

HEFT 45 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25 SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

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



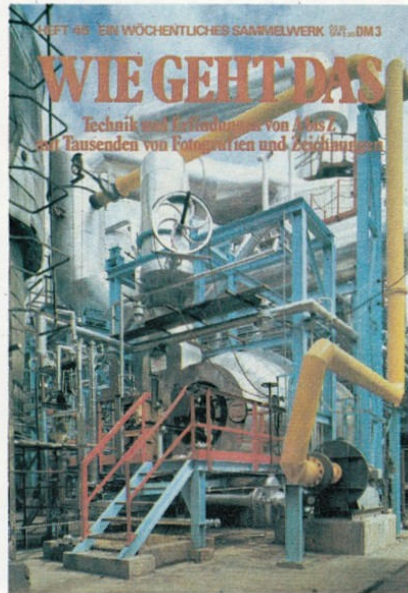
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Resonanz	1233
Riemenscheibe	1236
Roboter	1238
Rohre	1240
Röhrenherstellung	1243
Rolltreppe	1246
Röntgenstrahlen	1249
Rohstoff- rückgewinnung	1253
Rückkopplung	1257
Rückstossfreies Geschütz	1259

In Heft 46 von Wie Geht Das



Säuren — insbesondere Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure — sind wichtige Rohstoffe in zahlreichen modernen Industrieverfahren. Lernen Sie in Heft 46 von WIE GEHT DAS, wie diese Säuren hergestellt werden.

Seit dem ersten Satellitenabschuß — des Sowjetischen 'Sputnik 1' im Jahre 1957 — sind viele Hunderte von Satelliten in die Erdumlaufbahn geschickt worden. Lesen Sie, wie Satelliten hergestellt werden, wie sie in die Erdumlaufbahn gelangen und wozu sie Verwendung finden im Heft nächster Woche von WIE GEHT DAS.

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.

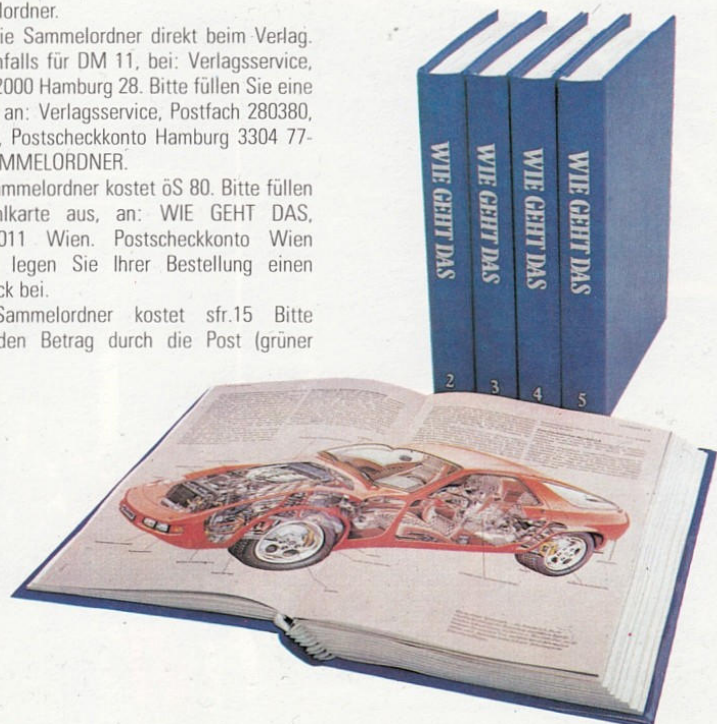
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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



RESONANZ

Die bekannte Geschichte, wonach ein reiner Ton ein Kristallglas zum Bersten bringt, läßt sich durch das Phänomen der Resonanz verstehen, bei der ein Objekt durch einen Erreger in Schwingung gerät.

Die Erscheinung, daß ein schwingungsfähiges System mit großen Ausschlägen auf eine aufgezwungene, periodische Schwingung bestimmter Frequenz antwortet, wird Resonanz genannt und ist für alle Schwingkreise ('Oszillatoren') charakteristisch.

In vielen physikalischen Systemen schwingen Teile um ihre Gleichgewichtslage, wenn sie durch eine Kraft oder einen sonstigen äußeren Einfluß ausgelenkt wurden. Überläßt man die Schwingung nach der anfänglichen Auslenkung sich selbst, nehmen die größten Auslenkungen, die Amplituden, schrittweise ab, da durch Reibung oder andere Widerstände gegen die Schwingung dem Oszillator Energie entzogen wird; dieser Amplitudenabfall wird Dämpfung genannt. Die Anzahl der vollendeten Schwingungen in einer Zeiteinheit wird Schwingungsfrequenz genannt. Jedes schwingungsfähige, physikalische System schwingt mit einer charakteristischen Frequenz nach einer einmaligen Anregung, der 'Eigenfrequenz'. Diese wird durch die physikalische Beschaffenheit und die Größe der Systembauteile des Oszillators bestimmt.

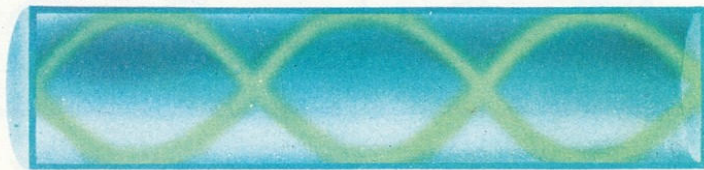
Wird ein Oszillator nicht nur einmal, sondern in regelmäßigen Abständen zu Schwingungen angeregt, schwingt das System nicht mit seiner Eigenfrequenz, sondern mit der



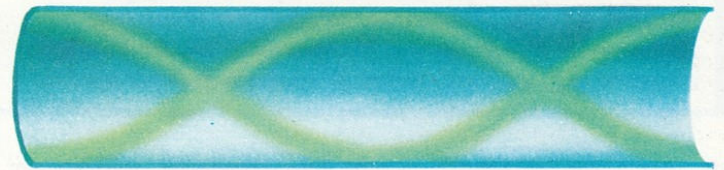
Oben: Der Einsturz der Tacoma-Narrows-Brücke in Washington wurde im Jahre 1940 durch Resonanz verursacht. Windböen mit etwa 70 km/h Windgeschwindigkeit erzwangen eine Schwingung, die zum Einsturz der Brücke führte. Nach diesem Unglück wurden Brücken dieses Typs mit größerer Steifigkeit konstruiert.

Frequenz der anregenden Kraft. Stimmt diese Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Oszillators überein, wird die Amplitude der erzwungenen Schwingung 'aufgeschaukelt',

Stehende Wellen



Reflexion am geschlossenen Ende (Knoten)

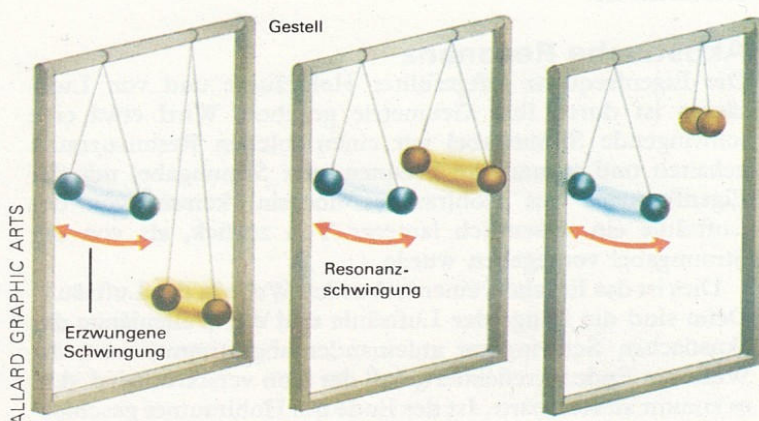


Reflexion am offenen Ende (Wellenbauch)

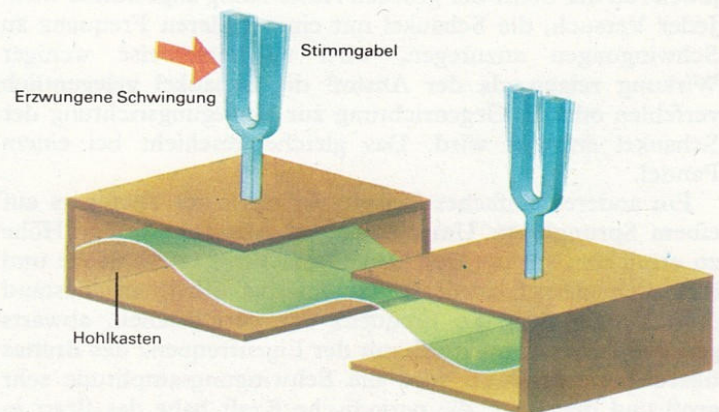
Oben: Eine in einem geschlossenen Rohr stehende Luftsäule zeigt bei bestimmten Frequenzen Resonanz. Da das Rohr geschlossen ist, steht die Luft an den Enden, es bilden sich Knoten. In der Mitte zwischen den Knoten hat die Luft ein Maximum an Bewegung, sogenannte Wellenbäuche. Hier wird

die zweite Oberschwingung gezeigt.

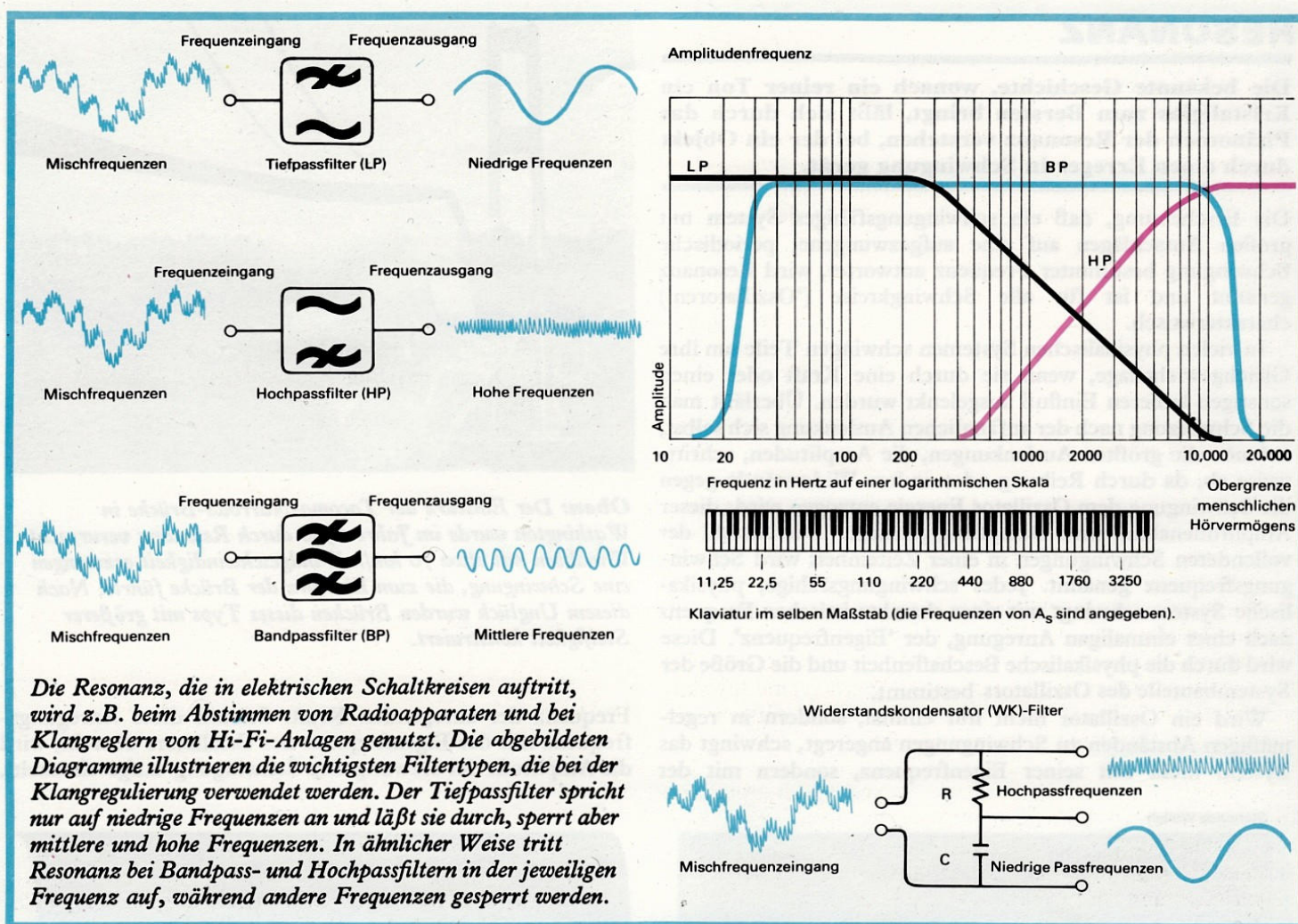
Oben: An den Enden eines offenen Rohres sind stets Wellenbäuche (d.h. das Maximum der Bewegung). Die gezeigte stehende Welle ist die erste Oberschwingung (mit zwei Knoten). Die Grundschwingung besitzt nur einen Knoten.



Oben: Wird eines der beiden unterschiedlich langen Pendel in Bewegung gesetzt, induziert dies kaum eine Pendelbewegung im zweiten Pendel. Resonanz führt bei zwei genau gleich langen Pendeln zu maximalen Ausschlägen beider Pendel.



Oben: Resonanz zweier identischer Stimmgabeln. Die Öffnungen der Hohlräume sind einander zugewandt. Der Ton der einen Stimmgabel setzt sich in den anderen Hohlraum fort und regt durch die Luftschwingungen die zweite Stimmgabel zum Schwingen an.



da durch die anregende Kraft dem Oszillator ständig der größtmögliche Energiebetrag zugeführt wird. Dieser Fall des maximalen Energieübertrages wird Resonanz genannt.

Mechanische Resonanz

Ein einfaches Beispiel der Resonanz eines mechanischen Systems ist das Anstoßen eines Kindes auf einer Schaukel. Die Resonanz und die maximale Amplitude werden dann erreicht, wenn man mit der Frequenz anschiebt, mit der die Schaukel schwingt. Mit anderen Worten: Wenn die Schaukel jeweils an der Stelle der größten Auslenkung angestoßen wird. Jeder Versuch, die Schaukel mit einer anderen Frequenz zu Schwingungen anzuregen, wird vergleichsweise weniger Wirkung zeigen, da der Anstoß die Schaukel gelegentlich verfehlen oder in Gegenrichtung zur Bewegungsrichtung der Schaukel erfolgen wird. Das gleiche geschieht bei einem Pendel.

Ein anderes einfaches Beispiel ist das eines Springers auf einem Sprungbrett. Um die für den Absprung nötige Höhe zu erreichen, springt der Athlet vom Brett in die Höhe und lässt sich darauf zurückfallen. Hierbei wird ein Zustand erreicht, bei dem die Frequenz der periodischen, abwärts gerichteten Kraft praktisch mit der Eigenfrequenz des Brettes übereinstimmt. Dann wird die Schwingungsamplitude sehr groß und man sagt, die periodische Kraft habe das Brett in Resonanz versetzt.

Die in der Resonanz vom System aufgenommene Energie kann so groß sein, daß sie zur Zerstörung des Systems führt. So können zum Beispiel im Gleichschritt über eine Brücke marschierende Soldaten eine solche periodisch anregende Kraft für die Brücke darstellen. Stimmt die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Bauwerkes überein, nimmt

die Brücke eine sehr große Energiemenge durch Resonanz auf. Die entstehende große Schwingungsamplitude kann zum Einsturz der Brücke führen.

Mehrere derartige Begebenheiten sind überliefert, und es ist lange geübter Brauch, den Gleichschritt während der Überquerung einer Brücke auszusetzen. Der vielleicht bekannteste und dramatischste Brückeneinsturz durch Resonanz erfolgte im Jahre 1940 beim Reißen der Aufhängung an der Tacoma-Narrows-Brücke in Washington (USA). Windböen, die mit der Resonanzfrequenz der Brücke einsetzten, zerstörten sie.

Akustische Resonanz

Die Eigenfrequenz luftgefüllter Hohlräume und von Luftsäulen ist durch ihre Geometrie gegeben. Wird etwa eine schwingende Stimmgabel vor einen solchen Resonanzraum gehalten und stimmt die Frequenz der Stimmgabel mit der Eigenfrequenz des Hohlraumes überein, kommt von der Luftsäule ein wesentlich lauterer Ton zurück, als von der Stimmgabel vorgegeben wurde.

Dies ist das Ergebnis einer stehenden Welle in der Luftsäule. Denn sind die Länge der Luftsäule und die Wellenlänge der akustischen Schwingung aufeinander abgestimmt, wird die Welle am Ende so reflektiert, daß der Ton verstärkt wird, d.h. es kommt zu Resonanz. Ist das Ende des Hohlraumes geschlossen, tritt an dieser Stelle bei Resonanz keine Auslenkung auf, d.h. es befindet sich dort ein Wellenknoten. Am offenen Ende ergibt sich Resonanz, sofern an der Stelle der maximalen Auslenkung Reflexion stattfindet, was bedeutet, daß dort ein 'Wellenbauch' sein muß.

Dieses Phänomen ist für die Konstruktion von Blasinstrumenten sehr bedeutend. Die Höhe des von einer Luftsäule

ausgehenden Tones wird durch Längenänderung der schwingenden Luftsäule bzw. des Resonanzkörpers reguliert. Eine Orgel besteht im wesentlichen aus vielen Pfeifen verschiedener Eigenfrequenzen, die getrennt angeblasen werden. Bei Blechinstrumenten wird die Luftsäule durch Öffnen von Ventilen, die weitere Teile des Instrumentes der Schwingung zugänglich machen, vergrößert. Bei Holzblasinstrumenten, deren Länge fest ist, wird die effektive Länge der Luftsäule durch Öffnen und Schließen von Löchern oder Ventilen variiert.

