwickelt worden. Der Hauptunterschied liegt im



Oben: Video-Kassettenspeichergerät zum Abspielen aufeinander folgender Werbespots. Im voraus aufgezeichnete Aufnahmen können in den Film eingeblendet werden. Die Kassettenfolge ist programmierbar; (Spielzeit pro Kassette 1–3 min.).

Unten: Ein 'Grundig'-Video-Kassettenrecorder. Die verfügbare Abspieldauer dieses Modells ist 4 Stunden pro Kassettenseite.



Aufbau der Platte: Bei einem System erhält man die von der Fotodiode aufgenommenen Intensitätsschwankungen durch veränderliche Lichtundurchlässigkeiten des Plattenmaterials, das im wesentlichen aus Plastik besteht.

Weitere Systeme

Bislang wurden einige Methoden zur allgemeinen Aufzeichnung von Videosignalen erläutert. Für besondere Zwecke, z.B. Zeitlupe und Einzelbildschaltung, wie sie bei Fernsehübertragungen von Fußballspielen vorkommen, hat man Magnetplatten-Aufzeichnungsgeräte gebaut, mit deren Hilfe Aufnahmen von kurzer Spieldauer gemacht werden. Ihr Vorteil liegt in der sehr kleinen Zugriffszeit, d.h. Platten dieser Art stehen sofort zum Abspielen oder Einblenden bereit (siehe FERNSEHTECHNIKEN).

Zur Zeit experimentiert man weltweit mit optischen Systemen für Videoaufzeichnungen, bei denen holografische Verfahren zugrunde liegen. Magnetische Aufzeichnungsverfahren werden nach Möglichkeiten einer digitalen Bildspeicherung untersucht. Die Zukunft der Speicherung von Videosignalen wird durch ständig weitergehende Fortschritte geprägt, die alle das Ziel haben, Heimabspielgeräte so preiswert und einfach in der Bedienung zu gestalten, daß man mit ihnen wie mit Schallplattenspielern arbeiten kann.

VOLTMETER

Instrumente zur Messung von Spannungen sind im Grunde Amperemeter. Amperemeter können sehr einfach in Voltmeter umgewandelt werden.

Ein Voltmeter mißt die elektrische Potentialdifferenz oder Spannung. Man kennt vier Arten von Voltmetern: Drehspul-, Dreheisen-, elektrostatische und Digitalvoltmeter. Die beiden ersten Typen basieren auf Amperemetern mit einem zusätzlichen Ohmschen Widerstand. Das häufiger vorkommende Voltmeter beruht auf dem Drehspulprinzip.

Drehspulvoltmeter

Im Idealfall sollte ein Voltmeter keinen Strom von der zu messenden Schaltung abzweigen. Bei Verwendung von Drehspul- bzw. Dreheiseninstrumenten kann dieses Ideal nicht erreicht werden, da ein geringer Strom zum Betreiben der Geräte benötigt wird.

Ein Amperemeter wird in ein Voltmeter verwandelt, wenn man in Reihe zu dem Amperemeter einen hochohmigen Widerstand schaltet. Solange der Gesamtwiderstand des Voltmeters viel größer ist als der Widerstand der zu messenden Schaltung, ist der abgezweigte Strom vernachlässigbar klein. Des weiteren ist unter diesen Umständen der abgezweigte Strom der zu messenden Spannung proportional. Ändert man die Stromanzeige in eine Spannungsanzeige um, hat man ein Voltmeter. Man muß sich jedoch vor Augen halten, daß auch ein Voltmeter in Wirklichkeit Ströme mißt.

Je geringer der abgezweigte Strom ist, der durch das Voltmeter fließt, desto genauer ist das Meßinstrument. Dies kann erreicht werden, indem man den Reihenwiderstand erhöht. Hierdurch wird allerdings der verfügbare Strom, der

benötigt wird, um das Meßgerät zu betreiben, ebenfalls verkleinert. Um diese kleinen Ströme doch noch erfassen zu können, verwendet man GALVANOMETER, d.h. hochempfindliche Amperemeter. Verschiedene Spannungsbereiche lassen sich bilden, wenn man verschiedene Serienwiderstände verwendet.

Um mit einem Drehspulvoltmeter auch Wechselströme messen zu können, wird in das Voltmeter ein Gleichrichter eingebaut, damit in dem Meßinstrument ein Gleichstrom fließen kann. Sowohl bei Gleich- als auch bei Wechselstrommessungen ist, abgesehen von Wechselströmen unterhalb 10 V, die Anzeige linear. Der Grund dafür, daß Wechselströme unterhalb 10 V die lineare Anzeige beeinflussen, sind die im Gleichrichter verwendeten Dioden, an denen kleine Spannungen abfallen.

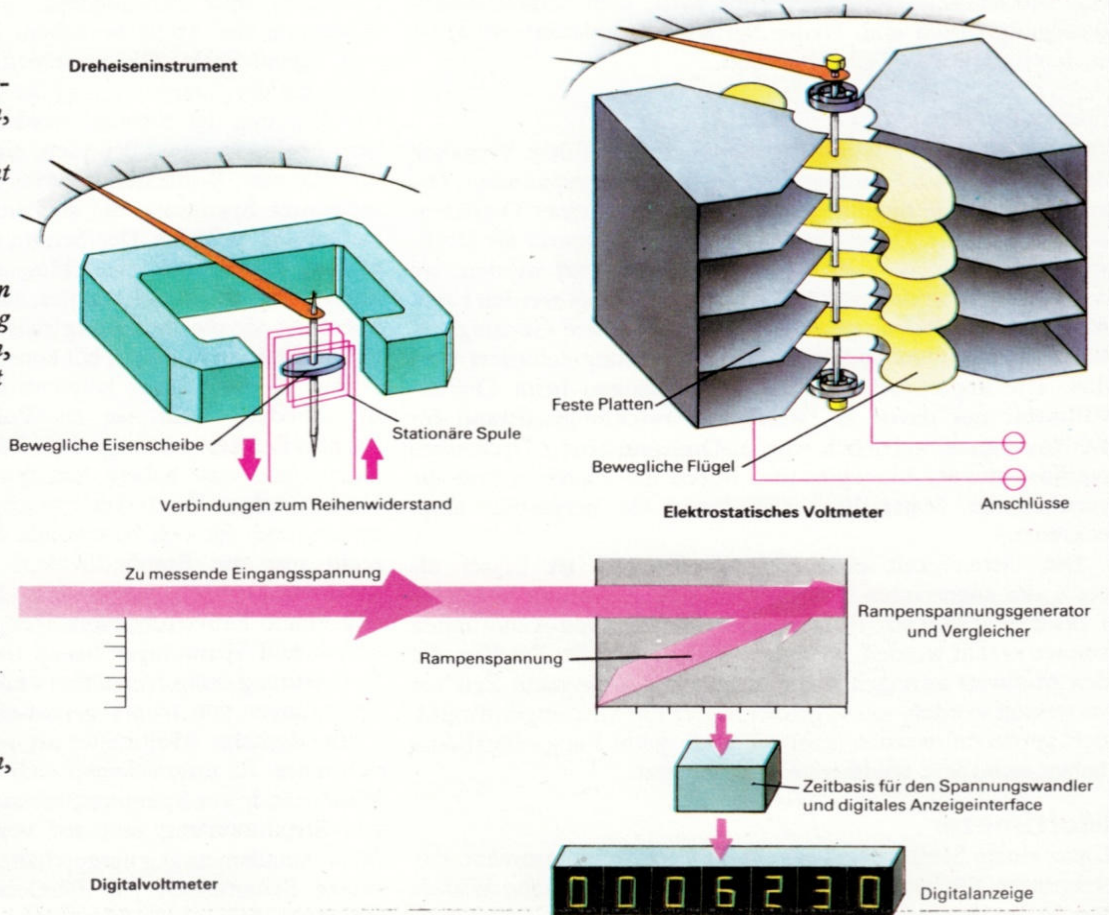
Dreheisenvoltmeter

Bei Dreheiseninstrumenten bewegt sich ein kleiner Magnet, wenn ein Strom durch einen angrenzenden Elektromagneten fließt. Die Bewegung des Magneten kann durch abstoßende oder anziehende Kräfte ausgeführt werden. Unabhängig von der Richtung des fließenden Stromes ist das Drehmoment, das die Richtungsänderung hervorruft, dem Quadrat des Stromes, der das Instrument durchfließt, proportional; d.h. die Bewegung des kleinen Magneten ist von der Stromrichtung unabhängig. Dies bedeutet, daß ein Dreheiseninstrument den Effektivwert eines Wechselstromes mißt, ohne einen Gleichrichter zu benötigen. Die Anzeige dieser Instrumente ist nichtlinear, und die Instrumente als solche sind auf wenige Hundert Hertz beschränkt.

Elektrostatische Voltmeter

Das elektrostatische Voltmeter läßt die Ablesung einer

Dreheisen- und Drehspulvoltmeter messen in Wirklichkeit elektrische Ströme. Spannungswerte werden dadurch gemessen, daß die Spannung, die an Reihenwiderständen (hier nicht zu sehen) abfällt, gemessen wird. Das elektrostatische Voltmeter beruht darauf, daß sich entgegengesetzte Ladungen abstoßen. Wirkt eine Spannung auf die beweglichen Blätter ein, so bewegen sie sich von den fest angebrachten Platten weg. Dieser Typ Spannungsmesser benötigt keinen Strom. Das Digitalvoltmeter verfügt über eine Vergleicherschaltung mit einem Rampenspannungsgenerator. Die Vergleicherschaltung stellt fest, wann die Rampenspannung gleich der Eingangsspannung ist. Kennt man die Anstiegsgeschwindigkeit der Rampenspannung, so kann die Zeit bestimmt werden, die benötigt wird, um den Vergleichspunkt zu erreichen. Der Wert der Zeit wird dann zur Anzeige einer Spannung umgewandelt.





Ein Digital-Multimeter zum Messen von Spannung, Strom und Ohmschem Widerstand.

Rechts: Das Innere eines Multimeters. Man sieht die drehbare Befestigung, wobei sich die bewegliche Spule zwischen den radialen Polen eines Permanentmagneten befindet. Die empfindliche Rücksprungfeder ist oberhalb der Spule angebracht.

Spannung zu, ohne einen elektrischen Strom abzuzweigen. Hier wird die Tatsache ausgenutzt, daß auf zwei Körper, die sich auf verschiedenem elektrischem Potential befinden, eine mechanische Kraft ausgeübt wird. Der Zeiger, dessen Bewegung durch eine kleine Spiralfeder gesteuert wird, ist an den rotierenden Teilen befestigt.

Digitalvoltmeter

Das Prinzip eines Digitalvoltmeters beruht auf dem Vergleich der zu messenden Spannung mit einer Referenzspannung. Die hier entstehende Spannungsdifferenz wird an einer Digitalanzeige dargestellt. Diese Digitalvoltmeter sind teurer als Drehspulinstrumente, so daß sie nur dort eingesetzt werden, wo das Drehspulinstrument nicht mehr angewendet werden kann. Man setzt Digitalvoltmeter dort ein, wo höhere Genauigkeit, höhere Empfindlichkeit und höhere Auflösung gefordert werden. Die angesprochenen Parameter hängen beim Digitalvoltmeter nur davon ab, welcher Entwicklungsaufwand für das Instrument getrieben wurde. Drehspul- bzw. Dreheisenmeßinstrumente hingegen sind durch die Bauform und die verwendeten Materialien, aus denen sie hergestellt sind, begrenzt.

Die Genauigkeit eines Digitalvoltmeters ist besser als 0,5% des angezeigten Wertes, wobei die Auflösung besser als 1 bis 2 zu 1 000 ist. Höhere Genauigkeiten und Auflösungen können erzielt werden, wenn man die Anzahl der Zeichen, die den Meßwert anzeigen sollen, erhöht. Denn je mehr Zeichen verwendet werden, um so größer ist der Entwicklungsaufwand, der getrieben werden muß. Durch gute Langzeitstabilität haben sich diese Meßgeräte durchgesetzt.

Multimeter

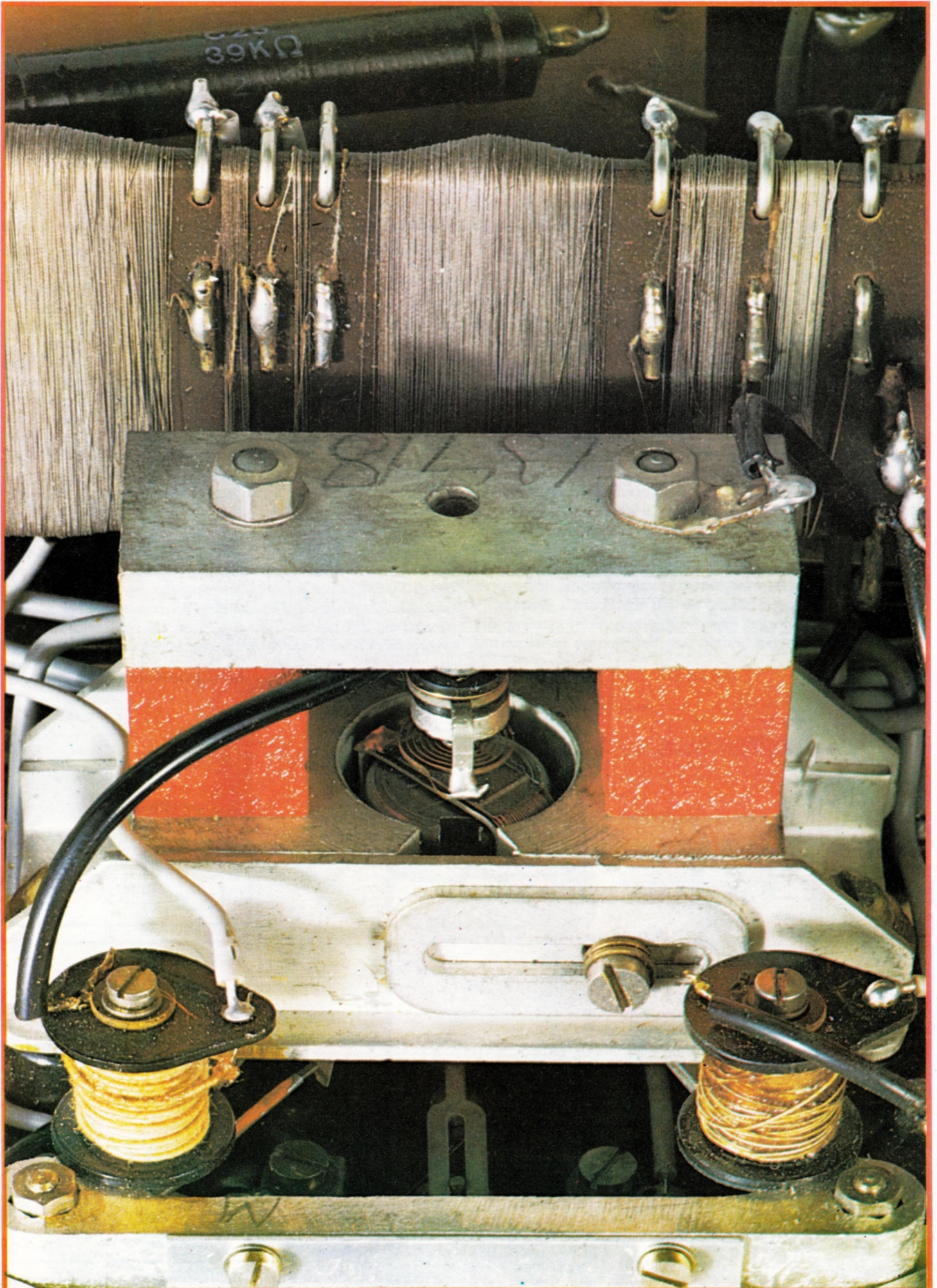
Unter einem Multimeter versteht man ein Meßinstrument, das elektrische Ströme und Spannungen sowie Ohmsche Widerstände messen kann.

Diese Meßinstrumente reichen bis in die zwanziger Jahre

unseres Jahrhunderts zurück. Heute unterscheidet man zwei Typen von Multimetern: Drehspul- und digital anzeigende Multimeter. Das ursprüngliche Drehspulmultimeter beinhaltet die Strom-, Spannungs- und Widerstandsmessung. Es existieren drei verschiedene Vorrichtungen, die dieselbe Bewegung der Spule bewirken. Für jede Funktion existiert eine eigene Skala. Die verschiedenen Serienwiderstände zur Messung der Spannung und die Shunts (Parallelwiderstände) zur Messung des Stromes werden über Schalter, die sich an dem Meßinstrument befinden, eingestellt. Die Messung eines unbekannten Widerstandswertes geschieht über eine Batterie bekannter Spannung, die sich im allgemeinen in dem Meßinstrument befindet. Der Strom, der fließt, wenn die Batterie an den Widerstand angeschlossen wird, wird gemessen und unmittelbar in Ohm-Einheiten abgelesen. Die Skala ist nicht-linear, da sie die Beziehung zwischen Ohmschem Widerstand und elektrischem Strom bei konstanter Spannung angibt.

Ein Nachteil der konventionellen Multimeter ist ihr Strombedarf, wenn sie als Voltmeter arbeiten, d.h. ihre Empfindlichkeit ist zu gering. Dieses Problem wird beseitigt, indem man eine höhere Empfindlichkeit erzeugt oder einen elektronischen Verstärker zwischen den Eingang des Multimeters und die sich bewegende Spule setzt. Hierdurch wird nicht nur die Empfindlichkeit erhöht, sondern auch die Messung kleinerer Strom- oder Spannungswerte ermöglicht. Mit einem konventionellen Meßgerät können Ströme bis zu 50 μA und Spannungen bis zu 100 mV gemessen werden. Bei Verwendung eines Verstärkers können Ströme von 1 μA und Spannungen von 10 mV gemessen werden.

Ein digitales Multimeter ist im wesentlichen ein Digitalvoltmeter. Es unterscheidet sich darin, daß auf verschiedene Widerstände zur Spannungsmessung, auf verschiedene Shunts zur Strommessung und auf verschiedene Schaltungen zur Widerstandsmessung umgeschaltet werden kann. Der Ausgang dieser Schaltungen zur Bereichswahl wird mit dem Vergleichersystem verbunden, das dann über einen Analog/Digital-Wandler eine Anzeige ansteuert.



W

WAAGEN UND WÄGEMASCHINEN

Das Grundprinzip der Waage, ein frei beweglich aufgehängter Waagebalken, an dem ein unbekanntes Gewicht durch genormte Gewichte ins Gleichgewicht gebracht wird, ist seit Urzeiten bekannt und wird in einfachen Wägemaschinen ebenso wie in Präzisionswaagen für wissenschaftliche Zwecke noch heute benutzt.