Die Unterdrückung und das Vermeiden unerwünschter Resonanzen ist ein wesentlicher Punkt bei der Auslegung von Lautsprechergehäusen und der Planung von Räumen und Mehrzweckhallen.

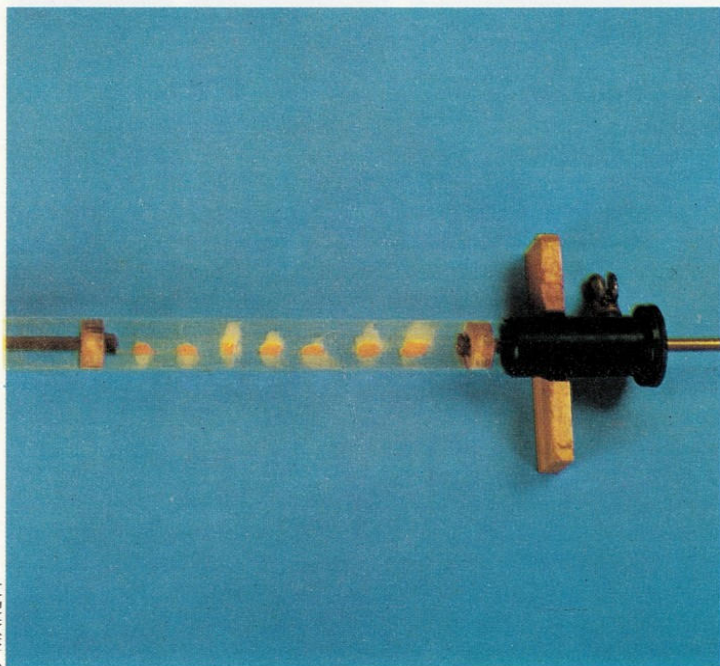
Resonanz in elektrischen Schaltkreisen

Das Phänomen der Resonanz findet in elektrischen Schaltkreisen vielfältige Anwendung, z.B. zur Abstimmung von Radioempfangsteilen. Hier wird Energie aus den übertragenen Radiowellen aufgenommen. Durch die Abstimmung des Empfängers werden aber nur Frequenzen der gewünschten Sendestation angenommen.

Das Verhalten verschiedener Bauteile eines elektrischen Schaltkreises gegenüber Wechselstrom oder -spannung ist frequenzabhängig. Beispiele sind die Induktivität einer Spule und die Kapazität eines KONDENSATORS. Werden eine Induktivität und ein Kondensator parallel geschaltet, entsteht ein sogenannter Oszillator, dessen Eigenfrequenz von der Induktivität und der Kapazität der Bauteile abhängt. Ein ankommendes Signal wird von der Spule, die Induktivität und elektrischen Widerstand besitzt, aufgenommen und mit einem Kondensator veränderlicher Kapazität in Reihe geschaltet. Bei einer bestimmten Frequenz werden die Kapazitäts- und Induktivitätswerte gleich groß; es kommt zu einer Resonanzerscheinung.

Bei dieser sogenannten Resonanzfrequenz des Schaltkreises

Unten: In der Kundtschen Röhre werden longitudinale akustische Wellen in einem geschlossenen Luftraum veranschaulicht. Das Reiben des Messingstabes erzeugt Kompressionswellen, die durch das Rohr bis zum veränderlichen Kolben wandern, wo sich stehende Wellen bilden. Das Korkmehl in der Röhre sammelt sich an den Knoten. Die Enden sind also Wellenknoten.



JOHN WATNEY

Ober: Die Anlage links neben dem Leuchtturm, ein Diaphon, erzeugt Nebelwarnsignale. Ein Preßluftstoß bringt die gesamte Betonstruktur der Anlage zum Schwingen und erzeugt auf diese Weise einen Ton, der bis zu 16 Kilometer weit zu hören ist.

tritt maximaler Stromfluß auf. In einem Empfänger bewirkt dies eine starke Antwort auf Anregungen mit dieser Frequenz. Der Stromkreis nimmt somit bevorzugt Wellen dieser bestimmten Frequenz an und ist in einem Abstimm-Schaltkreis der Serienresonanzkreis. Werden die Bauteile des Oszillators nicht in Reihe, sondern parallel geschaltet, wird ein ähnliches Verhalten erzielt, jedoch mit dem Unterschied, daß nicht der Strom, sondern die Spannung auf einen maximalen Wert steigt, während der Strom minimal wird. Dies ergibt eine sehr schwache Antwort des Schaltkreises bei der speziellen Resonanzfrequenz, d.h. dies ist ein Sperrkreis. Serienresonanz- und Sperrkreis werden vielfach gemeinsam benutzt, um eine bestimmte Frequenz ohne benachbarte Störfrequenz auszusteuern.

Weitere Anwendungen der Resonanz

Jedes schwingungsfähige, physikalische System zeigt Resonanz, wenn es mit der passenden Frequenz angeregt wird. Deshalb findet man auch in atomaren und molekularen Systemen, die aus schwingenden Teilchen bestehen (z.B. Elektronen), Resonanzerscheinungen.

Viele Techniken wurden entwickelt, um die Resonanzen solcher Systeme zur Identifikation und Strukturanalyse komplexer Moleküle zu benutzen. Resonanzen liefern aber auch genaue Information über die atomare Struktur eines Materials.

Magnetische Kernresonanz (nach dem Englischen auch NMR = Nuclear Magnetic Resonance genannt) und Elektron-Spin-Resonanz (ESR = Electron Spin Resonance) sind die bekanntesten Techniken dieser Art. Inzwischen wird eine wachsende Zahl ähnlicher Effekte ausgenutzt.

RIEMENSCHLEIBE

Mit Hilfe von Rollen (Seilscheiben) kann der Mensch sehr schwere Lasten heben. Angeblich gelang es Archimedes (285 bis 312 v. Chr.), mit Hilfe einer Anordnung von Rollen (Flaschenzug) ohne fremde Hilfe ein Schiff zu bewegen.

Im Grunde ist eine Rolle nichts anderes als ein Rad, dessen Umfang gleichförmig glatt ist, damit ein Flachriemen umlaufen kann. Es kann jedoch auch eine v- oder u-förmige, umlaufende Nut zur Aufnahme eines Keilriemens oder eines Seiles in den Außenrand der Rolle eingearbeitet werden. Das Prinzip besteht darin, daß der Riemen straff um die Rolle herumgelegt wird und die auf beide Teile einwirkenden Reibungskräfte einen Antrieb bilden.

Die Verwendung von Rollen kann in zwei große Bereiche eingeteilt werden: Treibscheiben (Riemenscheiben) zur Übertragung von Kraft zwischen zwei Wellen mit Hilfe eines Riemens (Keilriemen und Zahnriemen) und Rollen zur Richtungsänderung oder Vergrößerung einer Kraft, wie z.B. bei einem Flaschenzug (Blockwinde, Talje).

Treibscheiben

Als Mittel zur Kraftübertragung bieten Treibriemen bestimmte, eindeutige Vorteile gegenüber anderen üblichen Verfahren. Sind die treibende und die angetriebene Welle weit voneinander getrennt, bildet ein Riemen in Verbindung mit einem System von Treibscheiben (Riemenscheiben) die wirtschaftlichste Form der Herstellung des Kraftschlusses. Außerdem bietet der Flachriemenantrieb eine 'eingebaute' Überlastungssicherung, da ein Flachriemen bei übermäßiger Belastung durchrutscht. Der wesentliche Nachteil liegt in der Unmöglichkeit, gleichbleibende Geschwindigkeiten zu erzie-

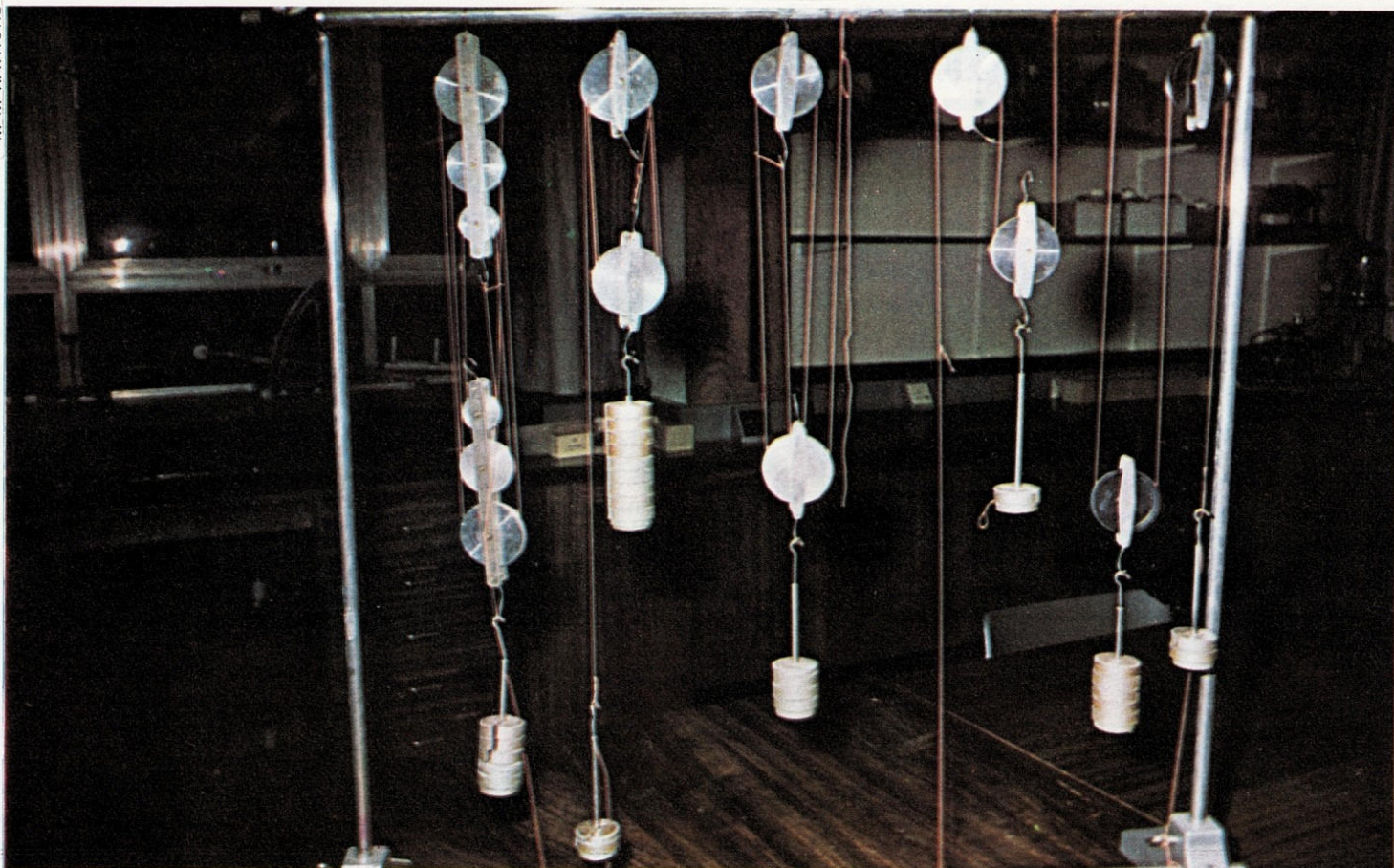
len. Dies wird schon durch die elastische Verformung des Riemens verhindert, und es kommt auch zu keinem zwangsläufig festen Eingriff, wie es bei Zahnrädern der Fall ist.

Ein Riemen neigt dazu, sich bis zu 2% schneller als die antreibende Riemenscheibe zu drehen. Dies ist eine Folge der Schwankungen in der Riemenspannung während des Umlaufs um die Riemenscheibe, wodurch es zu der als Schlupf bezeichneten Erscheinung kommt. Die Höchstgeschwindigkeit, mit der Riemen getrieben werden können, liegt bei normalen Werkstoffen bei einem Grenzwert von ungefähr 1500 m/s, da die über diesem Geschwindigkeitsbereich erzeugten sehr großen Zentrifugalkräfte den Zusammenhalt des Riemens gefährden. Der Flachriemen ist heute fast vollständig vom Keilriemen verdrängt worden. Der Keilriemen beansprucht nicht nur weniger Raum, sondern er kann auch beträchtlich stärker konstruiert werden und demzufolge eine viel größere Kraft übertragen. Der zum Antrieb des Lüfterrades eines Kraftwagenmotors verwendete Riemen ist ein allgemeines Beispiel für den Einsatz von Keilriemen.

Eine moderne Entwicklung bei der Konstruktion von Riemenscheiben ist ihre Verwendung in Verbindung mit Zahnriemen zur Bewirkung einer schlupfflosen Kraftübertragung. Mit einem solchen System wird einer der größten Nachteile von Riemen und Riemenscheiben überwunden, die in der genauen Abstimmung des Verhältnisses von Zeit und Geschwindigkeit zwischen zwei Wellen besteht. Zahnriemen werden bei Büromaschinen, Nähmaschinen, Fahrzeugantrieben, Nockenwellenantrieb von Kraftfahrzeugmotoren und im allgemeinen Maschinenbau verwendet, wo es ganz offensichtlich auf eine sehr genaue Abstimmung von Zeit und Drehzahl ankommt.

Sind antreibende und angetriebene Riemenscheiben von gleichem Durchmesser, drehen sie sich mit derselben Geschwindigkeit; jedoch führt eine Änderung ihrer jeweiligen Größe zu einer Erhöhung oder Verminderung der Drehzahl der angetriebenen Riemenscheibe. Eine antreibende Riemenscheibe mit doppeltem Durchmesser der angetriebenen

Unten: Verschiedene Flaschenzüge.



Riemenscheibe bewirkt, daß die angetriebene Riemenscheibe mit doppelter Geschwindigkeit wie die antreibende Riemenscheibe umläuft. Umgekehrt dreht sich die angetriebene Riemenscheibe um die Hälfte langsamer als die antreibende Riemenscheibe, wenn letztere die doppelte Größe der angetriebenen Riemenscheibe aufweist.

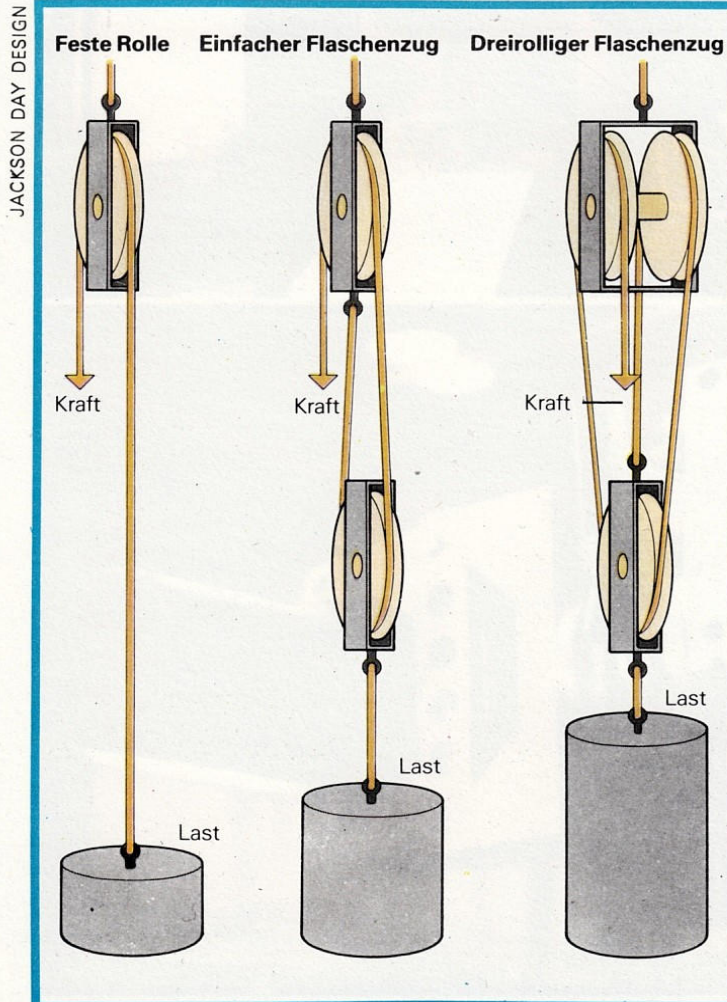
Feste Rolle und Flaschenzüge

Eine feste Rolle kann in Verbindung mit einem Seil zur Richtungsänderung einer zur Verfügung stehenden Kraft benutzt werden. Somit kann ein Mann einen Gegenstand, der schwerer ist als er selbst, bewegen, indem er einfach ein über eine feste Rolle geführtes und an dem zu hebenden Gegenstand befestigtes Seil herunterzieht.

Wird eine Verstärkung der Kraft erforderlich, können mehrere Rollen zu einer Flaschenzug genannten Anordnung zusammengesetzt werden, wobei es neben dem handbetriebenen auch den elektrisch angetriebenen Flaschenzug (Elektrozug) gibt.

Der handbediente Flaschenzug besteht in seiner einfachsten Form aus einer oberen festen Rolle (Flasche) und einer unteren losen Rolle (Zugflasche), an der die Last hängt. Wird durch Zug an dem freien Seilende die Last um eine bestimmte Strecke angehoben, muß der Angriffspunkt der Kraft einen doppelt so großen Weg zurücklegen wie die Last.

Unten: Drei einfache Flaschenzüge mit einer, zwei und drei Rollen. In jedem Fall entspricht das Geschwindigkeitsverhältnis (der durch die Kraft zurückgelegte Weg geteilt durch den von der Last zurückgelegten Weg) der Anzahl der einzelnen Rollen im Flaschenzug, in dem alle Rollen den gleichen Durchmesser haben. Die Kraftverstärkung entspricht der Last geteilt durch die Kraft.



Oben: Taljen in der Takelage des britischen Kriegsschiffes 'Victory', aus dem 18. Jahrhundert. Taljen wurden zum Setzen und Niederholen der Segel gebraucht.