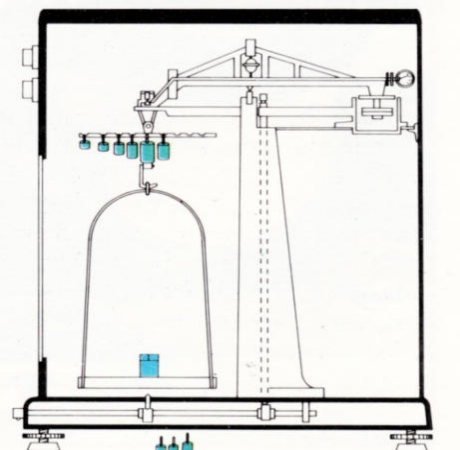
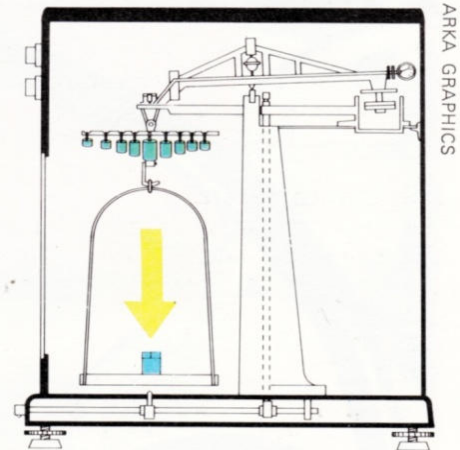
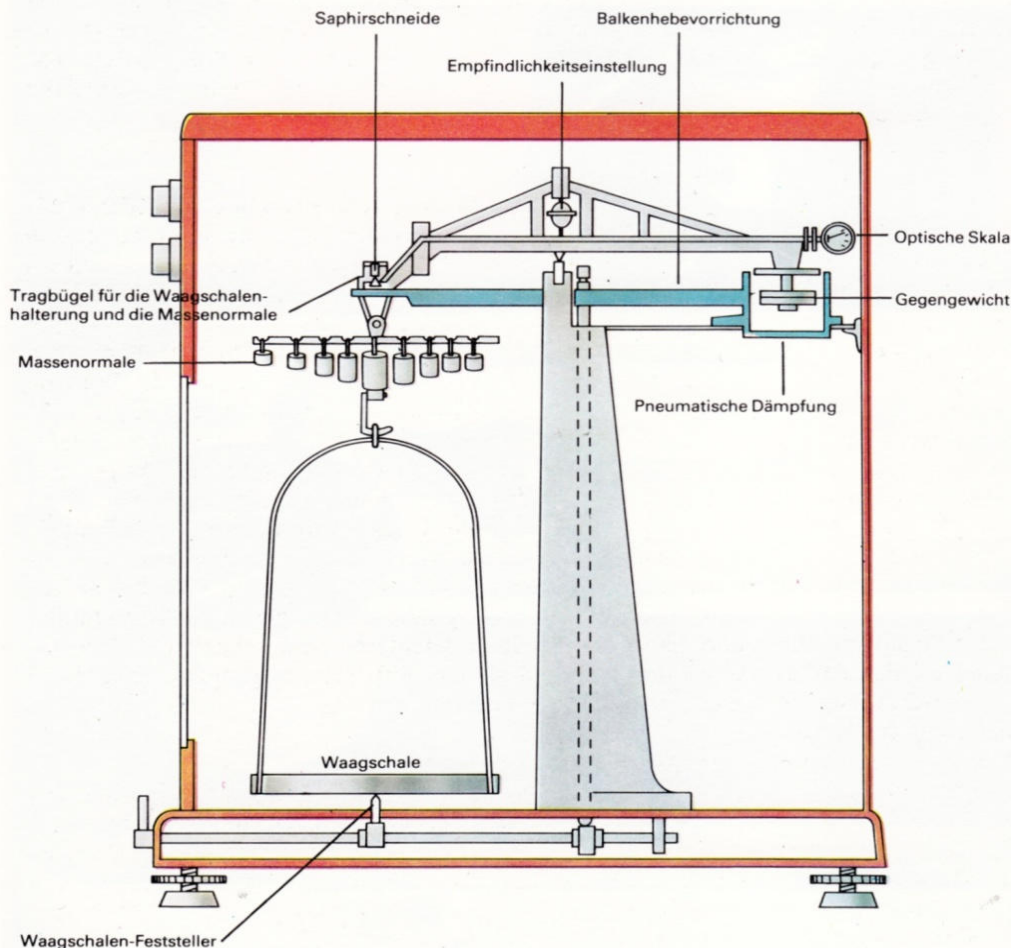
Im Altertum bestanden die Waagen aus einem einfachen, um seine Mitte (den Schwerpunkt) drehbaren Balken, an dessen Enden je eine Waagschale hing. Das zu wägende Objekt wurde in die eine Schale gelegt und durch Massennormale, 'Standardgewichte', ausgeglichen. Nach diesem Prinzip arbeiten auch die modernen Waagen. Schon die ersten Instrumente erreichten eine hohe Genauigkeit; einige um 1350 v. Chr. in Ägypten gebräuchliche Waagen waren bis auf ein Prozent genau.

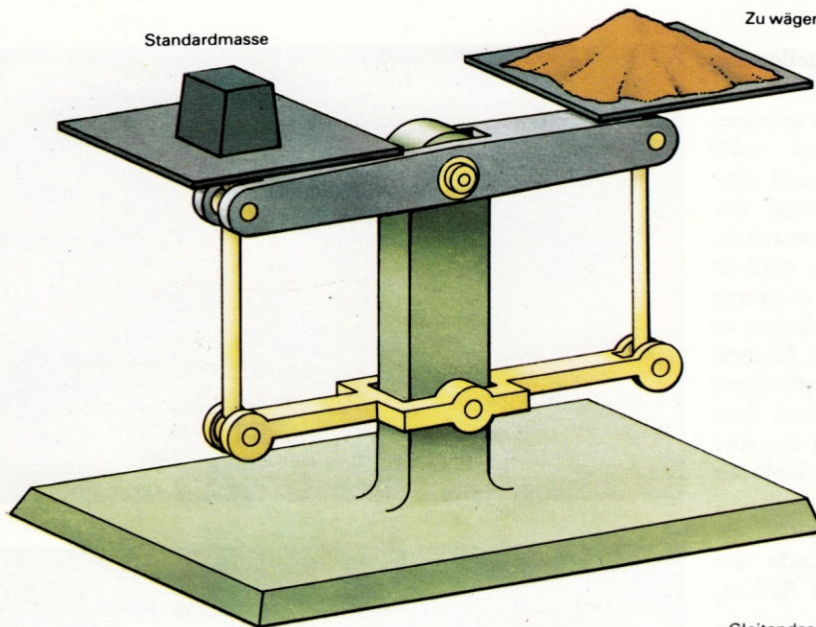
Den Römern gelang eine bedeutende Verbesserung der Waage, als sie am Drehpunkt des Balkens ein Auflager mit

Dreiecksquerschnitt anbrachten; diese Schneide nannten sie 'Fulcrum'. Dadurch wird die Waage empfindlicher und vor allem bei der Wägung kleiner Massen genauer. Bis heute wurde die Konstruktion der Waage noch vielfach verbessert, doch im Prinzip blieb sie ein Instrument, das ein unbekanntes Gewicht durch Vergleich mit einem bekannten ermittelt.

Gegen Ende des 17. Jahrhunderts fand Roberval eine Methode, nach der ohne Verlust an Genauigkeit die Waagschalen und Massen oberhalb des Balkens angebracht werden konnten. Die Lage der Objekte auf der Wägeplatte ist hierbei (auch bei verschiedenem Abstand von der Drehachse) gleichgültig. Eine andere Idee stammt von Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) und benutzt das Prinzip des Pendels nicht nur zur Wägung, sondern auch zur Gewichtsanzeige. Dadurch

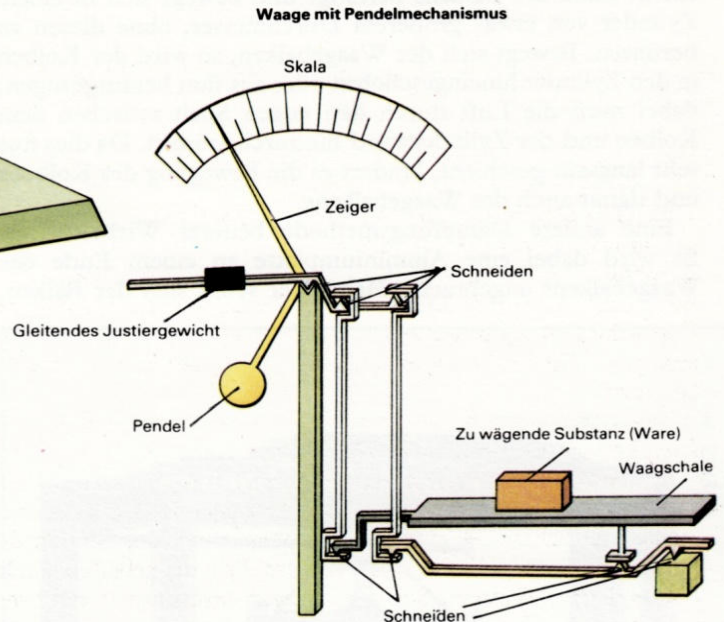
Typische, moderne Waage mit Waagschale, wie sie in den Labors auf der ganzen Welt benutzt wird. Ihr Meßbereich umfaßt etwa 160 g. Sie wird als Konstantlastwaage bezeichnet, da das Gegengewicht genau das Gewicht der Waagschale und der Masse-normale auf der anderen Seite ausgleicht. Die Standardmassen können durch einen Knopfdrehmechanismus verändert werden.





Waage nach dem Roberval-Prinzip

Oben: Waage mit der von Roberval erfundenen Verbindung, wie man sie häufig auf Marktständen antrifft. Die Waagschalen bleiben immer horizontal und genau, unabhängig davon, auf welcher Stelle die Gewichte aufgelegt werden. **Rechts:** Waage mit Pendelmechanismus, bei der das Gewicht von einer Skala abgelesen werden kann, ohne Standardgewichte auf die andere Waagschale legen zu müssen.



wurden selbstanzeigende Waagen verfügbar, bei deren Wägevorgang keine Standardgewichte aufgelegt werden müssen.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts fand man, daß die Vorzüge des Pendels, der Roberval-Waage und einer robusteren Waagenkonstruktion, die von Joseph Beranger erfunden wurde, kombiniert werden können. Diese Kombination ist noch heute in den Postwaagen gebräuchlich, deren Anzeigennadel sich längs einer kreisförmigen Skalenscheibe bewegt.

Die Balkenwaage

Die Balkenwaage ist das wohl einfachste und bekannteste Wäegerät der Welt. Für den Alltagsgebrauch wird im allgemeinen weniger Genauigkeit als Einfachheit und Robustheit gefordert. Wenn jedoch kleine Gewichte zu bestimmen sind oder Präzision erforderlich ist, muß eine sorgfältig konstruierte Waage benutzt werden, um die Fehler gering zu halten. So sind Analysenwaagen dieses Typs in Laboratorien üblich. Sie werden auf eine Grundplatte montiert, die sich durch in der Höhe verstellbare Füße und eine eingebaute Wasserwaage exakt horizontal ausrichten läßt. Der Waagebalken wird aus einer starren, leichten Legierung hergestellt und ist um eine in der Mitte angebrachte Achatschneide drehbar; diese Schneide ruht auf einer Achatplatte am oberen Ende der tragenden Mittelsäule.

An den Enden des Balkens hängt in einem bügelförmigen Halter je eine Waagschale, wobei der Bügel an der Auflagestelle wiederum mit einer Achatschneide versehen ist, die auf einer Achatplatte am Bügelende liegt. An Stelle des Achats wird häufig auch synthetischer Saphir (Korund) verwendet. Die Mitte des Balkens ist fest mit einem Zeiger verbunden, der bis zu einer Skala am Fuß der Mittelsäule herabreicht und anzeigt, wie stark der Balken aus der Horizontalen ausgelenkt ist. Zur Erhöhung der Genauigkeit wird die Waage meist mit einem kleinen 'Reiter' ausgestattet, der stufenweise (je nach seiner Position) das Gewicht von 0,0001 N bis 0,001 N ersetzt.

Durch einen an der Frontseite zu öffnenden Glaskasten

wird die Waage umgeben und so vor Schmutz, Korrosion und ungewollter Beschädigung geschützt. Gleichzeitig wird die Empfindlichkeit erhöht, da auch Luftströmungen und Schwingungen abgehalten werden. Ist die Waage nicht in Betrieb, so wird durch einen Haltemechanismus der Waagebalken ein Stück von der Mittelsäule abgehoben und an jeglicher Bewegung gehindert; dies schützt die Schneiden.

Schaltwaagen

Bei diesem Waagetypp hängen an dem einen Ende des Waagebalkens die Waagschale und ein Satz von Massennormalen; das andere Balkenende ist mit einem festen Gegengewicht versehen. Im unbelasteten Zustand ist die Waage im Gleichgewicht. Zur Wägung wird die Probe auf die Waagschale gelegt. Es werden nun so viele der Massennormalen abgenommen, daß die Waage wieder ausgeglichen ist. Dann entspricht die Probenmasse genau den abgehängten Massen. Das Abnehmen und Aufsetzen wird über Haken durch Drehen einiger Schaltknöpfe außerhalb des Gehäuses vorgenommen. Da die gesamte am Waagebalken angreifende Last konstant ist, bleibt die Empfindlichkeit der Waage unverändert. Gewöhnlich wird nahe dem Gegengewicht ein Zeiger montiert, der an einer Skala die Auslenkung anzeigt. Diese Waagen sind in Industrie- und Forschungslaboratorien gleich häufig zu finden und haben wegen ihrer leichteren und schnelleren Arbeitsweise und wegen ihrer gleichbleibenden Empfindlichkeit die Balkenwaage an Beliebtheit überrundet.

Die Auslenkungswaage

Bei den bisher beschriebenen Waagetypen ist das Gewicht des zu wägenden Objektes dann ausgeglichen, wenn der hin- und herschwingende Zeiger genau die Mittellage einnimmt. Dies ist die genaueste Art, eine Waage zu benutzen; doch in der Praxis ist dies zu langwierig. Die Abweichung des Zeigers von dieser Lage ist jedoch ein Maß dafür, wie stark das Gleichgewicht gestört ist. Benutzt man eine geeignete geeichte

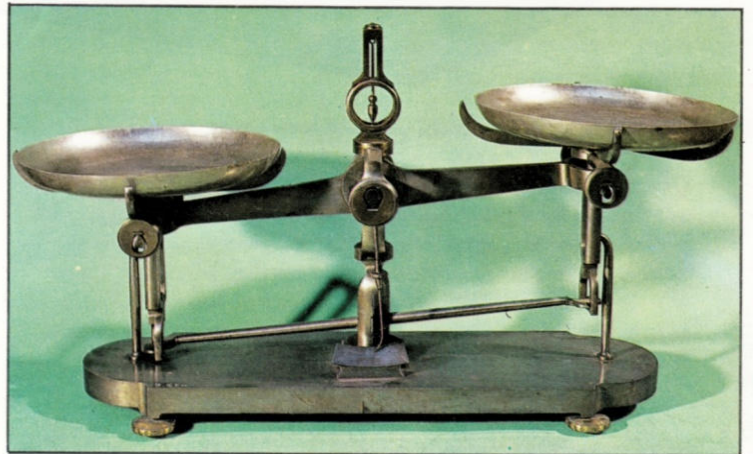
Skala, so gibt die Zeigerstellung die letzten Dezimalstellen des Gewichtes an.

Die meisten in der Praxis gebräuchlichen Waagen arbeiten nach diesem Verfahren; sie werden Auslenkungs- oder aperiodische Waagen genannt. Um möglichst schnell eine konstante Anzeige zu erhalten, wird die Bewegung des Waagebalkens gedämpft. Dies geschieht meist pneumatisch. Ein aus einer leichten Legierung hergestellter Kolben wird an einem Ende des Balkens befestigt und bewegt sich in einem Zylinder von etwas größerem Durchmesser, ohne diesen zu berühren. Bewegt sich der Waagebalken, so wird der Kolben in den Zylinder hineingeschoben oder aus ihm herausgezogen; dabei muß die Luft durch den engen Spalt zwischen dem Kolben und der Zylinderwand hindurchströmen. Da dies nur sehr langsam geschieht, hindert es die Bewegung des Kolbens und damit auch des Waagebalkens.

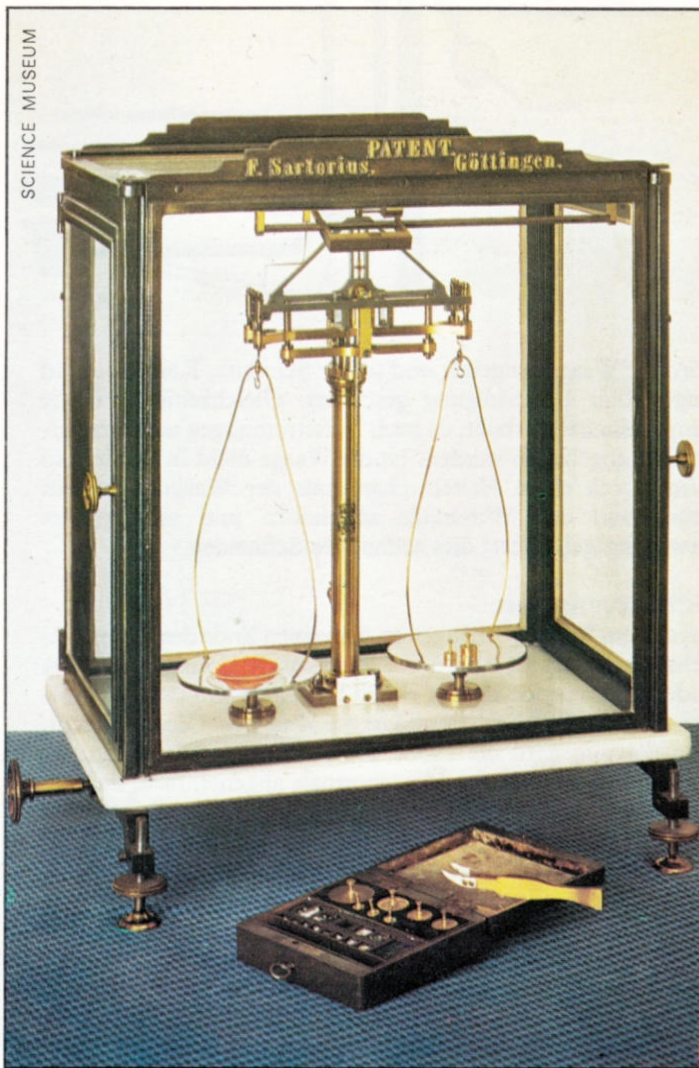
Eine andere Dämpfungsmethode benutzt Wirbelströme. Es wird dabei eine Aluminiumplatte an einem Ende des Waagebalkens angebracht. Hebt oder senkt sich der Balken,



MICHAEL HOLFORD



ECI



SCIENCE MUSEUM

so bewegt sich die Platte zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten. Dadurch werden in der Aluminiumplatte Wirbelströme induziert, die ein Magnetfeld erzeugen. Dessen Richtung ist der des erzeugenden Magnetfeldes entgegengesetzt und bremst die Schwingung der Aluminiumplatte und des Balkens. Manche Waagen haben an beiden Enden solche Dämpfungseinrichtungen.

Die Mikrowaage

Die Mikrowaage ist ein sehr genauer Waagtyp, der Massenunterschiede in der Größenordnung von einem Mikrogramm (ein Millionstel Gramm) messen kann. Die einfachste Form stellt die Quarzfaser-Torsionswaage dar. Der Waagebalken besteht hier aus einem dünnen Quarzstab von etwa 10 cm Länge, der etwa 50 mg Masse hat. Durch dessen Mitte verläuft als Zapfen horizontal eine Quarz-Torsionsfaser, die an zwei vertikalen Quarzfäsern aufgehängt ist. Die tragenden vertikalen Fasern, die den größten Teil der Last halten und etwa in der Mitte zwischen dem Waagebalken und den Enden der Torsionsfaser angebracht sind, haben nur ungefähr 0,004 mm Durchmesser. Das eine Ende des horizontalen Torsionsfadens ist mit einer Spindel verbunden, das andere fest eingespannt. Bei der Wägung wird die Probe bis auf etwa 1 mg durch Gegengewichte ausgeglichen; danach wird die Spindel am Ende des Torsionsfadens so lange verdreht, bis der Waagebalken genau horizontal steht. An einer mit der Spindel verbundenen Anzeigeskala kann der Gewichtsunterschied zwischen der Probe und den aufgelegten Normmassen abgelesen werden. Diese Anordnung wird von einem Metallgehäuse umschlossen, das die Apparatur vor Vibrationen und Temperaturschwankungen, die das Meßergebnis verfälschen würden, schützt.

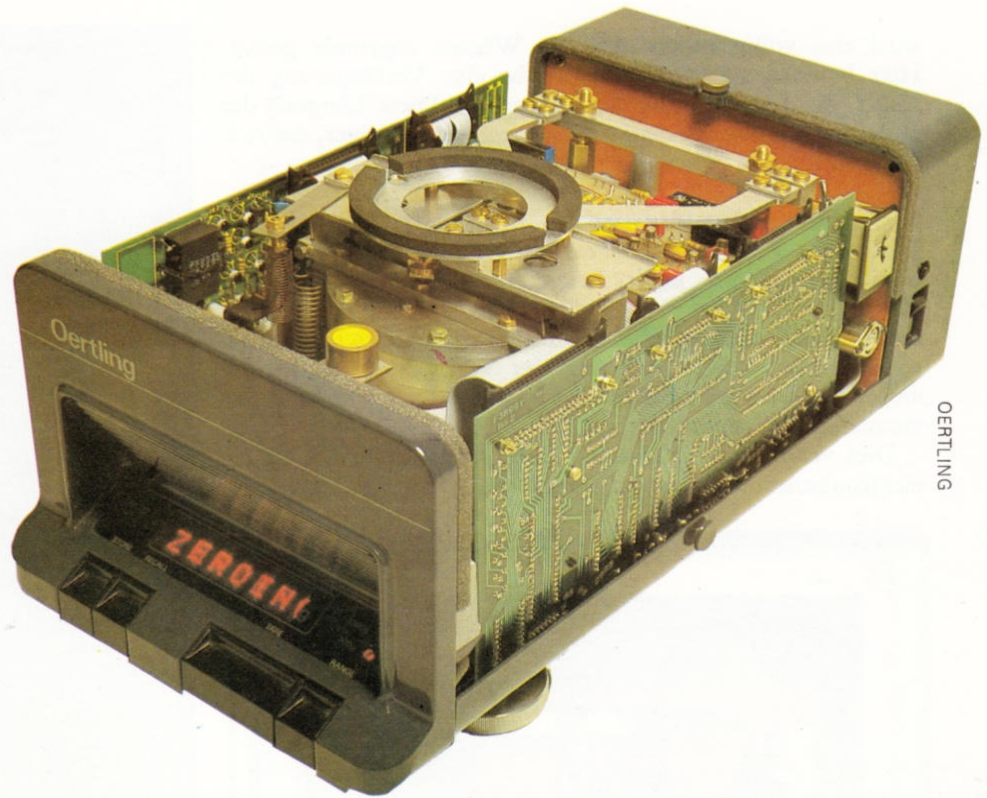
Einige elektrische Mikrowaagen arbeiten mit einem Schwingspulenmechanismus, den man von Amperemetern kennt. In einer Bauart wird der Waagebalken in gleicher

Oben: Bis Paul Burge im Jahre 1866 eine Analysenwaage mit einem kurzarmigen Waagebalken konstruierte, glaubte man, große Genauigkeit nur durch lange Waagebalken erreichen zu können. Sartorius (1846 bis 1925) baute als erster eine Waage mit einem kurzen Aluminiumbalken, einem damals seltenen Metall. Die abgebildete Waage hat einen 14 cm langen Waagebalken und Schneiden aus Stahl; die Maximallast beträgt 200 g. Um die Massenormale nicht zu beschädigen, werden die kleinen Messing- und sehr leichten Platinstücke durch eine an den Enden mit Elfenbein belegte Pinzette aufgelegt und abgenommen.