Die zum Ziehen aufgewendete Kraft muß nach dem Gesetz: $\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Kraftweg} = \text{Last} \times \text{Lastweg}$ auch nur halb so groß sein wie die Last. Werden anstatt der zwei Rollen vier oder sechs Rollen verwendet, muß nur noch eine Kraft aufgewendet werden, die ein Viertel bzw. ein Sechstel der Last beträgt. Tatsächlich aber muß die Kraft wegen der zu überwindenden Reibungswiderstände größer sein. Wird für jede der losen Rollen ein eigenes Seil verwendet, entsteht ein Potenz-Flaschenzug.

Der Differential-Flaschenzug besteht aus einem festen Rollengehäuse, auf dessen Achse zwei Rollen von unterschiedlichem Durchmesser fest aufgekeilt sind, und einer einfachen losen Rolle. Um alle drei Rollen ist ein endloses Seil geschlungen. Wird nun an dem locker durchhängenden Teil des Seiles (Trum) gezogen, wird das auf der gegenüberliegenden Seite der größeren Rolle befindliche Trum verkürzt, das über die kleinere Rolle laufende kurze Trum jedoch gleichzeitig nachgelassen. Folglich hebt sich die Last immer nur um die halbe Differenz der beiden Seilenden.

Beim elektrisch angetriebenen Flaschenzug (Elektrozug) ist das Seil auf eine Trommel aufgewickelt. Für geringere Tragkräfte verwendet man statt des Seiles auch eine in einem Magazin gespeicherte Kette. Elektrozüge werden durch Ziehen an Seilen oder durch Druckknöpfe bedient. Häufig anzutreffende Arten elektrisch angetriebener Flaschenzüge sind der selbsthemmende Schrauben-Flaschenzug für Lasten bis 10 t und der Stirnrad-Flaschenzug mit Stirnrädergetriebe, der in der Regel für Lasten bis zu 15 t benutzt wird.

ROBOTER

Seit Jahrhunderten schon träumt der Mensch von Maschinen in Menschengestalt (künstlicher Mensch, Roboter). Dieser Traum ist teilweise Wirklichkeit geworden. Es gibt heute Roboter, die dem Menschen einige mühevollen und monotone Arbeiten abnehmen können.

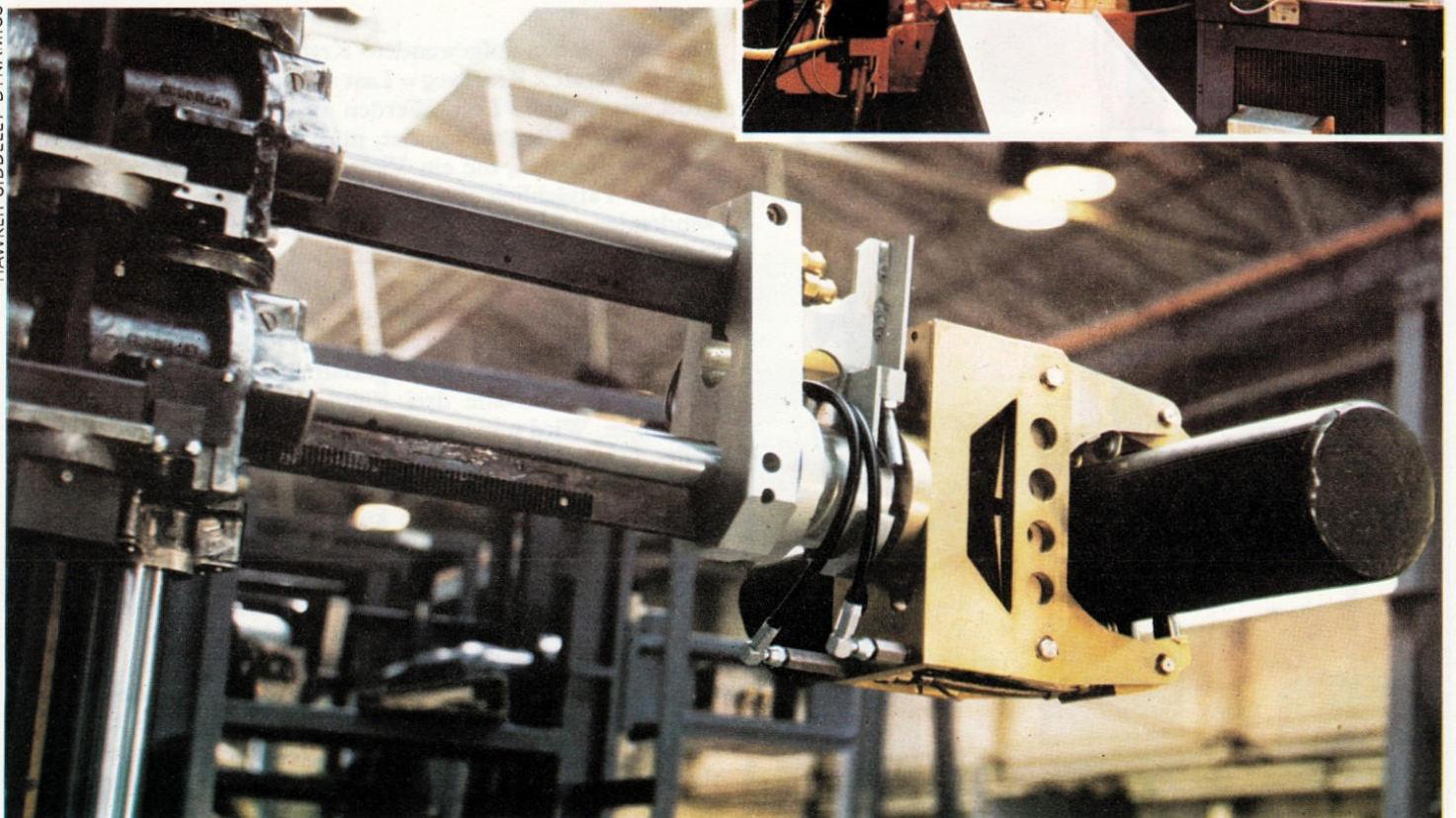
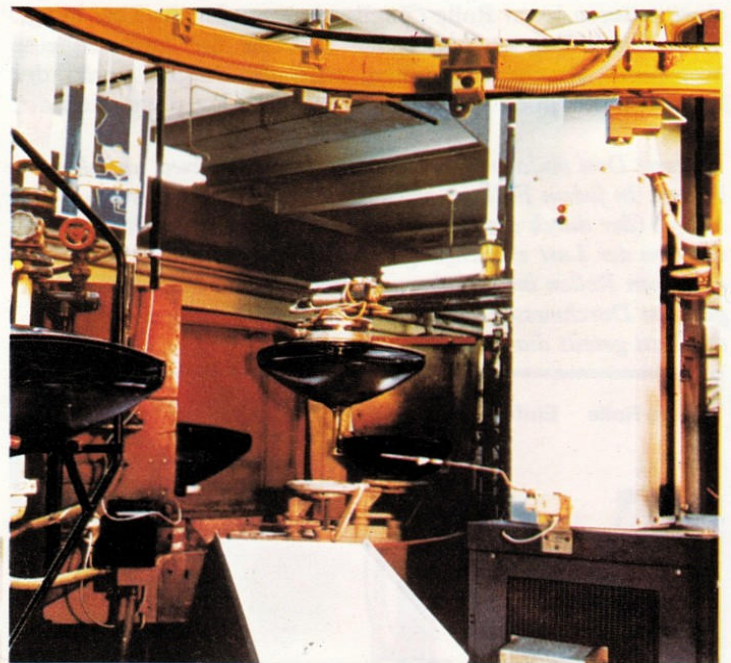
Das Wort 'Roboter' leitet sich aus dem tschechischen Wort *Robota*, Fronarbeit, her und wurde zum ersten Male in einem Drama benutzt, das im Jahre 1902 von dem tschechischen Schriftsteller Karel Capek (1890 bis 1938) unter dem Titel 'RUR' (Rossum's Universal Robots) geschrieben wurde. Ein Roboter kann ganz allgemein als eine Maschine definiert werden, die die Tätigkeit des Menschen in der einen oder anderen Form imitiert. In der Industrie benutzte Roboter sind im allgemeinen mit einem 'Arm' ausgerüstet und werden zur Durchführung von Fließbandarbeiten und anderer, sich ständig wiederholender Aufgaben herangezogen, wie z.B. einer Druckgußmaschine Material zuzuführen.

Industrieroboter, die zur Bearbeitung einer großen Anzahl von in Serienfertigung hergestellten Werkstücken konstruiert sind, sind häufig mit mechanischen Händen ausgerüstet, um Werkstücke von einem Arbeitsplatz zum anderen zu bewegen. Diese Vorrichtungen können als Vorläufer des modernen Industrieroboters angesehen werden, obgleich sie im Gegensatz zu einem Roboter durch die Maschine gesteuert werden, mit der sie verbunden sind, und nicht programmiert oder zur Durchführung anderer Aufgaben benutzt werden können. Die Arbeitsgeschwindigkeit dieser Vorrichtungen hängt von

Rechts und unten: Eine Versatran-Maschine im Einsatz am Fließband. Der Arm ist hier (rechts) statt mit der üblichen Greifvorrichtung mit einer Saugvorrichtung ausgerüstet. Im Bild unten eine Versatran-Maschine mit einer Greifvorrichtung. Die links im Bild zu sehende Zahnstange ist Teil des Mechanismus zum Ausfahren des Armes.

der Art ihrer Steuerung ab. Werden sie vom Hauptantrieb der Maschine bewegt, können bis zu 70 Arbeitsgänge pro Minute erreicht werden. Werden sie jedoch von einem eigenen Motor angetrieben, liegt die Höchstleistung bei 50 Arbeitsgängen pro Minute.

Einer der ersten Industrieroboter wurde 'Planobot' genannt. Er besaß eine am Ende eines Teleskoparmes befestigte Hand. Der Arm konnte bis zu einem Winkel von 60° gehoben oder gesenkt und um eine senkrechte Achse um 360° gedreht werden. Das 'Handgelenk' zwischen Arm und Hand konnte ebenfalls gedreht werden, und die verschiedenen Bewegungen wurden durch Flüssigkeits- oder Tauchkolbenmotoren bewirkt. Der Roboter konnte programmiert werden und bis zu 45 vorgegebene Bewegungen in einer genau vorgeschriebenen Reihenfolge und mit einer für jede Zwischenstellung vorgegebenen Verweilzeit durchführen. Die bekanntesten modernen Industrieroboter sind die 'Unimate'- und 'Versatran'-Maschinen. Der 'Unimate' besitzt einen in einem Gehäuse angebrachten Teleskoparm, der für Auf- und Abbewegungen gelagert ist, während der 'Versatran' einen Arm hat, der sich in einer senkrechten Führung nach oben oder unten bewegt.



'Unimate'

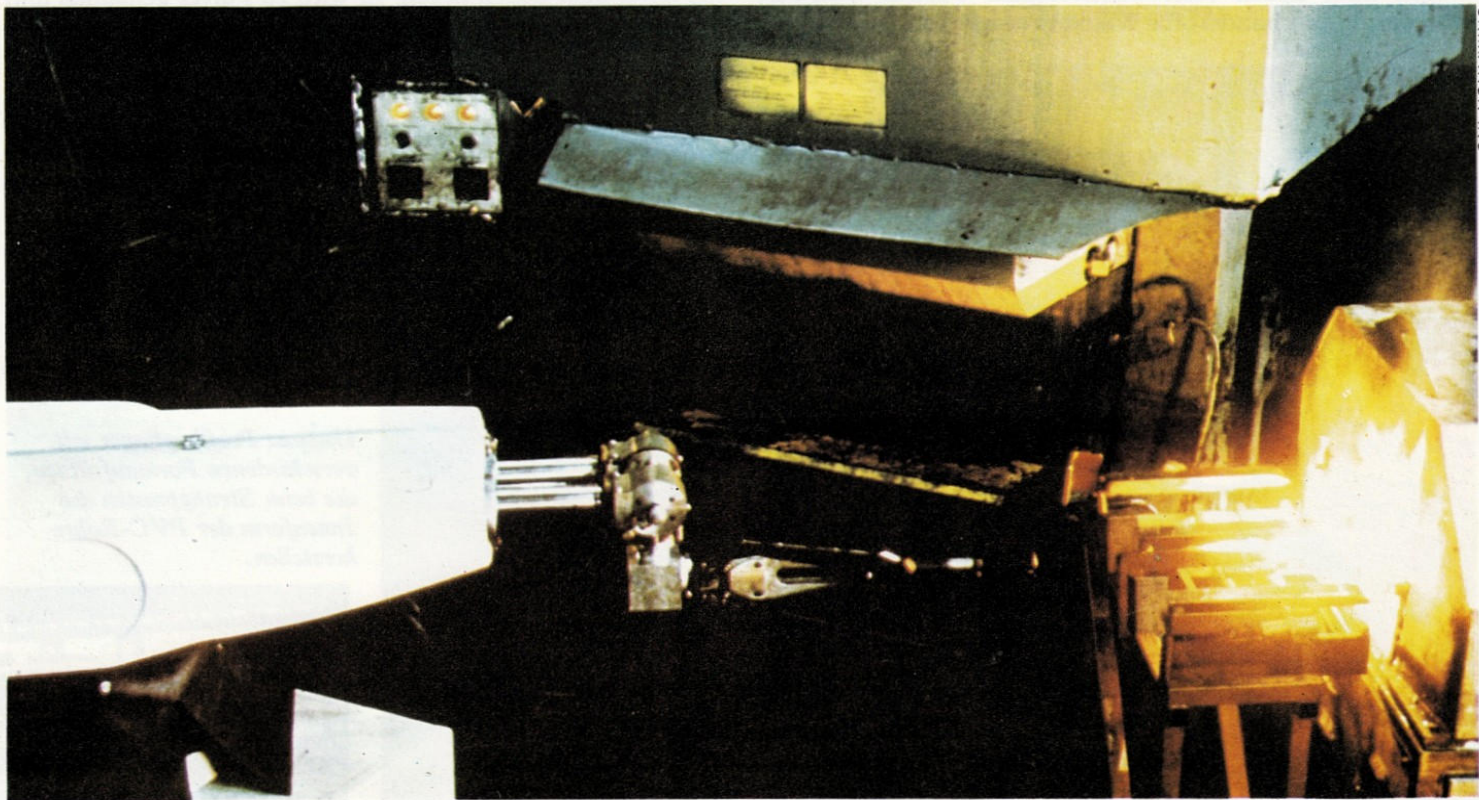
Der Roboter des Typs 'Unimate' kann fünf Grundbewegungen ausführen: Ausfahren oder Zurückziehen des Armes, Auf- oder Abbewegung des Armes, Drehung des Armes von einer Seite zur anderen um eine senkrechte Achse, Drehung der Hand um die Handgelenk-Achse und Schwenken der Hand im rechten Winkel zur Handgelenkachse. Außerdem ist die Hand mit einem Paar Greiffingern versehen, die pneumatisch betätigt werden und deren Länge auf die durchzuführende Arbeit einstellbar ist. Der zwischen den Fingern angewandte Greifdruck ändert sich mit dem zugeleiteten Luftdruck und kann bis zu 1 600 N betragen. Die maximale Arbeitslast, die der mit größter Betriebsgeschwindigkeit arbeitende Roboter bewältigen kann, beträgt 12 kg; jedoch können bei niedrigeren Geschwindigkeiten auch Lasten bis zu ungefähr 35 kg bewegt werden. Der Roboter kann Gegenstände mit einer Genauigkeit von ungefähr 1 mm absetzen.

Die verschiedenen Bewegungen des Armes werden hydraulisch durchgeführt. Die Reihenfolge der durchzuführenden Arbeiten ist auf einer Magnettrommel im Steuerteil des Roboters gespeichert. Jedes hydraulische Betätigungsorgan

'Versatran'

Bei der 'Versatran'-Maschine ist der Arm des Roboters waagrecht auf einer Schulter montiert, die auf einer Welle nach oben oder nach unten gleiten kann. Sowohl das Ausfahren als auch das Zurückziehen des Armes sowie die senkrechte Bewegung auf der Achse werden über Zahnstangen bewirkt. Die Maschine wird in etwa auf die gleiche Weise wie der 'Unimate' programmiert, jedoch werden die Pulse anstatt auf einer Trommel auf einem Magnetband aufgezeichnet. Bei Punkt-zu-Punkt-Arbeiten, wie sie für Lade- und Stapelarbeiten geeignet sind, wird die Hand so eingestellt, daß sie sich auf dem schnellstmöglichen Weg von einer Stelle zur anderen bewegen kann. Bei komplizierteren Aufgaben jedoch gibt man der Steuerung fortlaufender Bewegungen den Vorzug. Bei diesem Verfahren werden die Arbeitsgeschwindigkeit und Beschleunigung der Hand während der Dauer einer jeden Bewegung genau gesteuert; anschließend wird der Steuerungsimpuls auf zwei Magnetbändern gespeichert.

Einer der größten Vorteile von Robotern liegt darin, daß sie unter für Menschen schädlichen Bedingungen arbeiten können. Zum Beispiel können sie in einer Umgebung mit starker



wird durch ein an die hydraulische Versorgungsleitung angeschlossenes Servoventil ausgelöst. Das Servoventil wird von einem mit einem Vergleichs (Komparator) gekoppelten Servoverstärker gesteuert. Der Komparator empfängt Informationsimpulse sowohl von der Magnettrommel, auf der die gewünschte Folge der Bewegungsabläufe aufgezeichnet ist, als auch von einem Codierer, der die tatsächlichen Bewegungen des Roboterarmes überwacht. Auf diese Weise wird jede Bewegung des Armes genau gesteuert.