Links oben: Schon etwa um 100 v. Chr. benutzten die Griechen und Römer diese kleinen tragbaren Waagen zur Wägung wertvoller Metalle. Der dünne rechteckige Balken hat eine ringförmige Schneide, die an einem bronzenen Haken hing. Das zu wägende Gold oder Silber wurde auf die linke Waagschale gelegt, und die Bronzemasse rechts wurde so lange verschoben, bis das Gleichgewicht erreicht war.

Links Mitte: Im 17. Jahrhundert erfand der Mathematiker Roberval diesen Waagetyp für kommerzielle Zwecke. Die Waagen sind robust und genau; außerdem konnten die Ware sowie die Standardmassen ohne Verlust an Genauigkeit an jeder Stelle der Schale aufgelegt werden, mußten also nicht gleich weit von der Mitte entfernt sein.

Rechts: Diese elektronische Waage ist mikroprozessor-gesteuert. Sie kann Gewichte von 200 g bis 10 mg oder von 2 kg bis 1 g unter den schwierigsten Gegebenheiten bestimmen.



OERTLING

Weise mit der Spule verbunden wie der Zeiger des Ampere-meters; am anderen Balkenende hängt eine kleine Waagschale. Liegt eine Probe auf der Waagschale, neigt sich der Balken aus der Horizontalen; zur Rückführung läßt man Strom durch die Spule fließen, wodurch ein magnetisches Feld erzeugt wird. Die zum Heben des Balkens erforderliche Kraft ist der Stromstärke proportional. Mißt man den Strom durch ein Ampere-meter, dessen Skala passend geeicht wurde, kann das Gewicht der Probe direkt abgelesen werden.

Ein fortgeschrittener Typ dieses Instruments enthält zwei Waagschalen an den Enden und die Spule in der Mitte des Balkens. Durch Auflegen von Massenormalen wird das Gewicht der Probe grob angenähert; der Feinabgleich erfolgt wiederum, indem durch einen Stromfluß in der Spule ein Magnetfeld und damit eine Kraft erzeugt wird, die den Balken so dreht, daß er horizontal gerichtet ist. Zur Regelung dient eine fotoelektrische Zelle, die die Balkenneigung mißt und den Strom automatisch steuert. Für noch genauere Messungen werden die Mikrowaagen in evakuierbare Gehäuse eingebaut.

Brückenwaagen

Brückenwaagen sind Wägemaschinen zur Gewichtsbestimmung von Fahrzeugen; sie haben eine Wägekapazität von etwa fünf Tonnen. Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts war das Wägen schwerer Lasten, etwa eines Wagens, eine umständliche Angelegenheit. Die Pferde mußten ausgespannt werden, und anschließend wurde der Wagen so lange gehoben, bis er an einer großen Stahlrahe frei schwebte.

Um das Jahr 1743 erfand John Wyatt eine Karren-Waage, in der ein Hebelsystem so unter der Wägeplatte angebracht war, daß eine daraufliegende Last in jeder Lage die gleiche Gewichtsanzeige ergibt. Fahrzeuge mit Rädern konnten auf die stabile Wägeplatte gerollt und ohne Ausspannen gewogen werden. Zur Gewichtsbestimmung benutzte Wyatt an Hebeln angebrachte 'Proportionalgewichte'.

Im frühen 19. Jahrhundert wurden die Brückenwaagen in ihrer Leistungsfähigkeit stark verbessert, indem die festen Gegengewichte durch zwei oder mehrere am Hebelarm verschiebbare Gegengewichte ersetzt wurden.



C STEVENS

Elektronische Brückenwaage für Lastwagen. Kennt man das Leergewicht des Wagens, so läßt sich das Gewicht der Ladung sofort angeben. Unter der Brücke sind 3 Meßpunkte sichtbar.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Pendelmechanismus erfolgreich auf industrielle Wägemaschinen angewendet, wobei Zahnräder und Zahnstangen zur Drehung des Zeigers um 360° benutzt wurden. Häufig werden mehrere Sätze von Proportionalgewichten benutzt, wodurch der Meßbereich der Waage in mehrere Teilbereiche zerfällt. Brückenwaagen dieses Typs können bis auf ein Sechstausendstel genau wiegen; dies ist etwa doppelt so genau wie die von Pharmazeuten benutzten Balkenwaagen. In modernen Wägemaschinen werden die Proportionalgewichte automatisch hinzugefügt und abgenommen, so daß eine vollautomatische Gewichtsanzeige erreicht ist.

Federwaagen

Die bisher beschriebenen Waagen vergleichen stets das unbekannte Gewicht mit einem bekannten. Bei Federwaagen

wird eine völlig andere Art des Wägens zugrunde gelegt: Hier bewirkt die angehängte Probe eine Verlängerung der Feder, die dem Gewicht proportional ist. Diese Längung der Feder kann entweder direkt oder durch einen Zeiger, der sich längs einer Skala bewegt, gemessen werden.

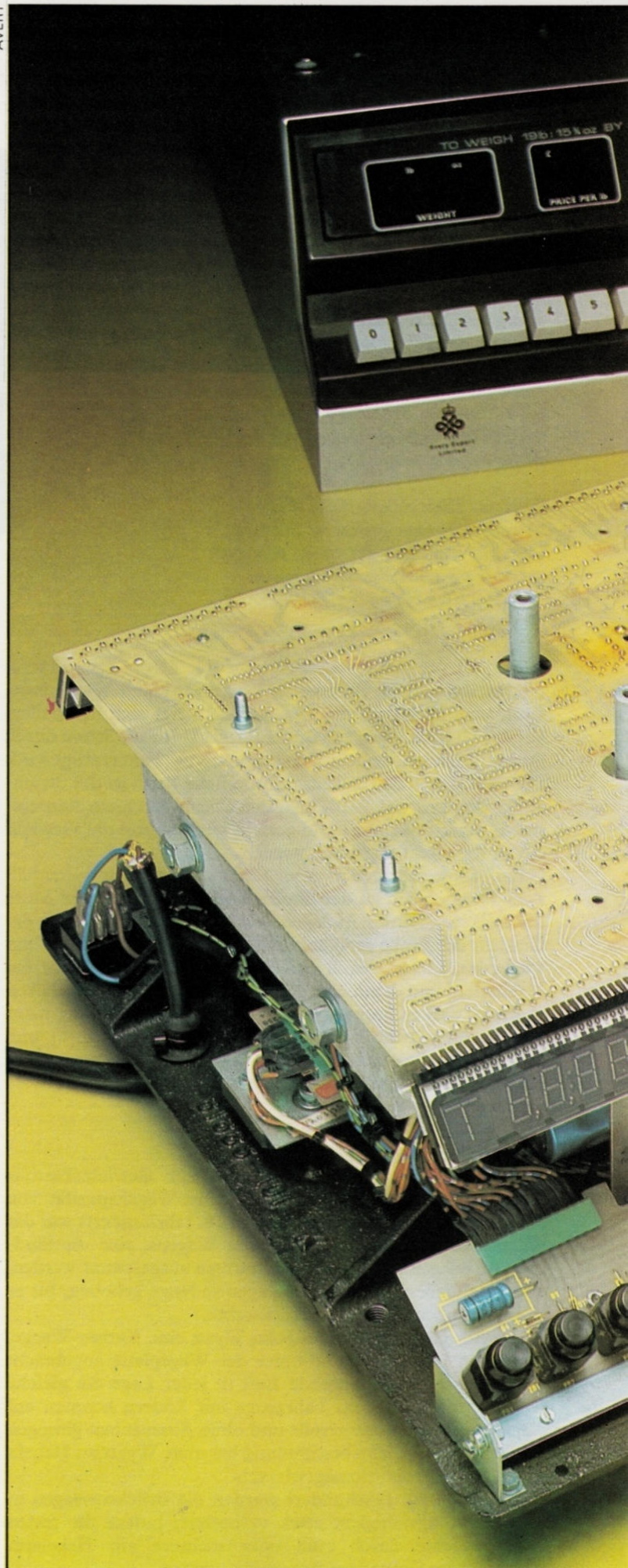
Elektronische Waagen

Die rasche Entwicklung der Elektronik hat in den letzten zwei Jahrzehnten auch bedeutende Veränderungen an Wägemaschinen bewirkt. In einer elektronischen Waage werden Signale erzeugt, die nicht nur zur Gewichtsanzeige, sondern auch zur Berechnung des Verkaufspreises des gewogenen Gutes und vielfach auch zum Erstellen einer Preisauszeichnung benutzt werden.

Dies veränderte die gesamte Lebensmittelindustrie, da die elektronischen Waagen portionierte und verpackte Nahrungs-



Der Kreisel dieser elektronischen Waage vollführt durch Kraft-einwirkung eine Präzisionsbewegung, deren Geschwindigkeit der angelegten Kraft proportional ist und so gemessen werden kann.





Durch Auflegen der Ware und Knopfdruck druckt dieser 'Mini-Preiszeichner' das fertige Etikett mit Gewichts- und Preisangaben.

mittel wägen und mit Preisen auszeichnen können, wie es heute in Supermärkten üblich ist. Eine der ersten derartigen Wägemaschinen war eine mit dem Roberval-Mechanismus kombinierte Federwaage. An Stelle des Zeigers, der an einer Skala das Gewicht anzeigt, wird hier die Federdehnung dazu benutzt, eine codierte Scheibe in Drehung zu versetzen. Ein Lichtstrahl ertastet die Kennung und aktiviert eine Fotozelle gemäß der jeweiligen Codierung (siehe DIGITALE UMWANDLUNGEN). Entspricht jedem Gewicht eine Kennung auf der Scheibe, so wird über die Fotozelle die Nachricht durch Anliegen oder Abwesenheit einer Spannung an ein Terminal weitergegeben; normalerweise gibt es zehn solcher Terminals, wodurch 1 024 verschiedene Gewichte angezeigt werden können.

In einem Digitalanzeigergerät werden diese Signale in arabische Ziffern umgesetzt. Zusätzlich läßt sich das Ergebnis mit einem konstanten Faktor, hier dem Preis pro Gewichtseinheit, multiplizieren und auf einem Drucker ausdrucken.

Elektronische Wägetechniken werden auch auf Brückenwaagen angewendet; dies führt zu größerer Flexibilität sowohl beim Aufstellen (da die Gewichtsanzeige nicht mehr durch Hebelsysteme mit der Waageplatte verbunden ist) als auch in der Handhabung von Brückenwaagen (da periphere Geräte wie Datenverarbeitungsanlagen angeschlossen werden können).

Elektronische Waage mit Gewichtsbestimmung durch Umsetzung in Spannungsmessung. Die Waagschale ist abgenommen.

WALZEN VON METALL

Walzen ist das wohl wichtigste Verfahren zur spanlosen Formung metallischer Werkstoffe: In einem Walzwerk lassen sich Stangen und Stäbe, Formstahl und Profile, Platten und Bleche ebenso herstellen wie nahtlose Rohre.

Im Prinzip handelt es sich beim Walzen von Metall um ein einfaches Verfahren. Die aus Eisen oder Stahl bestehenden zylindrischen Walzen eines Walzenpaares rotieren mit entgegengesetztem Drehsinn; dazwischen liegt der sogenannte Walzenspalt, der kleiner als der Querschnitt des auszuwalzenden Werkstückes ist. Das Walzgut wird in den Spalt eingezogen und bei jedem Durchgang durch die Walzen ('Stich') verformt, so daß bei gleichbleibender Materialmasse eine schrittweise Querschnitt- bzw. Höhenabnahme erzielt wird. Die pro Stich realisierbare Querschnittsabnahme liegt zwischen 10% und 30%, so daß in der Regel zahlreiche Walzstiche erforderlich sind.

Trotz der Einfachheit des Verfahrens ist ein modernes Walzwerk mit seinen Antriebs-, Hilfs- und Adjustagevorrichtungen eine technisch äußerst komplizierte Anlage, bei der enorme Kräfte beherrscht werden müssen. Beim Durchlaufen des Walzgutes durch den Spalt wirken Kräfte auf die Walzen, die ein Durchbiegen verursachen können. In einem großen Walzwerk können diese Kräfte leicht mehrere Hundert Tonnen betragen. Die Walzen müssen deshalb in massiven Stahlständern gelagert sein, die die zwangsläufig auftretenden

Verformungen auf ein Minimum beschränken, da ein übermäßiges Durchbiegen der Walzen Form und Maßgenauigkeit des ausgewalzten Werkstückes beeinträchtigen würde.

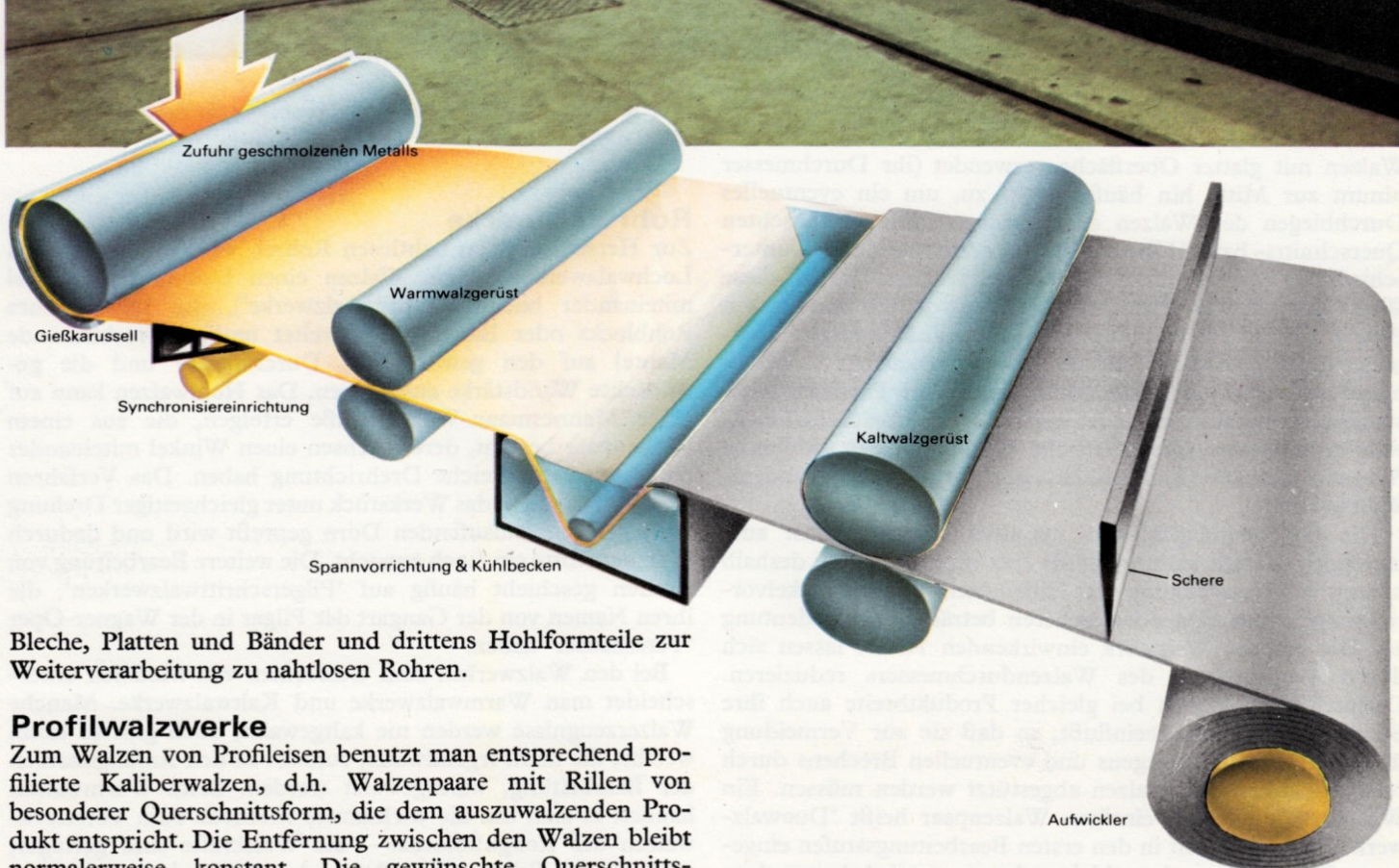
Die Walzen sind in einem sogenannten 'Walzgerüst' gelagert. Je nachdem, ob ein Walzwerk aus einem oder mehreren Walzgerüsten besteht, spricht man von ein- oder mehrgerüstigen 'Walzenstraßen'. Dabei sind unterschiedliche Anordnungen denkbar: So stehen z.B. beim Umsteckwalzwerk mehrere Walzgerüste nebeneinander, wobei die einander direkt benachbarten Gerüste zwangsläufig jeweils in entgegengesetzter Richtung arbeiten, während beim Tandem-Walzwerk zwei oder mehrere Walzgerüste geradlinig dicht hintereinander angeordnet sind. Häufig bearbeiten alle Walzgerüste dasselbe Walzgut ('kontinuierliches Walzwerk'). Als Walzantrieb dienen leistungsstarke Elektromotoren, die bei einigen Walzwerktypen auch umschaltbar und damit in der Lage sein müssen, die Umdrehungsrichtung der Walzen nach jedem Walzstich umzukehren.

Die Form der Walzen hängt von der Art der herzustellenden Erzeugnisse ab. Dabei unterscheidet man grob drei Kategorien: erstens Stab- und Stangenstahl sowie Profilmaterial wie Schienen, Winkelstahl, U-Formstahl usw., zweitens