Um den Roboter für eine bestimmte Arbeitsfolge einzustellen wird der Servoverstärker statt an den Komparator an ein Handsteuerungssystem angeschlossen, während die vom Codierer abgegebenen Pulse auf die Magnettrommel übertragen werden. Danach läßt man den Roboter die erforderlichen Bewegungen durch Steuerung über das Handsteuerungssystem durchführen, während sie vom Codierer erfaßt und auf der Magnettrommel gespeichert werden. Hier läßt sich eine Folge von bis zu 200 Befehlen aufzeichnen.

Oben: Ein 'Unimate' wird zur Führung eines Werkstückes zu und von einem Schmelzofen benutzt. Eine der bedeutendsten Eigenschaften von Industrierobotern ist, daß sie unter für Menschen unerträglichen Bedingungen eingesetzt werden können. Die Maschine kann so programmiert werden, daß sie 180 aufeinanderfolgende Einzelbewegungen ausführen kann.

radioaktiver Strahlung benutzt werden oder hohe Temperaturen abstrahlende Werkstücke bewegen. Den Robotern verwandt sind die ferngesteuerten Tauchfahrzeuge, wie z.B. die französische 'Tlenaute'. Da sie keine Besatzung haben, ist kein großer Druckkörper erforderlich, und dennoch können sie bis in Tiefen von 1 000 m hinabtauchen. Eine 'Curv' genannte Konstruktion dieser Art wurde benutzt, um eine vor der spanischen Küste in einer Wassertiefe von ungefähr 750 m verlorengegangene Wasserstoffbombe der US-Streitkräfte zu bergen.

ROHRE

Rohre werden heute allgemein aus Zement, der oft mit anderen Materialien vermischt wird, hergestellt. Zunehmend werden sie auch aus Kunststoffen gefertigt. In Notzeiten griff man bei der Rohrherstellung auf Papierfasern zurück.

Zwar wurden zu Entwässerungszwecken bereits um 4000 v. Chr. Tonrohre und zur Zeit der Römer Bleirohre hergestellt, doch erst im 18. Jahrhundert, als erstmals in größerem Umfang Rohre zur Abwässerbeseitigung herangezogen wurden, fand eine Epoche von Krankheiten ein Ende, die auf mangelnde Reinlichkeit zurückgingen. Gegenwärtig finden Rohre im Bauwesen, in der chemischen Industrie, im Bergbau sowie in der Landwirtschaft, im Straßenbau und zur Fahr- bahntwässerung Verwendung. Außerdem dienen Rohrleitungen der Versorgung mit Gas und Wasser und der Ableitung von Abwässern.

Bleirohre

Wegen ihrer hohen Korrosionsfestigkeit wurden Bleirohre seit dem 18. Jahrhundert für Wasserleitungen und Regenrohre

verwendet. Sie wurden aus langen, dünnen Bleiblechen, die man zusammenrollte und verlötete, hergestellt. Bis in die dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts installierte man in Gebäuden Leitungen von geringer Nennweite unter Verwendung von Bleirohren. Später erwiesen sich Kupferrohre (siehe RÖHRENHERSTELLUNG) als wirtschaftlicher und unfälliger gegen mechanische Schäden, zudem waren sie in Wänden und Böden weniger wartungsbedürftig. Unabhängig davon gelten inzwischen Bleirohre wegen der Giftigkeit ihres Ausgangsmaterials als ungeeignet für Trinkwasserleitungen und verschwinden daher allmählich.

Tonrohre

Henry Doulton nahm im Jahre 1845 in London die Fertigung von Steinzeugrohren mit Anflugglasierung (Salzglasierung) auf. Da wegen der steigenden Bevölkerungszahl Abwässer über immer größere Entfernungen abgeleitet werden mußten, stieg der Rohrleitungsquerschnitt von ursprünglich 10 cm bis 15 cm auf etwa 45 cm bei Tonrohren an. Rohre aus anderem Material haben noch größere Querschnitte.

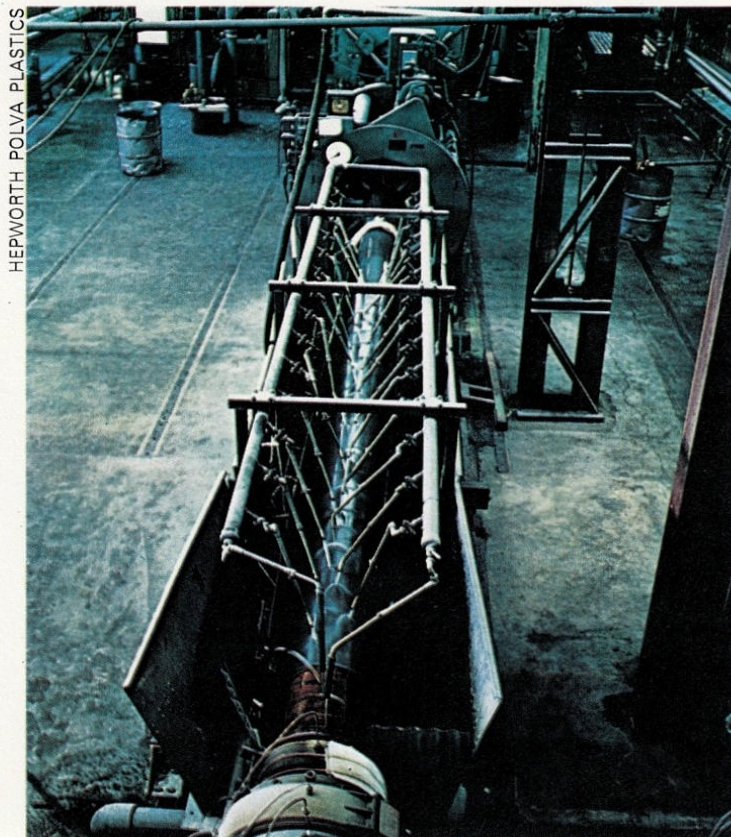
Der Ton wird aus Schichten gewonnen, die bis etwa 90 m tief unter dem Boden liegen. Er wird zu Pulver gemahlen und in Trögen mit Hilfe von Wasser und bestimmten Zuschlägen

Links: Ein Abwassersystem aus Tonrohren mit Plastikverbindungsstücken in einem Neubaugebiet während der Installation.

Rechts: Schnecke einer Strangpresse zur Herstellung von PVC-Rohren. Eine plastische Polymermasse wird verformt.

Unten: Preßkopflager mit verschiedenen Formaufsätzen, die beim Strangpressen die Innenform der PVC-Rohre herstellen.





auf mechanischem Wege zu einer formbaren Masse gemacht. Das geschieht beispielsweise mittels zweier sich gegenläufig drehender, parallel liegender Messerwellen. Dem Ton wird in Unterdruckkammern eventuell in ihm verbliebene Luft entzogen. Anschließend wird er durch Fülltrichter an Strangpressen herangeführt. Im Strangpreßverfahren drückt man den Ton mittels einer sich drehenden Archimedischen Schraube durch den Hohlraum zwischen einem festen Kern von kreisförmigem Querschnitt und einer größeren zylindrischen Öffnung. Der ringförmige Raum zwischen beiden entspricht der Wandstärke des Rohrs. Die fertigen Rohre werden auf Länge geschnitten und getrocknet. Zum Trocknen

wird Warmluft um die Rohre herumgeführt, während sie sich in der wärmeisolierten Trockenkammer drehen. Sie kann eine Länge von rund 100 m oder mehr aufweisen.

In Tunnelöfen von mehr als 200 m Länge liegen Rohre auf Gleiswagen, die nacheinander durch die Vorwärm-, Brenn- und Abkühlzone geleitet werden, bevor sie an die Abladestation gelangen. Die Vorwärmzone bezieht ihre Warmluft (bis 200°C) aus der Abkühlzone.

In der Brennzone wird die Temperatur durch Verbrennen von Öl oder Gas auf etwa 1100°C gebracht. Bei dieser Temperatur verschmelzen die Bestandteile des Ausgangsmaterials und bilden den sogenannten 'Scherben', das sehr harte und spröde Endprodukt. In den sechziger Jahren ging die Industrie dazu über, unglasierte Rohre herzustellen. Dies wurde durch technische Verbesserungen möglich, durch die der Ton vor dem Brennen weit besser als früher mechanisch verdichtet werden kann. In Fällen, in denen noch glasiert wird, handelt es sich entweder um eine Gesamt-Salzglasur oder um eine Fritten-Glasur ausschließlich auf der Innenseite. Die Salzglasur entsteht dadurch, daß beim Garbrand Kochsalz in den Ofen eingebracht wird, das sich verflüchtigt und sich auf der Oberfläche des Brennguts in Form einer Natriumaluminiumsilicat-Glasur anlagert.

Rohre aus Teerpapier-Fasermaterial

Diese Rohre wurden nach dem Zweiten Weltkrieg eingeführt, als die Rohrindustrie weitgehend zerstört war, und den Bedarf an Tonrohren nicht decken konnte. Der Vorteil dieses Fasermaterials lag in seinem gegenüber Tonrohren geringeren Gewicht, da es aus einer Papier-Bitumenmischung hergestellt war. Bei der Fertigung werden mit Wasser vermischte Papierfasern von einem endlosen Filzband auf die polierte Oberfläche eines Lehdorns geleitet. Nach dem Trocknen in einem Trockenofen wird das Papierrohr in heißes Pech getaucht und anschließend in Wasser abgekühlt.

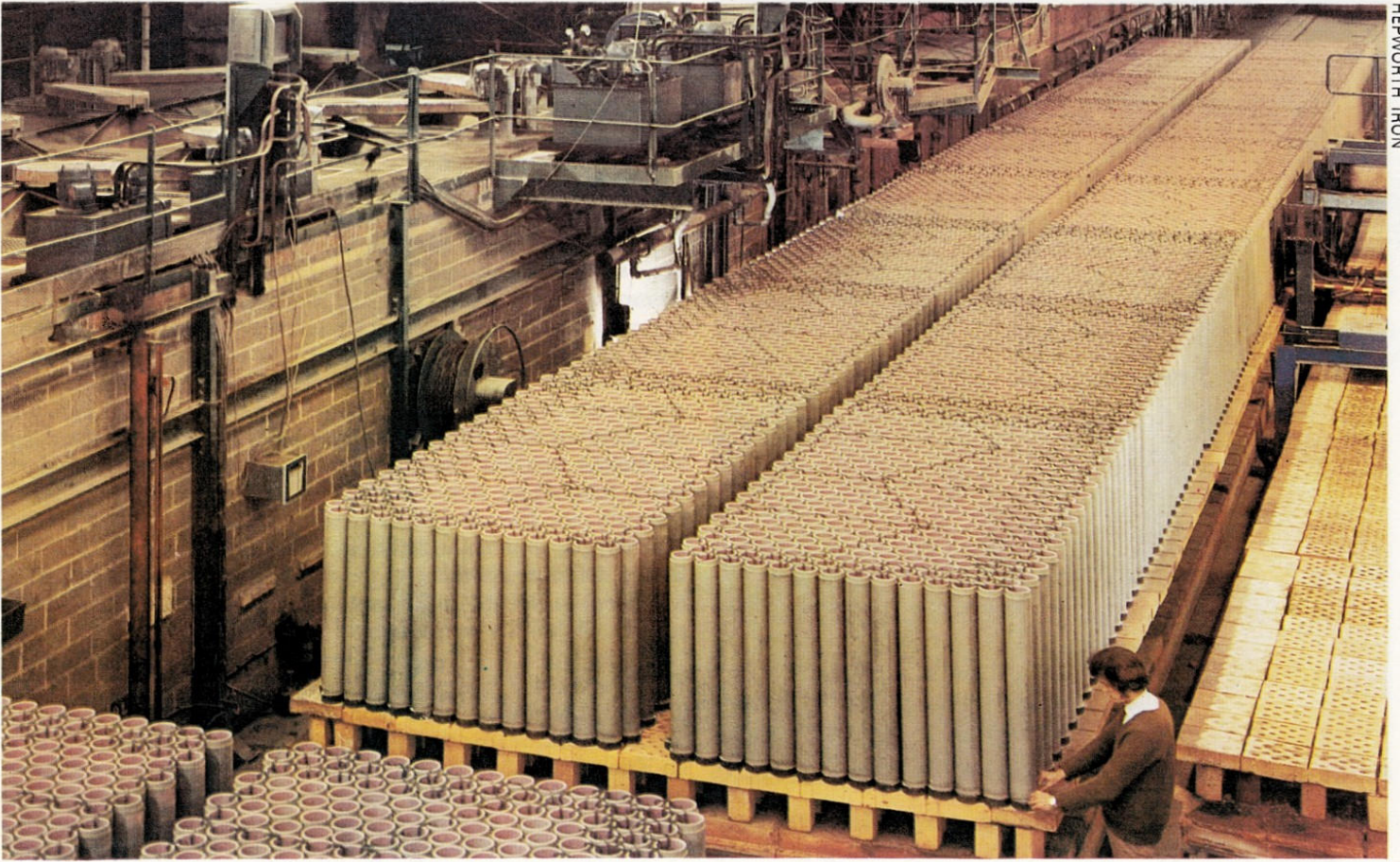
Betonrohre

Rohre aus Schleuderbeton werden in einem Schleudergußverfahren hergestellt, bei dem man die äußere Form in rasche Umdrehung versetzt, so daß der feuchte Beton durch Fliehkraft an die Formwand gedrückt und hierdurch verdichtet wird.

Spannbetonrohre können höheren Umgebungsdrücken standhalten. In den Beton werden Stahldrähte eingebettet. Der Kern wird während des Aushärtens durch einen abgedichteten flexiblen Innenzylinder unter hohem Wasserdruck ausgedehnt, wodurch die Drähte eine Vorspannung erfahren. Nach dem Aushärten wird der Druck gelöst und der Zylinder herausgenommen. Hierdurch wird die Belastung der Drähte vermindert. Der Beton erhält eine entsprechende Druckfestigkeit. Diese Art von Rohr wird gewöhnlich in großen Nennweiten (bis etwa 120 cm) hergestellt und für Hauptrohrleitungen im Wasserversorgungsnetz gebraucht.

Asbestzementrohre werden in Nennweiten von 3,5 cm bis 90 cm aus einer Mischung von ausgewählten Asbestfasern und Portlandzement erzeugt. Sie sind gleichermaßen stabil und elastisch, was für den Einsatz in Hauptabwasser- und Bewässerungsleitungen von Bedeutung ist. Wie bei der Herstellung der Rohre aus Teerpapier-Fasermaterial wird eine dünne Schicht aus nassem Zement und Asbestfasern von einem endlosen Filzband auf einen polierten Dorn übertragen, mit dem Unterschied, daß hier der Dorn umläuft und die Schichtbildung kontinuierlich stattfindet. Die Schichten werden über die ganze Rohrlänge durch hydraulischen Druck aufgebaut, bis die erforderliche Wandstärke erreicht ist. Der Dorn wird herausgezogen; das Rohr verbleibt mehrere Tage unter Wasser. Anschließend wird es auf Länge geschnitten und einige Zeit lang an der Luft getrocknet.





Oben: Tunnelofen, in dem unterirdische Tonabflußrohre mit Glasur hergestellt werden.

Kunststoffrohre

Als Rohrmaterial sind Kunststoffe seit den fünfziger Jahren verstärkt in Erscheinung getreten. Für die Rohrerstellung verwendete thermoplastische Kunststoffe sind Polyäthylen, Polypropylen und PVC (Polyvinylchlorid). Ein 'thermoplastisches' Material wird bei hinreichend hohen Temperaturen so weich, daß es sich verformen läßt, und härtet beim Abkühlen wieder aus. Dieses Verhalten ist von wesentlicher Bedeutung für das Strangpreßverfahren, mit dem Kunststoffrohre hergestellt werden.

Durch Zusammenschluß niedermolekularer Verbindungen (Monomere) entstehen polymere Kunststoffe (Makromoleküle). Das Ausgangsmaterial enthält Zusätze wie Füllstoffe, Weichmacher, Stabilisatoren, Farbstoffe, Gleitmittel usw. Es wird als Granulat in Speichersilos aufbewahrt und in den erforderlichen Mengen auf pneumatischem Wege der Strangpreßmaschine zugeführt. Diese läßt bei Temperaturen zwischen 160°C und 220°C und unter Druckeinwirkung das Pulver zu einer homogenen Masse, der man die gewünschte Form geben kann, gelieren. Zuerst geht das teilgeliierte Material durch eine Unterdruckzone, in der ihm flüchtige Bestandteile entzogen werden; Temperatur und Druck werden gesteigert, bevor die Masse an den Preßkopf gelangt.

Die Innenform des Preßkopfes wird von strömungsgünstig ausgebildeten Metallstreifen gehalten, die vom äußeren Gehäuse nach innen ragen. Dieser Teil der Form ist die 'Spinne'. Bei einer gut konstruierten Strangpresse gibt es hinter der Spinne und um sie herum so viel Platz, daß das Material gut schmelzen kann und keine Spuren von der Spinne zurückbleiben, die sonst zu einem Reißen des Materials führen könnten. Am Ende der Form liegen der Dorn und die Matrix, sie bestimmen jeweils den Innen- und

den Außendurchmesser. Der genaue Außendurchmesser ergibt sich durch eine gekühlte Kalibriervorrichtung, gegen die das Rohr durch den Druck von 'Stützluft' gepreßt wird. Ein am Dorn angebrachter Kolben hält die Luft zurück, die durch einen der Spinnenarme zugeführt wird. Bei kleineren Durchmessern geschieht dies durch von außen auf die Kalibriervorrichtung einwirkenden Unterdruck.

Das stranggepreßte Rohr wird mit Wasser gekühlt, das aus Düsen austritt. Danach wird es automatisch abgelängt. Seine Enden sind entweder stumpf abgeschnitten oder so geformt, daß sie sich als Paßstücke in die jeweils entsprechend geformten Enden anderer Rohrstücke einschieben lassen. Die Verbindungen können durch Verschweißen oder mit Hilfe von Dichtungszement hergestellt werden; man kann aber auch Paßstücke aufeinanderschieben und die Verbindung mit einem Gummidichtring abdichten. Auch finden gegossene Metallkupplungen Verwendung, deren Korrosionsfestigkeit oft durch einen Kunststoffüberzug erhöht wird.