***Rechts:** Eine Walzstrecke in einem modernen Walzwerk, auf der Stangenstahl hergestellt wird.*

***Unten:** Die Überwachung der Walzstrecken ist heute weitgehend automatisiert, wie z.B. in diesem Brammenwalzwerk.*



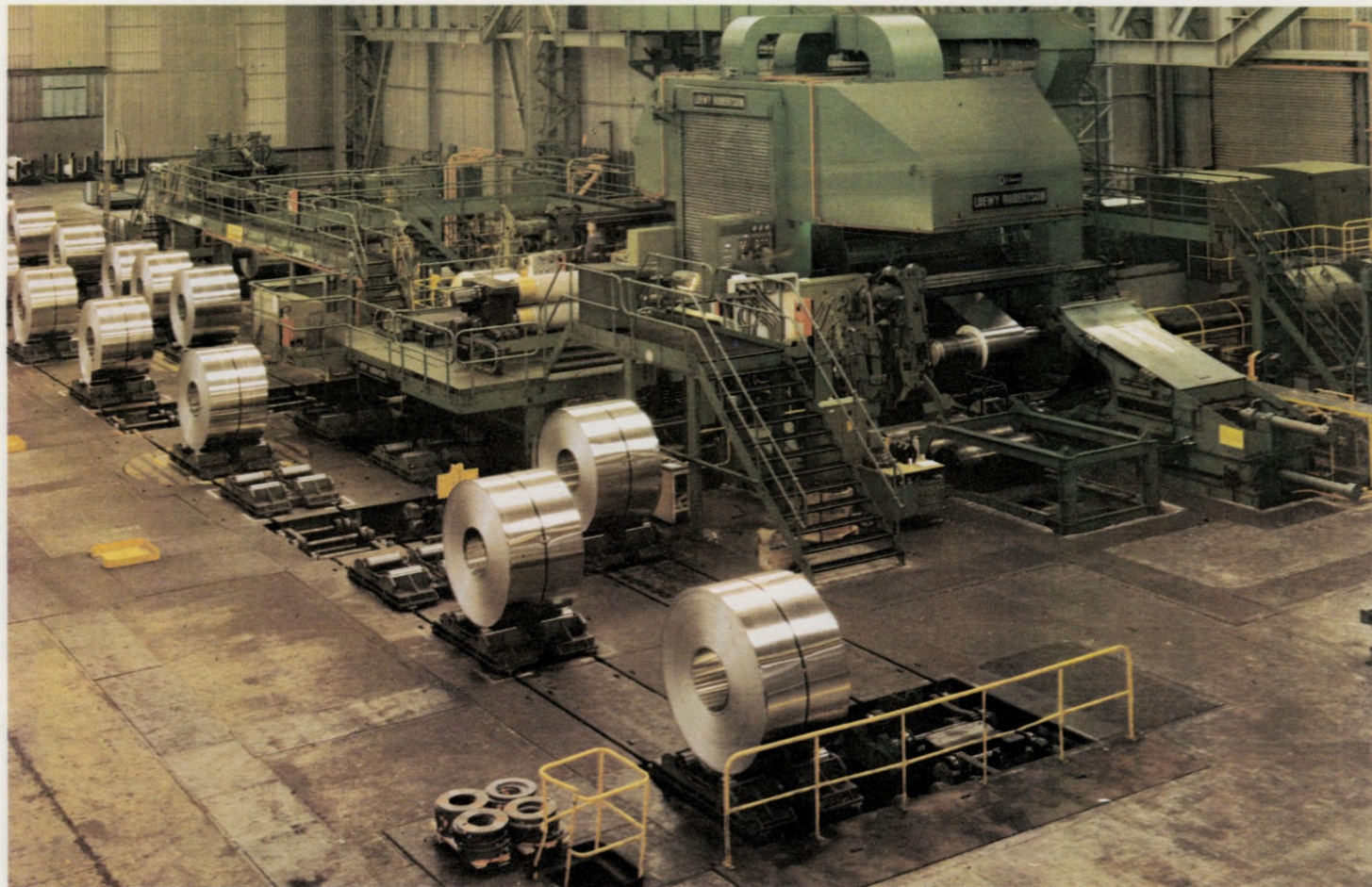


Bleche, Platten und Bänder und drittens Hohlformteile zur Weiterverarbeitung zu nahtlosen Rohren.

Profilwalzwerke

Zum Walzen von Profileisen benutzt man entsprechend profilierte Kaliberwalzen, d.h. Walzenpaare mit Rillen von besonderer Querschnittsform, die dem auszuwalzenden Produkt entspricht. Die Entfernung zwischen den Walzen bleibt normalerweise konstant. Die gewünschte Querschnittsabnahme und Formung erfolgt dadurch, daß man das Werkstück von Stich zu Stich durch immer kleinere Rillen laufen läßt. Bei der endgültigen Formgebung komplizierter Profile muß sehr sorgfältig gearbeitet werden. Die Berechnung der dazu erforderlichen Walzenkaliber und Walzstiche ähnelt noch immer mehr einer Kunst als einer Wissenschaft. Profile mit Unterschnitt lassen sich natürlich nicht auswalzen.

Oben: Kontinuierliche Gieß- und Walzstrecke. Geschmolzenes Metall wird in einem Gießkarussell zu Blech geformt. Dieses wird über eine Synchronisiereinrichtung dem Warmwalzgerüst zugeführt, dann gelangt es über ein Kühlbecken zum Kaltwalzgerüst. Für eine gleichmäßige Spannung zwischen den Gerüsten sorgt eine Spannvorrichtung in dem Kühlbecken. Das Blech wird mit einer fliegenden Schere geschnitten.



Flachwalzwerke

Zum Auswalzen von Platten, Blechen und Bändern werden Walzen mit glatter Oberfläche verwendet (ihr Durchmesser nimmt zur Mitte hin häufig leicht zu, um ein eventuelles Durchbiegen der Walzen auszugleichen). Die gewünschten Querschnitts- bzw. Höhenabnahmen erzielt man durch unterschiedliche Spaltbreiten zwischen den Walzen. Die auf diese Weise hergestellten Erzeugnisse reichen von 300 mm starken Platten für die Schwerindustrie bis hin zu nur wenige Mikrometer dickem Bandstahl für die Elektronikindustrie (1 Mikrometer $\mu\text{m} = 1$ Tausendstel Millimeter). Vom Produktivitätsstandpunkt aus gesehen ist das am weitesten entwickelte Flachwalzverfahren die kontinuierliche Produktion des stählernen Ausgangsmaterials für Weißblech in mehrgerüstigen Tandem-Walzwerken.

Die Geschwindigkeit des aus dem letzten Gerüst auslaufenden Metalls kann mehr als 100 km/h betragen; deshalb kommt der Konstruktion von Hilfsmitteln wie Aufwickelvorrichtungen und fliegenden Scheren beträchtliche Bedeutung zu. Die auf das Walzwerk einwirkenden Kräfte lassen sich durch Verringerung des Walzendurchmessers reduzieren. Dadurch wird jedoch bei gleicher Produktbreite auch ihre Stabilität ungünstig beeinflusst, so daß sie zur Vermeidung übermäßigen Durchbiegens und eventuellen Brechens durch relativ schwere Stützwalzen abgestützt werden müssen. Ein Walzwerk mit einem einzigen Walzenpaar heißt 'Duowalzwerk' und wird meist in den ersten Bearbeitungsstufen eingesetzt. Ein 'Quartowalzwerk' besteht aus zwei Arbeitswalzen und zwei Stützwalzen. Walzwerke mit sechs oder mehr Walzen bezeichnet man als Vielwalzengerüste — sie werden für die Herstellung von extrem dünnem und hartem Bandstahl verwendet. So hat z.B. ein in den USA zur Herstellung von nur 2 μm bis 3 μm dicken Computerbändern verwendetes Walzwerk insgesamt 20 Walzen, von denen die Arbeitswalzen nicht stärker als Stricknadeln sind.

Ein Kaltbandwalzwerk, in dem Aluminium flachgewalzt und dann aufgerollt wird.

Rohrwalzwerke

Zur Herstellung von nahtlosen Rohren wird in sogenannten Lochwalzwerken, deren Walzen einen bestimmten Winkel miteinander bilden ('Schrägwalzwerke'), das Innere eines Rohblocks oder Barrens aufgeweitet und der verbleibende Mantel auf den gewünschten Durchmesser und die gewünschte Wandstärke ausgezogen. Das Hohlwalzen kann auf einer Mannesmann-Walzenstraße erfolgen, die aus einem Walzenpaar besteht, deren Achsen einen Winkel miteinander bilden und die gleiche Drehrichtung haben. Das Verfahren besteht darin, daß das Werkstück unter gleichzeitiger Drehung auf einen spitzzulaufenden Dorn gepreßt wird und dadurch in seiner Mitte ein Loch entsteht. Die weitere Bearbeitung von Rohren geschieht häufig auf 'Pilgerschrittwalzwerken', die ihren Namen von der Gangart der Pilger in der Wagner-Oper 'Tannhäuser' haben.

Bei den Walzwerken zum Umformen von Metallen unterscheidet man Warmwalzwerke und Kaltwalzwerke. Manche Walzerzeugnisse werden nie kaltgewalzt, doch gibt es kaum welche, die nicht irgendwann, zumeist in den Anfangsstadien der Bearbeitung, warmgewalzt werden. Beim Warmwalzen handelt es sich um die wirksamste Methode zum Vorstreckwalzen des Rohgußblockes — die Walzkräfte sind geringer, und manche Fehler im Gußstück lassen sich bei erwärmtem Metall leichter ausmerzen. Im Warmwalzwerk betragen die Bearbeitungstemperaturen ungefähr 1000°C bei Flußstahl und 450°C bei Aluminium. Das Kaltwalzen erfolgt bei Zimmertemperatur und hat eine Hartung des metallischen Werkstoffes zur Folge, der deshalb in bestimmten Abständen einer WÄRMEBEHANDLUNG unterzogen werden muß ('Weichglühen').

Erfindungen 60: VERBRENNUNGSMOTOR

Die Anfänge des Verbrennungsmotors lassen sich bis etwa zum Jahre 1670 zurückverfolgen, als Christiaan Huygens (1629 bis 1695) und Denis Papin (1647 bis 1712) Versuche mit einem Motor durchführten, in dessen Zylinder Schießpulver zur Explosion gebracht wurde, um einen Kolben zu bewegen. Es sollten jedoch noch beinahe zwei Jahrhunderte — die Zeit der Vorherrschaft der Dampfmaschinen — vergehen, bis ein funktionsfähiger Verbrennungsmotor konstruiert wurde.

Gasmotoren

Im Jahre 1860 stellte der französische Ingenieur Etienne Lenoir (1822 bis 1900) die ersten erfolgreichen Verbrennungsmotoren her. Seine Motoren ähnelten in Form und Arbeitsweise einer Dampfmaschine mit doppelwirkendem Zylinder. Jedoch wurde der Kolben dieses Motors statt mit Dampf mit einem aus Gas (z.B. Kohlengas) und Luft bestehendem Gemisch betrieben, wobei dieses Gemisch im Zylinder selbst durch einen Funken gezündet wurde. Lenoirs Gasmotor war von Anfang an als kleine, industrielle Kraftquelle erfolgreich, da er trotz hohen Gasverbrauches ein problemlos zu bedienender Kompaktmotor war.