Rohre aus thermoplastischem Material sind von geringem Gewicht und leicht zu handhaben. Rohre aus Polyäthylen sind elastisch und werden mit kleinen Nennweiten für Gas-Hauptleitungen und Kaltwasser-Versorgungsleitungen verwendet. In zunehmendem Umfang finden auch Rohre aus PVC Verwendung. Wird das Material ohne Weichmacher (Hart-PVC) eingesetzt, hat es eine gute Festigkeit und Steifigkeit. Rohre aus diesem Material finden Verwendung bei Gas-Hauptleitungen, Abwasser-Sammelleitungen sowie Wasserleitungen, darüber hinaus bei Abwasserleitungen aus Wohnhäusern. Auch dienen sie als Hüllrohre für Strom- und Telefonleitungen. Zur Entwässerung in der Landwirtschaft und im Straßenbau bedient man sich inzwischen geschlitzter oder durchbrochener Rohre aus Hart-PVC. Da dieses Material über und unter der Erde eine hohe Verrottungsfestigkeit aufweist, ausgezeichnete Durchflußeigenschaften hat und gut zu handhaben ist, werden sich in Zukunft noch weitere Anwendungsbereiche dafür finden.

RÖHRENHERSTELLUNG

Für Röhren gibt es eine Vielzahl von Verwendungszwecken. Sie finden sich beispielsweise in Injektionsnadeln, im Bronchoskop sowie als Stuhl- und Tischbeine.

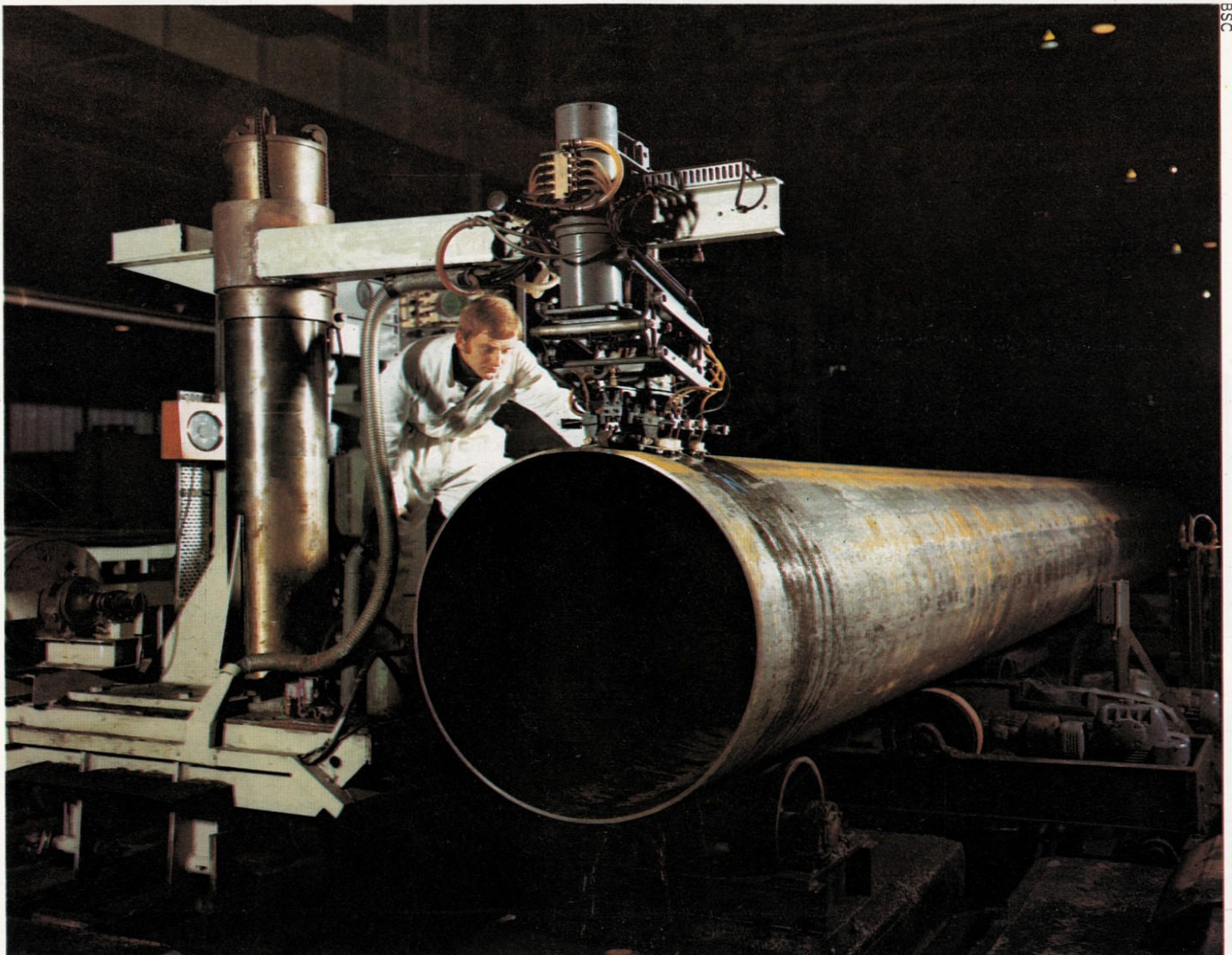
Röhren lassen sich aus vielerlei Werkstoffen, wie Metall, Kunststoffe oder auch Glas, fertigen. Die verschiedenen Herstellungsverfahren sind z.B. Ziehen, Walzen und Strangpressen. Die Wahl des Werkstoffes hängt vom Anwendungszweck des Fertigproduktes ab, die Wahl des Fertigungsverfahrens vom Werkstoff und vom Anwendungszweck. Röhren dienen zum Transport von Flüssigkeiten, dünnflüssigem Brei, Pulvern und Gasen; zugleich werden sie bei deren chemischer Behandlung verwendet. Außerdem finden sich Röhren in der Medizin und in der biologischen Forschung, beispielsweise zum Spritzen von Medikamenten, Impfstoffen und Salzlösungen, sowie bei der Untersuchung von Hohlräumen und Blutbahnen im Körper. Darüber hinaus werden sie in Instrumenten sowie Meß- und Steuereinrichtungen gebraucht, wo Präzisionsröhren in zahlreiche Bauteile integriert sind. Röhren

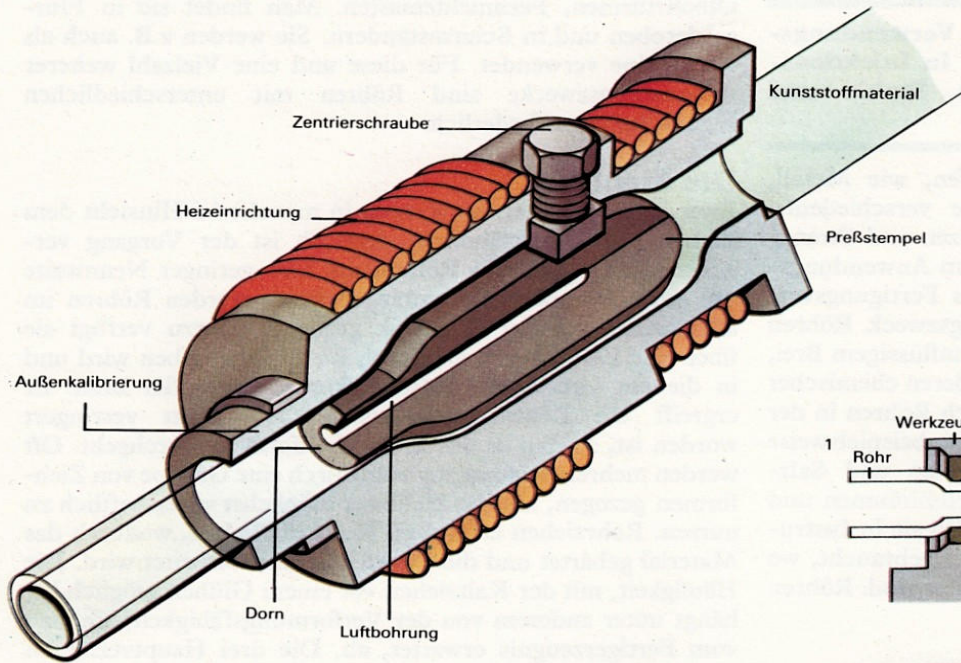
***Unten:** Ein Stahlrohr mit über einem Meter Durchmesser wird in den Hartlepool-Werken der British Steel Corporation mit einer Ultraschallanlage auf Materialunregelmäßigkeiten überprüft.*

dienen als tragende Elemente beim Bau von Flugzeugen, Ölbohrtürmen, Fernmeldemasten. Man findet sie in Flurgarderoben und in Schirmständern. Sie werden z.B. auch als Tischbeine verwendet. Für diese und eine Vielzahl weiterer Anwendungszwecke sind Röhren mit unterschiedlichen Eigenschaften erforderlich.

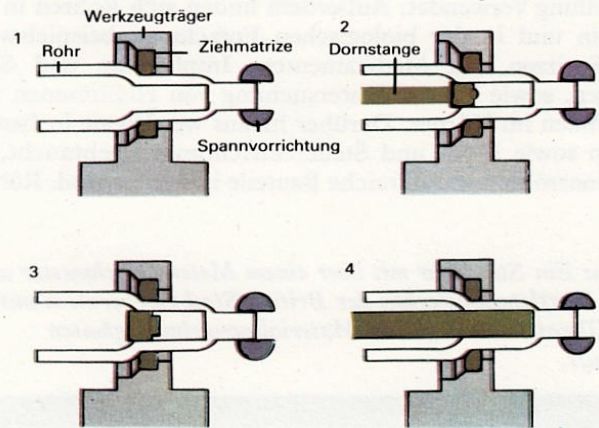
Die Ziehbank

Zwar ist das Ziehen von Röhren in mancherlei Hinsicht dem Ziehen von Draht ähnlich, dennoch ist der Vorgang verwickelter. Da man nur Röhren mit sehr geringer Nennweite um einen Biegekopf herumbiegen kann, werden Röhren im allgemeinen auf der Ziehbank gezogen. Hierzu verfügt sie über eine Endloskette, die durch Ritzel angetrieben wird und in die ein Greifdorn (Aufspannfrosch) eingreifen kann. Er ergreift ein Röhrende, dessen Querschnitt verringert worden ist, so daß es durch die Ziehform hindurchgeht. Oft werden mehrere Röhren zugleich durch eine Gruppe von Ziehformen gezogen, um die Ziehbank möglichst wirtschaftlich zu nutzen. Rohrziehen erfolgt im Normalfalle kalt, wodurch das Material gehärtet und die Oberfläche feinbearbeitet wird. Die Häufigkeit, mit der Kaltziehen vor einem Glühen möglich ist, hängt unter anderem von der Verformungsfähigkeit, die man vom Fertigerzeugnis erwartet, ab. Die drei Hauptverfahren des Rohrziehens sind das Druckziehen, Ziehen über einen feststehenden Stopfen und Ziehen über eine laufende Dornstange. Beim Druckziehen wird die Röhre wie beim Drahtziehen mittels Zug durch eine Düse im Durch-





Links und unten: Auf den Abbildungen unten sind vier Arten des Rohrziehens dargestellt: 1 Einfaches Druckziehen, bei dem nur der Außendurchmesser einer bereits fertigen Röhre vermindert wird, 2 Hier wird mit Hilfe eines feststehenden Stopfens die Wandstärke und auch der Durchmesser verringert, 3 Demonstration des Einsatzes eines freibeweglichen Stopfens und 4 Einsatz einer laufenden Dornstange. (Links) Strangpressen einer Kunststoffröhre. Die Wärmeabgabe von der Außenwicklung und der Vorschub des Materials durch die Einrichtung müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt sein.



messer vermindert. Dabei verkleinert sich lediglich der Außendurchmesser, nicht aber die Nennweite. Die beiden anderen Arten unterscheiden sich vom Druckziehen dadurch, daß zugleich mit dem Rohr ein kurzer Stopfen oder eine lange Dornstange gezogen wird, die dafür sorgen, daß die Röhre eine bestimmte Nennweite einhält. Der Stopfen kann so angelegt sein, daß er beim Ziehen durch die Form seine Lage in der Röhrenmitte selbst bestimmt, er kann aber auch ganz und gar starr befestigt sein. Der Stahlzylinder, aus dem die Röhre gezogen wird, wird aus vollem Material gearbeitet, aus Blöcken gelocht oder nach dem Mannesmann-Schrägwalzverfahren nahtlos gewalzt (siehe WALZEN VON METALLEN).

Präzisionsröhren

Röhren lassen sich auch im Strangpreßverfahren herstellen. Mit den heute verfügbaren Strangpressen und Werkzeugstählen können Röhren — sogar aus nicht leicht knetbaren Werkstoffen — in einem Arbeitsgang bis zu einer Wandstärke

von 1,8 mm hergestellt werden (siehe ROHRE UND WALZEN VON METALLEN).

Präzisionsröhren nach dem Strangpreßverfahren werden als Hohlprofile über Dorne gepreßt. Das Halbzeug dafür steht in Nennweiten von 20 mm bis 145 mm bei Stahl und von 20 mm bis 250 mm in Aluminium zur Verfügung. Die Mindestwandstärke liegt bei 0,8 mm und die Höchstlänge bei 1500 mm.

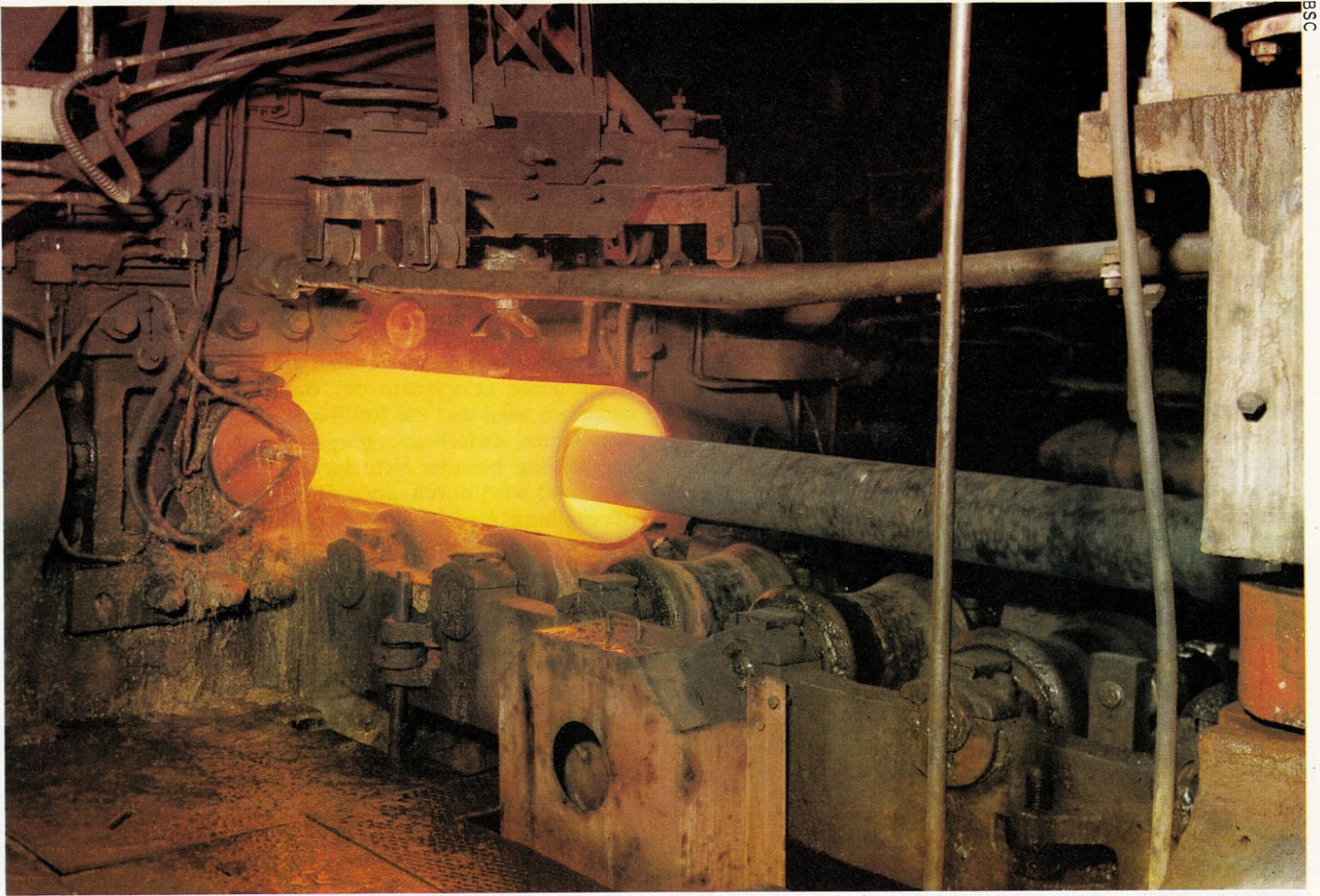
Die besten Qualitäten haben Durchmesserabweichungen von etwa 0,1%, eine Gesamt-Unrundheit von 5% der Wandstärke und eine Linearitätstoleranz von 1:1200. Das Präzisionsstrangpressen wird für viele Anwendungszwecke benutzt, beispielsweise für Hydraulikzylinder. Nach diesem Verfahren erzeugte Teile sind in einem Stück mit integriertem Endabschluß und genauer Oberflächenbearbeitung lieferbar.

Eine besondere Art des Verfahrens arbeitet mit gelochten Rundblöcken. Diese sehr präzisen Röhren werden in der Technik weithin für zylindrische Bauteile benutzt. Bei diesem Verfahren lassen sich gegenüber anderen Verfahren einige Arbeitsgänge einsparen. Nach dem Warmwalzverfahren hergestellte Röhren weisen Toleranzen am Außenumfang von etwa 0,7% und eine Linearitätstoleranz von 1:1000 auf. Die entsprechenden Werte für kalt bearbeitete Blöcke sind 0,25% und 1:1500. Der Außendurchmesser liegt zwischen 15 mm und 200 mm, mit einem Verhältnis von Außendurchmesser zu Wandstärke von 3,5:1 bis 10,5:1 bei Längen bis 1300 mm.

Die Normröhren für Injektionsnadeln werden aus Edelstahl mit Außendurchmessern von 1,28 mm bis 3,25 mm und einer Wandstärke von 0,07 mm bis 0,38 mm hergestellt. Röhren von 1 mm Durchmesser und kleiner werden aus gezogenem und geschweißtem Material gefertigt; für die größeren Abmessungen hingegen nimmt man nahtloses Rohrmaterial. Diese Röhren waren ursprünglich ausnahmslos für medizinische



Links: Spiralschweißen. Das Metall wird spiralig gebogen und Schweißautomaten stellen die Naht her.



Das Mannesmann-Verfahren. Hierbei wird das Halbzeug gewalzt und zugleich auf ein spitzes Werkzeug geschoben und gelocht.

Zwecke vorgesehen, doch da nunmehr eine nahezu lückenlose Palette von Abmessungen verfügbar ist, finden sie sich zunehmend in Instrumenten aller Art, einschließlich Thermoelemente, Einrichtungen zur Drehmomentübertragung, Bourdonröhren (Bestandteil zahlreicher Druckmeßgeräte), Bälgen für Feueranzeigeeinrichtungen sowie auf dem Gebiet der Gaschromatographie.

Kapillarröhren mit einer integrierten Birne an einem Ende lassen sich bis zu einer Länge von 2000 mm herstellen. Sie dienen als Meßeinrichtungen für die Temperaturen von Kältemitteln und zum Fühlen, Messen und Steuern sowie Überwachen von Temperaturen in der Tieftüchllagerhaltung und bei Klima- und Feuermeldeanlagen. Die evakuierte und spiralig gewickelte Birnenkapillare wird mit einer geringen Menge einer Flüssigkeit von niedrigem Siedepunkt gefüllt. Bei einem Anstieg der Umgebungstemperatur beginnt die Flüssigkeit zu siedeln und füllt die Kapillare mit Dampf, dessen Druck die Spirale abzuwickeln trachtet. Im umgekehrten Falle führt eine Verminderung der Umgebungstemperatur in der Kapillare zu einem verringerten Dampfdruck, wodurch die Röhre sich enger zusammenrollt. Dieses Zusammenrollen und Auseinanderstreben kann mit Hilfe elektrischer Relais zu einer temperaturabhängigen Steuerung herangezogen werden. Kapillarröhren werden normalerweise in großen Längen spiralig aufgerollt und völlig entspannt geliefert.

Gezogene und geschweißte Röhren werden aus Flachmaterial durch Zusammenlegen und Verschweißen der stumpf aufeinanderstoßenden Kanten hergestellt. Gleich im Anschluß an das Schweißen wird die äußere Schweißbraupe und durch

nachfolgendes Kaltziehen die innere Schweißbraupe entfernt, womit die Herstellung kleinerer Abmessungen ermöglicht wird.

Kunststoffe

Der als PTFE (Polytetrafluoräthylen, Handelsname: Teflon oder Hostaflon) bekannte Werkstoff läßt sich in einer Vielzahl von Nennweiten zu Präzisionsröhren ausziehen. Aus frisch polymerisiertem Material können dünnwandige Röhren zum Transport korrosiver Stoffe, Leitungsisolatoren und Bauteile mit kleinen Profilquerschnitten und von hoher Elastizität hergestellt werden.

Peristaltikpumpen nutzen den Druck von Walzen auf elastische Röhren zum Fördern von Flüssigkeiten oder von Gasen aus. Auf diese Weise wird jede Verunreinigung gepumpten Materials mit Schmutzpartikeln, die dem Pumpenmechanismus anhaften könnten, vermieden. Solche Röhren bestehen aus einer Teflon-Innenröhre, die mit einem Hüllmaterial aus Silikongummi überzogen wird. Sie eignen sich für Lösungsmittel und Säuren sowie für alkalische und sterile Lösungen in einem Temperaturbereich von -32°C bis 95°C .

Glas

Beim mechanischen Ziehen von Glasröhren wird Glas unmittelbar der Schmelze entnommen. Es fließt auf einen hohlen rotierenden Dorn, durch den Luft geblasen wird, wickelt sich um ihn und fließt zusammen. Der Ziehvorgang wird, bevor das Rohr vom Dorn abgenommen wird, mit der Hand eingeleitet. Bei einem anderen Verfahren wird die Röhre durch einen runden Keramikkörper, der auf der Glasmasse schwimmt, aufwärts gezogen, während zugleich Luft durch seine Mitte nach oben geblasen wird. Das Ziehen von Glasröhren ist völlig mechanisiert. Es lassen sich Röhrentypen mit einem Ausstoß von 60 km/h herstellen.

ROLLTREPPE

Eine moderne Rolltreppe bietet die schnellste und wirkungsvollste Methode zur Beförderung großer Menschenmassen von einer Ebene zur nächsthöheren oder nächstniedrigeren. Sie kann bis zu 10 000 Personen pro Stunde befördern.

In ihrer einfachsten Form besteht die Rolltreppe aus einer Reihenfolge einzelner, zwischen zwei endlosen Ketten eingehängten Stufen, die sich in einer starren Stahlgitterkonstruktion (Sprengwerk oder Hängewerk) aufwärts oder abwärts bewegen.

Jesse Reno und Charles Seeberger, deren Konstruktionen in den frühen neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts unabhängig voneinander gebaut wurden, waren die ersten, die sich mit dem Bau von Rolltreppen beschäftigten. Im Jahre 1900 wurden in Paris und in New York Rolltreppen gebaut. Jedoch kam es erst im Jahre 1921 zum Bau der ersten modernen Rolltreppe, in der die besten Eigenschaften der Konstruktionen von Reno und Seeberger vereinigt waren. Heute werden

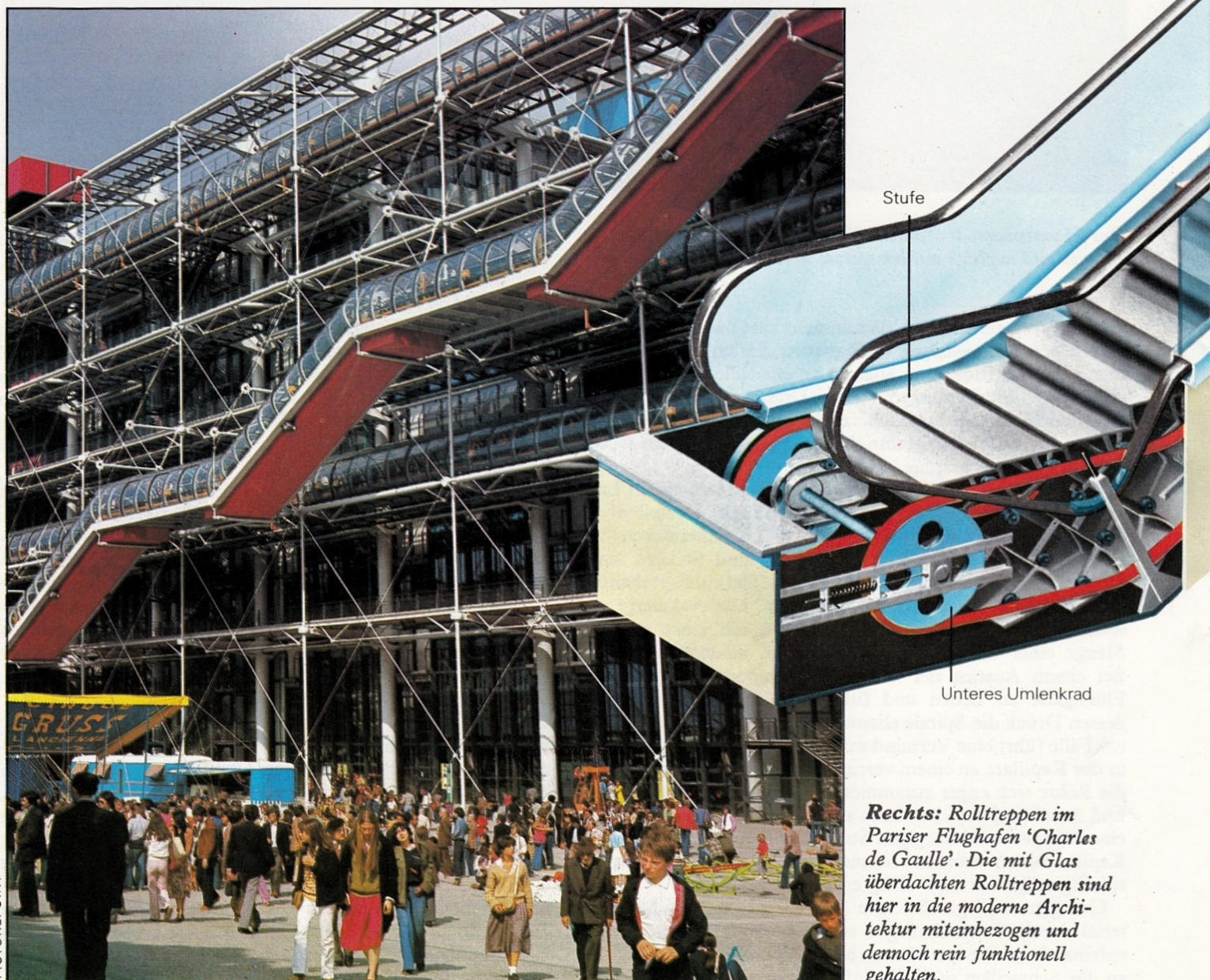
Unten: Die Rolltreppe an der Außenseite des 'Centre Georges Pompidou' in Paris mit einer Glasüberdachung.

Rolltreppen ganz allgemein in Bahnhöfen, Flughäfen, Kaufhäusern und überall dort eingesetzt, wo eine schnelle und zuverlässige Personenbeförderung erforderlich ist.

Die meisten Rolltreppen allgemeiner Bauart werden im Herstellerwerk vorgefertigt und in einem Stück zum Einbauort transportiert, obgleich sie ohne Schwierigkeit in drei Hauptabschnitte zerlegt werden könnten: den oberen Abschnitt (Abgang), den mittleren Abschnitt und den unteren Abschnitt (Zugang).

Oberer Abschnitt

Im oberen Abschnitt sind der elektrische Antriebsmotor und die meisten Steuereinrichtungen untergebracht. Beim Antriebsmotor handelt es sich um einen Drehstrom-Asynchronmotor (siehe ELEKTROMOTOR), der mit ungefähr 1 000 U/min betrieben wird und die Rolltreppe über ein als Schneckenrad ausgelegtes Zwischenvorgelege antreibt. Die Haupt-Bremsvorrichtung befindet sich durch Federbelastung in Stellung 'Ein' und wird durch einen Gleichstrom-Elektromagneten in der Stellung 'Aus' gehalten, so daß die Rolltreppe in Bewegung bleiben kann. Diese Anordnung ist 'ausfallsicher', da der Elektromagnet bei Stromausfall abgeschaltet wird, wodurch es zur Auslösung der Bremse durch die Federn kommt. Ein Handrad und ein von Hand zu betätigender Hebel zur Freigabe der Bremse ermöglichen im Bedarfsfalle die Bewegung



Rechts: Rolltreppen im Pariser Flughafen 'Charles de Gaulle'. Die mit Glas überdachten Rolltreppen sind hier in die moderne Architektur miteinbezogen und dennoch rein funktionell gehalten.

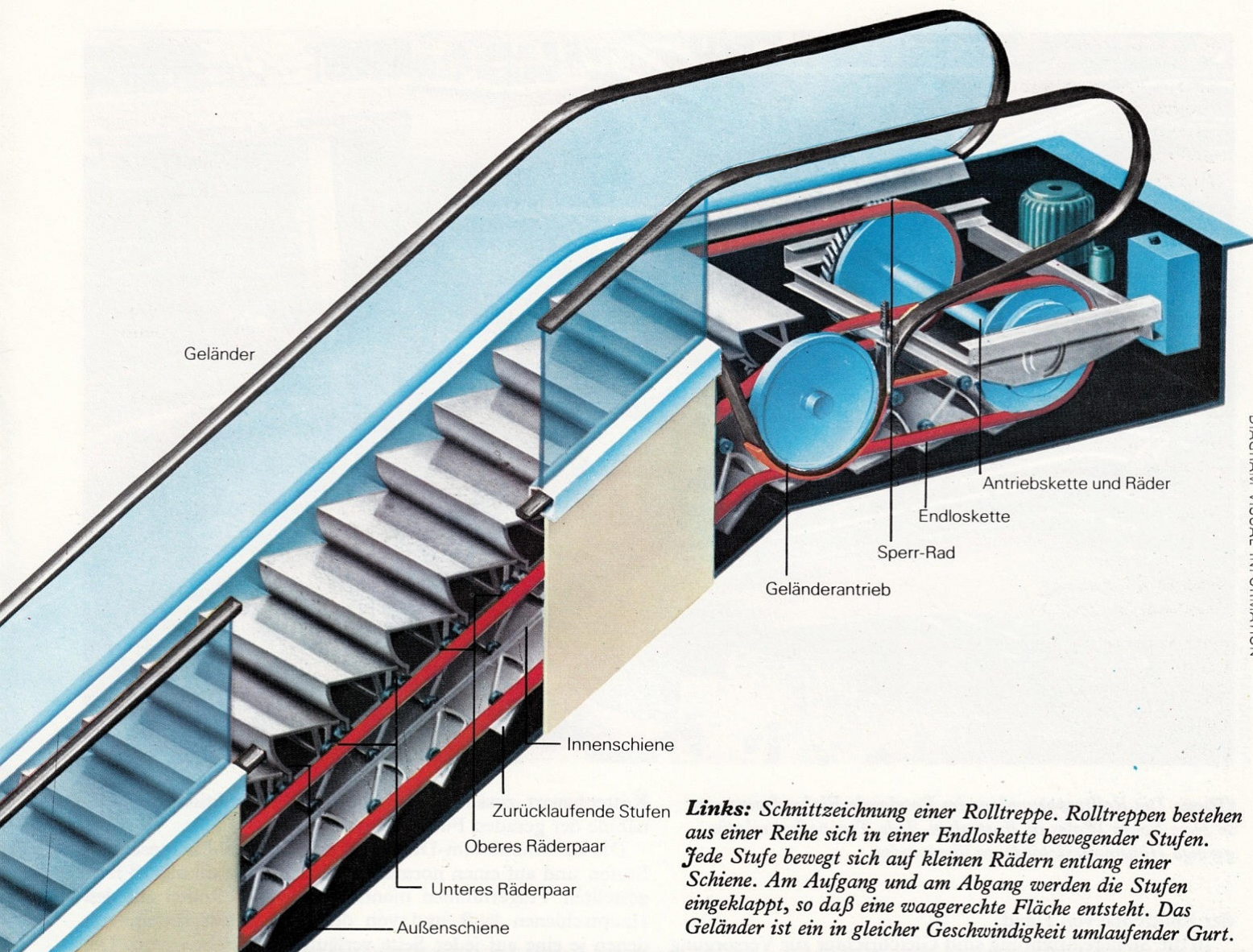


DIAGRAM VISUAL INFORMATION

Links: Schnittzeichnung einer Rolltreppe. Rolltreppen bestehen aus einer Reihe sich in einer Endloskette bewegender Stufen. Jede Stufe bewegt sich auf kleinen Rädern entlang einer Schiene. Am Ausgang und am Abgang werden die Stufen eingeklappt, so daß eine waagerechte Fläche entsteht. Das Geländer ist ein in gleicher Geschwindigkeit umlaufender Gurt.



ZEFA



PHOTOGRAPHIC LIBRARY OF AUSTRALIA

Oben: Die Rolltreppenanlage im Roselands-Einkaufszentrum in New South Wales in Australien. Jede Treppe hat relativ geringe Höhenunterschiede zu überwinden.

der Rolltreppe von Hand.

In die Steuereinrichtung sind Gleichrichter zur Versorgung der Bremsvorrichtung mit Gleichstrom, ein Kontaktgeber zum Anlassen des Motors und einige Steuerrelais eingeschlossen, die zur Ermöglichung des Abstellens des Motors für den Fall einer Überlastung, eines Reißens der Antriebskette oder einer Behinderung der Stufen oder des Handlaufs mit Sicherheitsschaltern verbunden sind. Die Steuereinrichtung ist ebenfalls mit den über einen Schlüssel betätigten Anlaßschaltern und den Notabschaltknöpfen verbunden und enthält eine Vorrichtung zur Verhinderung einer Umkehrung der Bewegungsrichtung, falls es zu einem Schaden im Antriebsmechanismus kommt. Zur Verringerung von Verschleiß und Betriebskosten sind einige Rolltreppen mit Einrichtungen zur Regelung der Geschwindigkeit ausgerüstet. Dadurch wird bewirkt, daß eine nicht durch Personen belastete Rolltreppe nur mit halber Geschwindigkeit betrieben wird. Sowohl am Zugang als auch am Abgang sind fotoelektrische Sensoren angebracht, die die Betriebsgeschwindigkeit der Rolltreppe heraufsetzen, wenn sie von Personen betreten wird, und wieder auf die halbe Betriebsleistung zurückschalten, wenn sie von den Benutzern wieder verlassen worden ist.

Mittlerer und unterer Abschnitt

Im unteren Abschnitt sind die Mitlaufräder für den Rücklauf der Stufen (Zahnräder, um die sich die Kette bewegt), die Sicherheitsschalter für die Endlosketten sowie die bogenförmig verlaufenden Bauteile des Zugangs zur Umlenkung der Rolltreppenbewegung aus der Horizontalen in den normalerweise 30° bis 35° betragenden Anstiegswinkel untergebracht. Zwischen dem Zugang und dem Abgang befindet sich eine in

Kastenbauart zusammengeschweißte Konstruktion zur Aufnahme der geraden Führungsschienen.