Es folgten verschiedene Verbesserungen zur Leistungssteigerung des Gasmotors, wozu auch eine Ausführung gehörte, die nach dem bereits um das Jahr 1712 von dem englischen Schmied Thomas Newcomen (1663 bis 1729) bei seiner atmosphärischen Dampfmaschine angewandten Prinzip arbeitete. Die bemerkenswerteste Entwicklung war die Einführung eines Verdichtungs-hubes zur Steigerung der Verdichtung des Gas-Luft-Gemisches, bevor es gezündet wurde. Das Verdienst, dieses 'Viertakt-Arbeitsspiel' erfunden zu haben, wird in der Regel dem deutschen Ingenieur Otto (1832 bis 1891), Mitinhaber der Firma Otto und Langen (Gasmotorenfabrik Deutz & Co), zugeschrieben, obgleich diese Arbeitsweise kurz zuvor

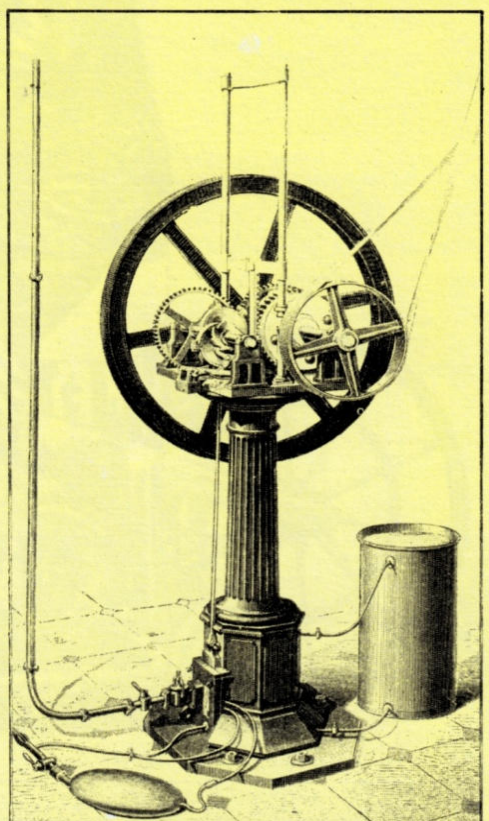
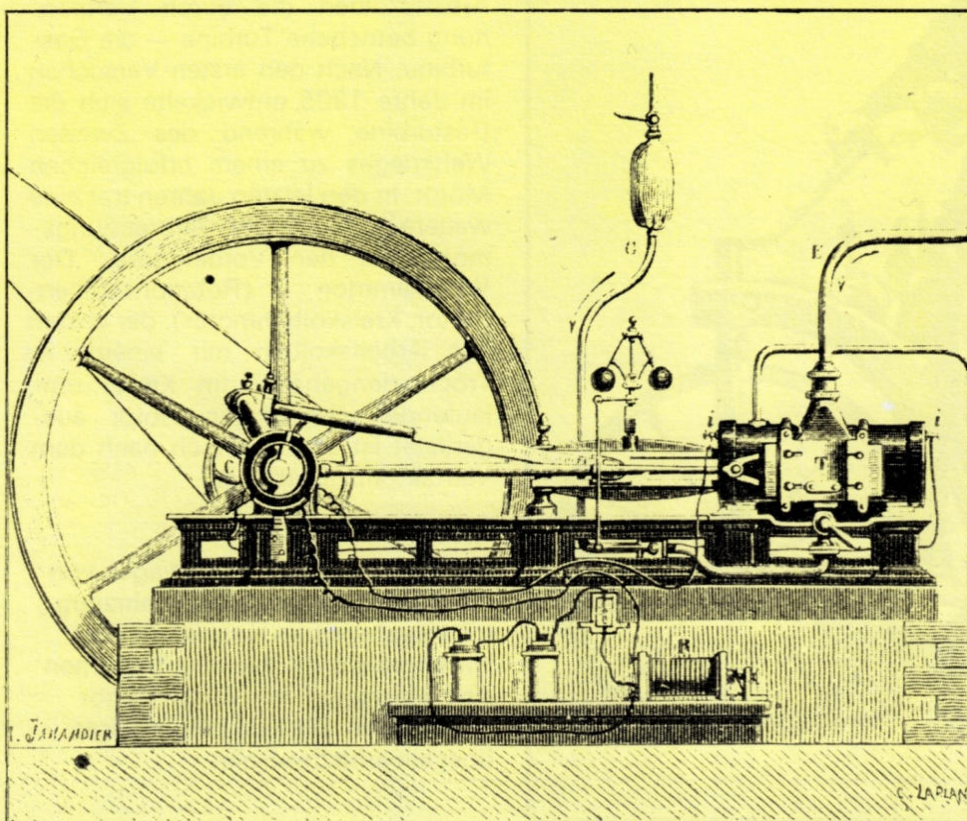
Unten links: Lenoirs erster Gasmotor aus dem Jahre 1860. Er erbrachte keine zufriedenstellende Leistung, weil das Gas vor dem Zünden nicht verdichtet wurde. Wie bei einem modernen Kraftwagen wurde der Funke schon von der Zündspule erzeugt.

Unten rechts: Eine Ausführung des Gasmotors von Otto und Langen. Der Zylinder war im Inneren des Sockels untergebracht.

bereits von dem französischen Eisenbahningenieur Beau de Rochas in Paris (der jedoch nie einen Motor nach seinen Vorstellungen baute) zum Patent angemeldet worden war. Gasmotoren nach Ottos Viertakt-Arbeitsspiel wurden ab 1876 hergestellt; ihre verbesserte Leistung bewirkte, daß sich diese Motoren als ortsfeste Kraftquelle steigender Beliebtheit erfreuten. Ihre Fähigkeit, sofortige Leistung zu erbringen, ohne daß ein störender Dampfkessel erforderlich war, führte dazu, daß viele kleine Dampfmaschinen von ihm verdrängt wurden. Gasmotoren waren allerdings zum Antrieb von Fahrzeugen nicht sehr gut geeignet, weil sie einerseits nur eine geringe Drehzahl (etwa 200 Kurbelwellenumdrehungen pro Minute) erbringen konnten und andererseits bei einer Leistung von 0,735 kW bis 2,205 kW (1 PS bis 3 PS) etwa 800 kg bis 1 500 kg wogen und somit ein äußerst ungünstiges Verhältnis zwischen Leistung und Gewicht besaßen. Überdies mußte diesen Motoren Gas aus großen Behältern mit beträchtlichem Gewicht zugeführt werden.

Der Daimler-Motor

Petroleum, wie das Benzin für Kraftfahrzeugmotoren zu Daimlers Zeiten



in der Öffentlichkeit genannt wurde, um über die 'Gefährlichkeit' des verwendeten Kraftstoffes hinwegzutäuschen, verdunstet sehr leicht, und es zeigte sich, daß das Benzin das Gas zum Antreiben von Motoren ablösen konnte. Im Jahre 1881 verließ ein Angestellter — Gottlieb Daimler (1834 bis 1900) — die von Otto und Langen gegründete Gasmotorenfabrik Deutz, um seinen eigenen schnellaufenden Benzinmotor zu bauen. Unterstützt von seinem engen Freund Wilhelm Maybach (1846 bis 1929) arbeitete Gottlieb Daimler unermüdlich an seiner Erfindung, und im Jahre 1885 konnte er den einwandfrei arbeitenden Motor zum Patent anmelden. Es handelte sich um einen Viertaktmotor mit stehendem Zylinder, der eine Leistung von 0,367 kW (0,5 PS) abgeben konnte. Von größerer Bedeutung jedoch war die Tatsache, daß er mit flüssigem Kraftstoff betrieben wurde und eine im Vergleich zu Gasmotoren sehr hohe Drehzahl von ungefähr 700 U/min erbrachte. Daimler bot diesen Motor seinen früheren Arbeitgebern an und stieß auf Ablehnung. Er ließ sich jedoch nicht entmutigen und baute seinen

Motor in ein einfaches Motorrad ein.

Im gleichen Jahr, 1885, baute ein anderer deutscher Ingenieur, Carl Benz (1844 bis 1929), unabhängig von anderen, einen mit einem Verbrennungsmotor ausgerüsteten dreirädrigen Wagen. Sein Motor war jedoch nicht so ausgereift wie der von Daimler — er war schwer und erbrachte keine hohe Drehzahl. Im Jahr darauf baute Daimler einen vierrädrigen Wagen mit schnellaufendem Benzinmotor.

Der Kraftwagen mit Benzinmotor

Die Bedeutung der Erfindung des mit einem Benzinmotor ausgerüsteten Kraftwagens trat nicht sofort in Erscheinung, weil sich Ende des 19. Jahrhunderts die Eisenbahnen als Transportmittel durchgesetzt hatten, während Kraftwagen teuer und unzuverlässig waren. Darüber hinaus war der Verbrennungsmotor nicht die einzige verfügbare Antriebsquelle für Kraftwagen; es wurden auch Dampfmaschinen und Elektromotoren mit Erfolg verwendet. Die von Henry Ford (1863 bis 1947) Anfang des 20. Jahrhunderts in Amerika eingeführten Massenproduktionsmetho-

den (Arbeitsteilung und Rationalisierung) trugen wesentlich dazu bei, dem Benzinmotor die vorherrschende Stellung einzuräumen, die er heute einnimmt.

Der Ölmotor

Während der Benzinmotor eingeführt wurde, entwickelte sich nebenher eine andere Bauart von Verbrennungsmotoren als nutzbare Antriebsquelle: Der Ölmotor, der mit minderwertigem Heizöl betrieben wurde und in seinen Anfängen dem Benzinmotor stark ähnelte. Einer der ersten Motoren dieser Art, der sich als wirtschaftlicher Erfolg erweisen sollte, wurde im Jahre 1888 von der Firma Priestman Brothers in Hull, England, vorgestellt. Das Kraftstoff/Luft-Gemisch wurde zunächst verdichtet und erwärmt, ehe es in den Zylinder eingeleitet und durch einen elektrischen Funken gezündet wurde.

Der Dieselmotor

Im Jahre 1892 meldete Rudolf Diesel (1858 bis 1913) in Deutschland eine Verbrennungskraftmaschine mit Kompressionszündung zum Patent an, bei der keinerlei Vorheizung erforderlich war. Die in den Zylinder eingeblasene Luft wurde durch den Kolben auf einen hohen Druck verdichtet, danach wurde der Kraftstoff eingespritzt und durch die infolge der starken Verbindung entstandene hohe Temperatur sofort gezündet.

Der Wankelmotor

Ebenso wie auf den Dampf-Kolbenmotor die Dampfturbine folgte, folgte auf den Verbrennungsmotor mit Arbeitskolben die durch Verbrennung betriebene Turbine — die Gasturbine. Nach den ersten Versuchen im Jahre 1905 entwickelte sich die Gasturbine während des Zweiten Weltkrieges zu einem erfolgreichen Motor. In den letzten Jahren trat eine weitere Version des Verbrennungsmotors in den Vordergrund: Der Wankelmotor (Rotationskolbenmotor, Kreiskolbenmotor), der anstatt mit Arbeitskolben mit einem im Trochoidengehäuse im Kreise umlaufenden dreieckigen Rotor ausgerüstet ist und dennoch nach dem Viertaktprinzip arbeitet.

Daimlers Petroleum-Reitwagen von 1885 war ein sehr stabiles Fahrzeug mit eisenbereiften Holzrädern. Das Hinterrad wurde über einen ledernen Antriebsriemen vom Benzinmotor angetrieben. Die Zündung erfolgte über ein erhitztes Rohr.