Die aus Aluminium-Druckguß und Preßstahl hergestellten Stufen sind auf einen normalerweise aus Aluminiumguß hergestellten Trägerrahmen montiert, der über Rollen auf den Hauptschienen läuft und von den zwei Förderketten, von denen je eine auf jeder Seite verläuft, angetrieben wird. Die Rutschfestigkeit der Stufen für die Benutzer wird durch eine mit Aluminium- oder Gummi-Auflage versehene, verrippte Trittplatte gewährleistet.

Die gleichfalls umlaufenden Handlaufbänder bestehen aus mit geformten Gummi- oder Kunststoffauflagen versehenen Leinwandschichten. Sie drehen sich mit einer genau auf die Geschwindigkeit der Stufen abgestimmten Umlaufgeschwindigkeit in Endlosschleifen über T-förmige Führungen auf dem oberen Rand der Geländer. Die Geländer und die zugehörigen Scheuerleisten sind so konstruiert, daß die Stufen ruckfrei vorbeigleiten können. Alle Verbindungen und Fugen sind sorgfältig abgedeckt. Im Betriebszustand muß das Spiel der Stufen strengen Sicherheitsnormen entsprechen. So tragen die Kämmebleche (die Metallverzahnungen, die auf der Ober- und auf der Unterseite des ortsfesten Zugangsbleches vorstehen und die Verbindung zwischen den aufsteigenden Treppenstufen und dem ebenen Boden darstellen) Sicherheitsschalter zum Abstellen der Rolltreppe, falls irgendein Gegenstand zwischen Stufen und Kämmeblech eingeklemmt wird.

Die Breite der Stufen kann zwischen 0,5 m und 1,5 m liegen, während die Betriebsgeschwindigkeit zwischen 0,4 m/s bis 0,9 m/s betragen kann. Bei einer Steiggeschwindigkeit von 0,75 m/s kann eine einzelne, von einem 74 kW starken Motor betriebene Rolltreppe stündlich bis zu 10 000 Personen befördern. Eine Abwandlung der Rolltreppe, der rollende Bürgersteig, ist ein waagrecht in Längsrichtung bewegliches, gummibeschichtetes Transportband, das zur Beförderung von Personen, beispielsweise in Flughäfen und Bahnhöfen, benutzt wird.

RÖNTGENSTRAHLEN

Keine Erfindung der Menschheitsgeschichte hat wahrscheinlich die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit schneller auf sich gezogen als die Röntgenstrahlen. Denn diese mysteriösen Strahlen können durch Materie 'hindurchsehen' und wurden daher als Bedrohung der Intimsphäre empfunden.

Die durchdringende Strahlung, die emittiert wird, wenn ein Elektronenstrahl (Katodenstrahl) auf die Wand einer Gasentladungsröhre trifft, wurde im Jahre 1895 von dem deutschen Forscher W. C. Röntgen (1845 bis 1923) zufällig entdeckt. Er nannte sie X-Strahlen, da zu dieser Zeit ihre Natur völlig unklar war. Mit der Zeit wurde dieser Name — im Andenken an den Erfinder — in Röntgenstrahlen geändert. Heute weiß man, daß diese X-Strahlen elektromagnetische Strahlen sind, deren Wellenlänge zwischen 0,001 nm und 10 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) liegt, d.h. beträchtlich kleiner ist, als die des sichtbaren Lichtes (etwa 500 nm).

Die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin ist wohl am bekanntesten, obgleich Röntgenstrahlen auch in der Industrie zur Untersuchung von Materialien und Schweißnähten auf Einschlüsse verwendet werden. Weitere bedeutende Anwendungsbereiche sind die Metallurgie und die Geochemie, wo diese Strahlung zur Untersuchung chemischer Verbindungen und zur Analyse der Kristallstruktur der Proben benutzt wird.

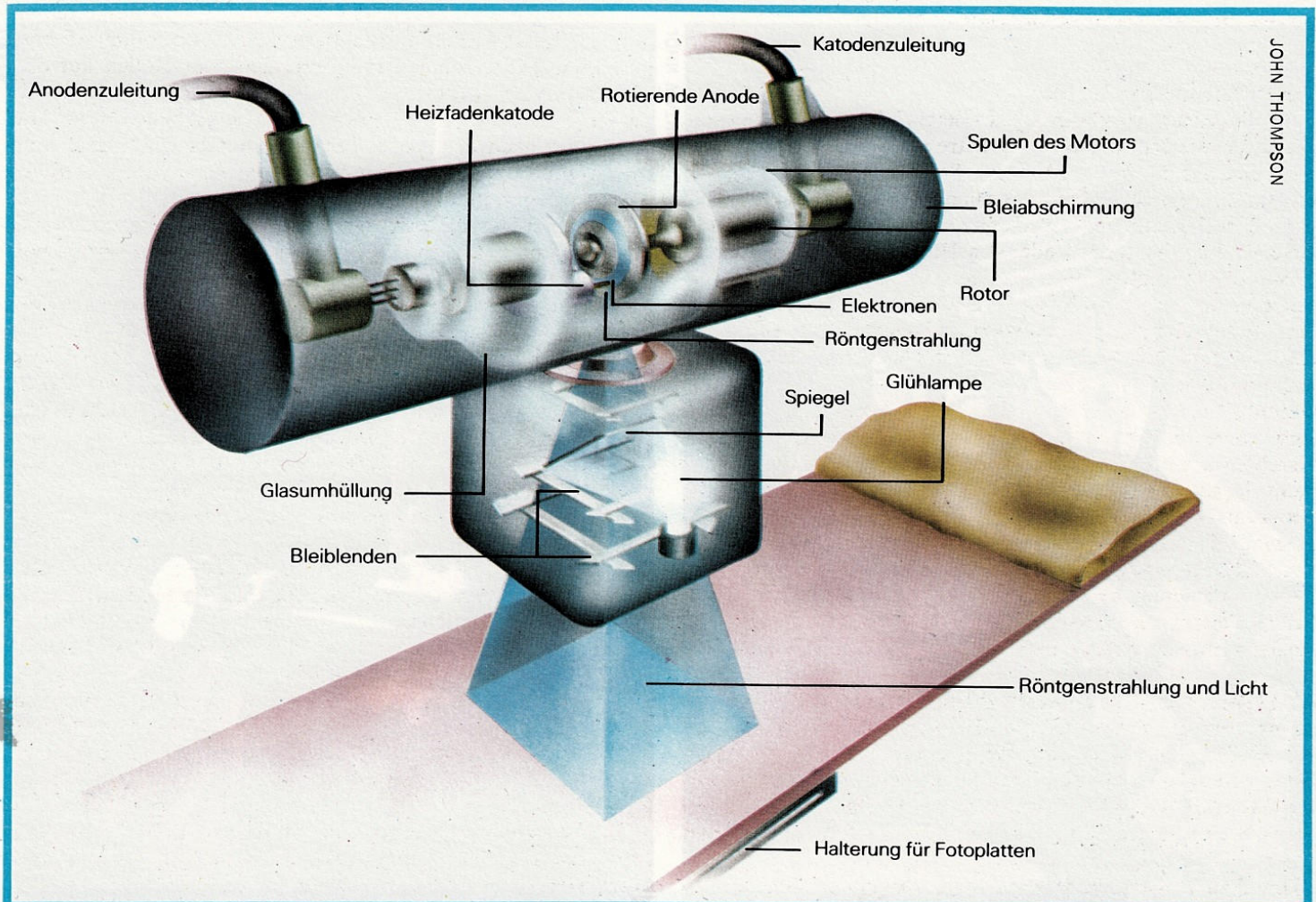
Die Erzeugung von Röntgenstrahlen

Die ersten Strahlungsquellen wurden aus Röntgens Gasentladungsröhre entwickelt. Darin konnte jedoch der Gasdruck nur schwer konstant gehalten werden, und folglich hatten

diese Röhren nur eine kurze Lebensdauer. Im Jahre 1913 entwickelte W. D. Coolidge (1873 bis 1975) den Typ von Röntgenröhre, der noch heute allgemein benutzt wird. Sie besteht aus einer hochevakuierten Glasröhre. An der Katode (negative Elektrode) werden durch einen elektrischen Heizdraht, ähnlich wie bei einer Verstärker-Röhre (Vakuumröhre), Elektronen freigesetzt. Ein elektrisches Feld beschleunigt die Elektronen zur positiven Elektrode (Anode oder Antikate). Sie treffen mit hoher Geschwindigkeit auf ein Wolfram-Plättchen als 'Target', das in die Kupfer-Anode eingelassen ist. Dort wird etwa 1% der Energie des Elektronenstrahles in elektromagnetische Strahlung umgewandelt. Diese Röntgenstrahlen verlassen durch ein Fenster die ansonsten allseitig gut abgeschirmte Röhre. Die restlichen 99% der Elektronenenergie werden in Wärme umgesetzt; deshalb muß die Kupfer-Antikate während des Betriebes mit Wasser gekühlt werden.

Die Intensität der von Coolidge konzipierten Röntgenröhre wird durch die Glühkatode geregelt. Eine Erhöhung der elektrischen Spannung zwischen Katode und Antikate führt zur Erzeugung von Strahlung kürzerer Wellenlänge. Strahlen kürzerer Wellenlänge werden im allgemeinen schlechter absorbiert, sind energiereicher und dringen tiefer in Materie ein.

***Unten:** Röntgenapparate dieses Typs findet man in den meisten Krankenhäusern. Sie können in verschiedene Richtungen ausgerichtet werden. Die Röntgenstrahlen werden durch das Auftreffen eines Elektronenstrahls auf die Anode erzeugt. Zur Verlängerung der Lebensdauer und zum Schutze vor Überhitzung wird die Anode mit bis zu 10 000 Umdrehungen pro Minute gedreht. Bleischlitze begrenzen die Auftrefffläche der Röntgenstrahlen. Die Auftrefffläche ist beleuchtet.*



Röntgenapparate in Kliniken arbeiten gewöhnlich mit Spannungen von weniger als 150 000 V, obgleich die Röhren nach Coolidge bis zu mehreren Hunderttausend Volt und spezielle Typen, die mehrere Elektroden enthalten, bis zu zwei Millionen Volt Spannung betrieben werden können. Röntgenstrahlen mit noch kleineren Wellenlängen (kleiner als 0,001 mm) werden in Teilchenbeschleunigern erzeugt, indem man einen Elektronenstrahl auf ein Metall-Target treffen läßt. Diese kurzwelligen Röntgenstrahlen sind physikalisch mit den Gamma-Strahlen identisch. Man benutzt letzteren Begriff, wenn die Strahlung durch Radioaktivität entsteht, während die Bezeichnung Strahlung verwendet wird, wenn Elektronen abgebremst werden.

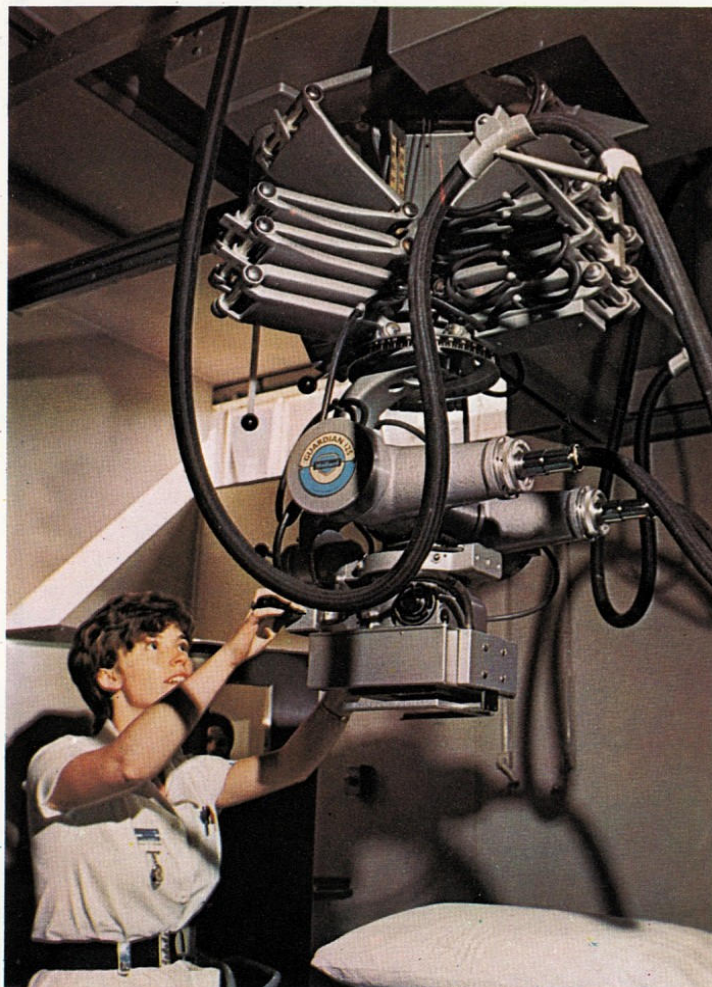
Beim Aufprall der Elektronen auf das Target kommt es durch zwei Prozesse zur Emission von Röntgenstrahlen: Treffen diese Elektronen auf freie Elektronen des Targetmaterials, werden sie plötzlich abgebremst und geben Energie durch Strahlung ab. Diese 'Bremsstrahlung' hat jedoch eine viel geringere Intensität als die Strahlung von den Target-Atomen. Diese entsteht, wenn das beschleunigte Elektron aus einer der inneren Schalen eines Target-Atoms ein Elektron heraus schlägt. Sofort nimmt ein Elektron aus einer höheren Schale die Leerstelle ein. Dabei wird die überschüssige Energie als

elektromagnetische Strahlung fester Wellenlänge abgegeben (Linienemission). Bei Atomen mit hoher Ordnungszahl liegt die Wellenlänge der von den Elektronen der inneren Schalen abgestrahlten elektromagnetischen Wellen im Röntgenstrahlenbereich. Jedes Element hat so ein charakteristisches Röntgenspektrum, wie es auch ein typisches optisches Spektrum besitzt, das durch Übergänge von Elektronen zwischen den äußeren Schalen entsteht. Monochromatische Röntgenstrahlung, d.h. Strahlung von nur einer Wellenlänge, erhält man, indem man mit Hilfe von Absorptionsfiltern alle anderen Wellenlängen der am Target entstandenen Strahlung herausfiltert.

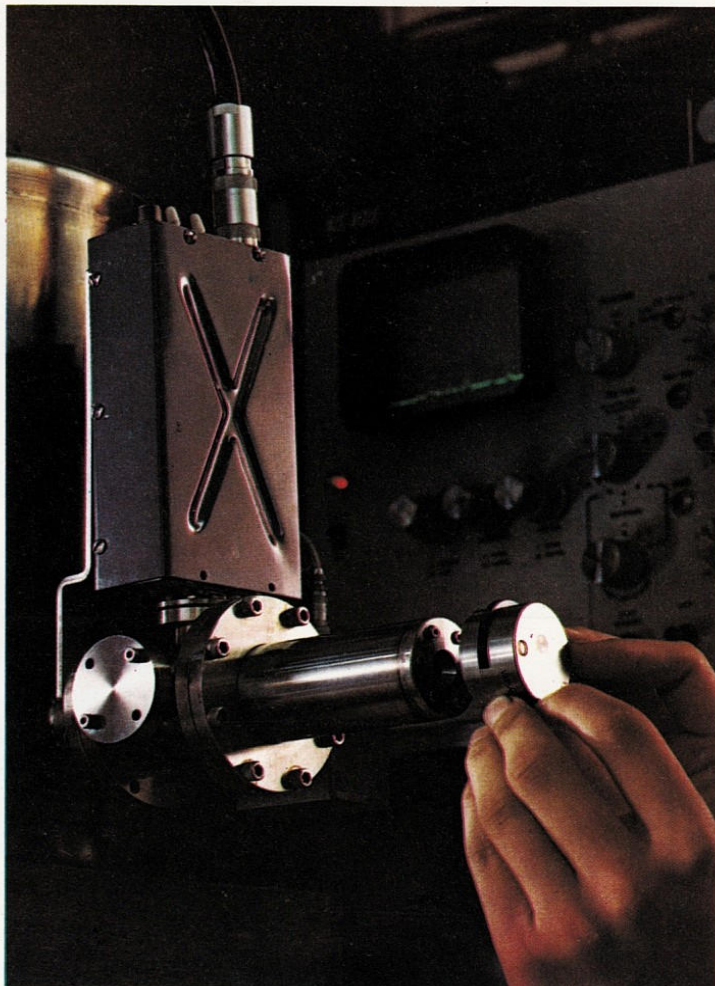
Radiographie

Verschiedene Materialien absorbieren Röntgenstrahlen unterschiedlich stark: Bei gegebener Wellenlänge hängt die Absorption von der Ordnungszahl (Anzahl der Protonen in einem Atomkern) des vorliegenden Atomes und der Dichte ab. Zur Radiographie wird die Probe zwischen die Röntgenröhre und eine Fotoplate gestellt. Die stark absorbierenden Teile werfen dann 'Schatten' auf die Platte und erscheinen nach dem Entwickeln hell. (Ersetzt man die Fotoplate durch einen fluoreszierenden Schirm, kann man das Bild direkt sehen; dieses Verfahren wird Fluoroskopie genannt.) Ein Radiograph (oder 'Röntgenbild') des menschlichen Körpers zeigt zum Beispiel die Knochen heller als das sie umgebende Fleisch, da die Knochen Calcium enthalten, das eine relativ hohe Ordnungszahl besitzt. Alle Abnormitäten, wie Knochenbrüche, Arthritis oder auch Fremdkörper im Magen bzw. der Lunge, sind sofort sichtbar und ermöglichen eine angemessene Therapie. Innere Organe absorbieren Röntgenstrahlen etwa genauso gut wie das umgebende Fleisch; durch Konzentration von Kontrastmitteln größerer Absorptionsstärke im Organ kann man dieses jedoch

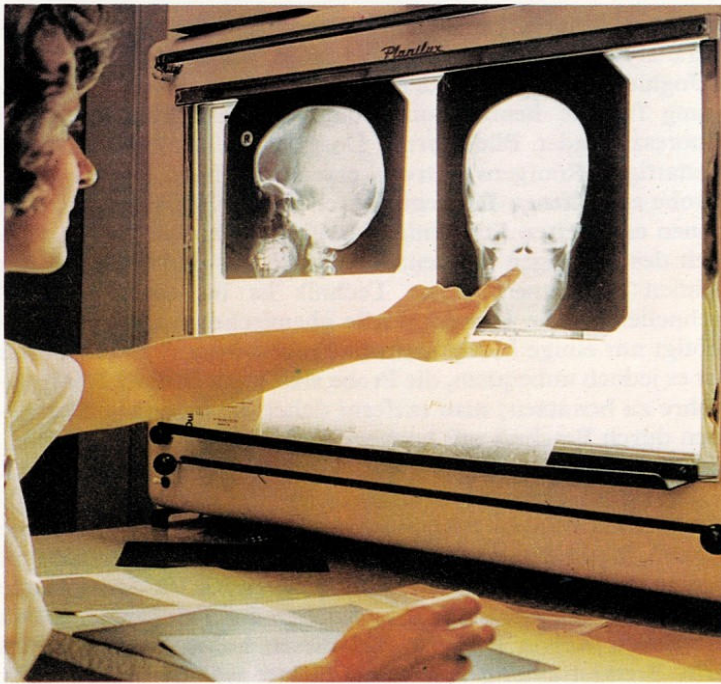
Unten: Eine beliebig variierbare, an der Decke befestigte Röntgenröhre. Das entstehende Bild wird üblicherweise auf einer Fotoplate festgehalten. Andere Techniken wurden inzwischen entwickelt, die eine geringere Strahlungsdosis erfordern. Eine solche Technik ist die Xeroradiographie, bei der ein virtuelles Bild auf einer xerographischen Platte erzeugt wird. **Rechts unten:** Eine Röntgenquelle variabler Energie wird zur Eichung eines Photonenspektrometers benutzt.



JOHN WATNEY



UKAEA



Oben: Die hellsten Bereiche auf den Röntgenbildern eines Kopfes zeigen die Gewebestücke an, die Röntgenstrahlen am stärksten absorbieren. Die Knochen sind wegen ihres hohen Calciumgehaltes klar erkennbar.

sichtbar machen. Trinkt man nichtlösliches Bariumsulfatsalz, kann man mit Röntgenstrahlen den ganzen Magen-Darm-Trakt durchleuchten. Bei einer Injektion von Iodverbindungen in den Blutkreislauf nimmt die Iodkonzentration in Schilddrüse und Nieren zu; dies kann von Vorteil bei röntgenologischen Untersuchungen dieser Körperteile sein.

Industriell ist Radiographie zum Orten innerer Materialfehler sehr nützlich, vor allem bei Schweißnähten. Die Bewegung innenliegender Maschinenteile kann durch einen Filmapparat auf Röntgenstrahl-Basis verfolgt werden; Aufnahmen mit Belichtungszeiten bis zu einer Tausendstel Sekunde sind bei Röhren mit rotierendem Target, das nur für diese kurze Zeit im Elektronenstrahl liegt, möglich. Eine spezielle Art der Radiographie ist die in Medizin und Industrie benutzte Stereoskopie, bei der zwei Röntgenbilder aufgenommen werden; dazwischen wird die Quelle um den Abstand zwischen den menschlichen Augen verschoben. Werden diese Aufnahmen durch ein Stereoskop betrachtet, tritt ein dreidimensionales Bild auf. So kann z.B. sofort festgestellt werden, wo sich eine Kugel im menschlichen Körper befindet.

Eine bedeutende neue Technik zur Untersuchung der dreidimensionalen Struktur von Festkörpern ist die Tomographie, die ursprünglich zur Diagnose eines Gehirntumors entwickelt wurde. Hierbei werden während der Belichtung die Röntgenröhre, der Patient und das Aufnahmegerät so bewegt, daß der 'Schatten' einer bestimmten Schnittebene durch das Gehirn stets die gleiche Lage auf der Fotoplatte hat, während die Schatten der übrigen Teile des Gehirnes sich kontinuierlich verändern und sich hierbei herausmitteln. Das Ergebnis ist eine Röntgenaufnahme, die einen Querschnitt durch den Tumor zeigt. Setzt man die Aufnahmen vieler, paralleler Schnittebenen zusammen, erhält man ein vollständiges, dreidimensionales Bild des Geschwüres.

Radiologie ist der Zweig der Medizin, der Radiographie und die therapeutische Anwendung der Röntgenstrahlen umfaßt. Röntgenstrahlung wird vielfach dazu benutzt, krebsartige Geschwüre zu zerstören. Dabei muß mit äußerster Vorsicht gearbeitet werden, da die hohen Strahlungsdosen auch ge-

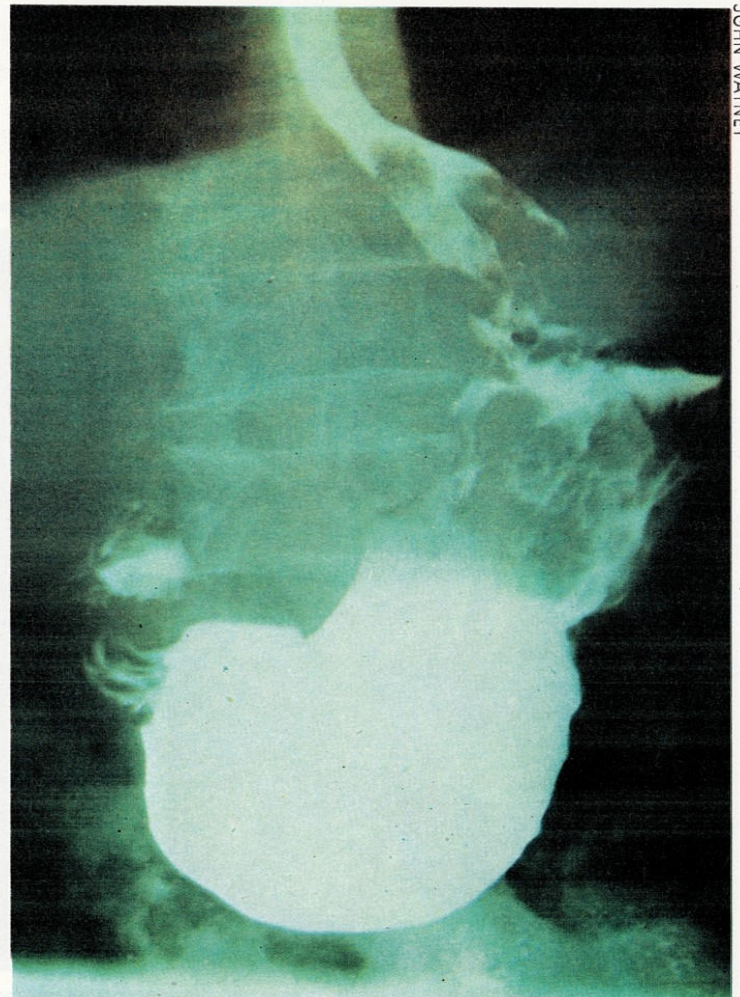
sundes Gewebe angreifen können. Im Extremfall kann eine Überdosis Röntgenstrahlen zur Leukämie (Blutzellenkrebs) führen.

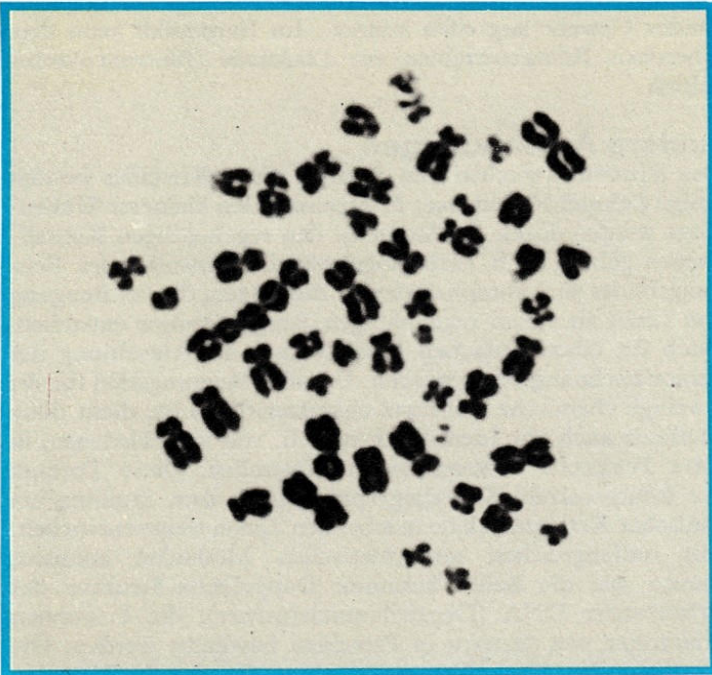
Andere Anwendungen

Der Abstand zwischen den Atomen eines Kristalles beträgt einige Zehntel Nanometer; Röntgenstrahlen kleinerer Wellenlänge werden durch die Atome in den regelmäßigen Kristallebenen gebeugt, d.h. leicht abgelenkt. Die entstehenden Beugungsbilder sind komplizierter als diejenigen, die bei Beugung von Licht an einem regelmäßigen Beugungsgitter entstehen. Doch für einen einfachen Kristall kann die Anordnung der Atome leicht abgeleitet werden. Da jedes Beugungsbild für die jeweilige chemische Substanz charakteristisch ist, dient diese Methode auch zur Identifizierung z.B. von verschiedenen, in einer Felsprobe vorkommenden Mineralien. Diese Technik der Röntgenstrahl-Kristallographie wurde zum Studium organischer Kettenmoleküle in lebenden Zellen weiterentwickelt. Mit umfangreichen mathematischen Methoden konnten, ebenso wie die heute bekannte Doppelhelix-Struktur der Erbsubstanz DNA (Deoxiribonucleinsäure), die Positionen Hunderter von Atomen in Proteinen bestimmt werden. Die Synthese des Penicillins wäre ohne die durch Röntgen-Kristallographie erhaltene Information über seine Struktur nicht möglich gewesen.

Die relativ einfachen Beugungsbilder, die durch einfach

Unten: Bariumsulfat erscheint auf dem Röntgensschirm dunkel. Da es vom Verdauungstrakt nicht absorbiert werden kann, stellt es ein ausgezeichnetes Mittel dar, das — oral eingenommen — die Verdauungswege auf der Röntgenplatte sichtbar macht. Der Fleck im Vordergrund weist auf ein Krebsgeschwür hin.





Oben: Einige dieser Chromosomen wurden durch π -Mesonen zerschlagen. Chromosomen kontrollieren die Aktivität jeder Zelle, und Schäden der hier gezeigten Art beeinflussen die Fähigkeit der Zelle, sich zu entwickeln und fortzupflanzen.

strukturierte Kristalle erzeugt werden, benutzt man, ähnlich wie ein Beugungsgitter in einem optischen Spektrometer, in einem Spektrometer zur Messung der Wellenlänge von Rönt-

Unten: Der britische Röntgensatellit 'Ariel 5' wurde 1974 mit einer amerikanischen Rakete in eine Erdumlaufbahn gebracht. 'Ariel 5' ist mit Teleskopen und Detektoren ausgestattet, die Röntgenstrahlen im Weltraum, oft von fernen Sonnensystemen kommend wie der Seyfert-Galaxie und Quasaren, messen.



genstrahl-Linien. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Strukturanalyse chemischer Verbindungen durch 'Fluoroskopie'. (Unglücklicherweise ist der Name identisch mit der Bezeichnung für die Beobachtung von Röntgenstrahlen an einem fluoreszierenden Bildschirm.) Da jedes Element ein verschiedenartiges Röntgenspektrum erzeugt, können die in einer Probe enthaltenen Elemente durch die Wellenlängen der von ihnen emittierten Strahlung identifiziert werden. Die Häufigkeit des jeweiligen Elementes läßt sich aus der Intensität der Linien bestimmen. Diese Technik ist bis zu hundertmal schneller als die konventionelle chemische Analyse und benötigt nur einige Milligramm an Probesubstanz. In der Praxis ist es jedoch unbequem, die Probe als Target in einer Röntgenröhre zu benutzen; man entfernt daher die innersten Elektroden durch Beschuß mit hochenergetischen Röntgenstrahlen.

Röntgen-Astronomie

Zu den natürlichen Röntgenstrahl-Quellen gehören auch die Sonne, (besonders um die dunklen Sonnenflecken herum) und einige Doppelsterne, bei denen von einem Riesen-Stern Masse auf einen Zwerg-Stern fällt und diesen auf Temperaturen von Millionen Kelvin aufheizt. Bei diesen hohen Temperaturen tritt Bremsstrahlung auf, wenn Elektronen mit Atomkernen zusammenstoßen. Diese Strahlung wurde von Satelliten jenseits der Erdatmosphäre, die Röntgenstrahlung absorbiert, entdeckt. Manchmal ist der Zwerg-Stern ein Neutronen-Stern, der etwa die millionenfache Dichte von Wasser hat. Ein spezieller, Röntgenstrahlen emittierender Stern kann ein 'schwarzes Loch' sein, d.h. eine Region im All, aus der weder Materie noch Strahlung entweichen kann. Gelangt Materie in dieses schwarze Loch, wird sie aufgeheizt und emittiert Röntgenstrahlen, bevor sie aus dem Gesichtsfeld des Universums verschwindet.

Unten: Die verzerrten weißen Flecken sind Sonnensysteme. Die scharf umrissenen Punkte und der große weiße Fleck mit den vier Dornen im Vordergrund sind Sterne unseres eigenen Sonnensystems. Die Sonnensysteme sind Quellen von Röntgenstrahlen.

ROHSTOFFRÜCKGEWINNUNG

In Haushaltsabfällen befinden sich große Mengen an Papier, Metallen, Kunststoffen und Glas. Die meisten dieser Stoffe können wiedergewonnen und weiterverarbeitet werden.

Ob ein Material, mit dem verschwenderisch umgegangen wird, wiedergewonnen wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Einmal können wirtschaftliche Überlegungen eine Rolle spielen, zum anderen ist die Schuttbladestelle von Bedeutung. Der wohl wichtigste Aspekt ist die Wiederaufbereitung von Stoffen aus Haushaltsabfällen wie Papier, Metalle, Kunststoffe und Glas. In diesem Artikel wird hauptsächlich die Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Abfallprodukten behandelt. Die Gewinnung der Rohstoffe auf chemischem Wege wird nicht beschrieben.

Papier

Der bei weitem größte Anteil an Haushaltsabfällen (50 Gewichtsprozent, 70 Volumenprozent) ist Papier, eine der wichtigsten Quellen des Papierbreies bei der Papierherstellung. Die Kosten von wiederaufbereitetem Papier sind leider relativ hoch, da insbesondere das Einsammeln, das Sortieren und der Transport hohe Kostenfaktoren sind. In den Vereinigten Staaten von Amerika z.B. betrug im Jahre 1970 die Menge an wiederaufbereitetem Papier weniger als die Hälfte der im Jahre 1945 hergestellten Papiermenge.

Beim Wiederaufbereitungsprozeß wird das Papier mechanisch mit Hilfe von Wasser zu Papierbrei verarbeitet, dem Natronlauge zugesetzt wird, um unerwünschte Stoffe zu beseitigen. Anschließend wird der Papierbrei gewaschen und gebleicht, um z.B. Druckfarbe zu beseitigen. Als Endprodukt erhält man Papier für den Buchdruck. Das Bleichen von Abfallpapier ist vielfach ein unwirtschaftlicher Prozeß, da bis

Große Mengen von Schrott werden zurückgewonnen. Stahl- und Eisenschrott werden aussortiert und an die Stahlindustrie verkauft.



zu 25% des ursprünglich verwendeten Papiers verlorengehen kann und die Qualität des Papiers nicht dem aus Holz gefertigten Papier entspricht. Eine bedeutende Alternative für die Verwendung von Abfallpapier ist Papier als Brennstoff. Der Wärmewert von Abfallpapier ist hoch—etwa die Hälfte von Kohle und ein Drittel von Heizöl. Für diese Zwecke verwendetes Abfallpapier muß nicht sortiert werden.

Metalle

Ein Großteil der verwendeten Metalle ist wiederaufbereitet. Nachdem sie ausrangiert sind, werden Metallteile entweder als Schrott verkauft oder einfach weggeworfen. Metallspäne, die beim Bearbeiten von Metallen entstehen, werden ebenfalls als Schrott verkauft. Der größte Anteil des wiederverwerteten Metalles kommt zwar von Schrotthändlern, doch werden Metallteile auch in Haushaltsabfällen gefunden.

Das am häufigsten vorkommende, wiederverwertbare Metall ist Eisen. Schrotteisen wird gewöhnlich in einem elektrischen Lichtbogenofen geschmolzen. In diesem Ofen wird Sauerstoff zur Erzeugung von Eisenoxidschlacke zuge-

blasen. Die Schlacke wird entfernt, und Kohlenstoff in Form von Koks oder gebrauchten Kohleelektroden wird zum Entoxidieren des Stahles verwendet. Während dieser Verarbeitung steigen Kohlenstoffmonoxidblasen an die Oberfläche des geschmolzenen Eisens. Nach Raffinations- oder Legierungsprozessen kann das geschmolzene Metall gegossen werden. Ein kürzlich entwickeltes Verfahren, bei dem Stahlblechtafeln guter Qualität, die zum Ausziehen geeignet sind, gewonnen werden, verwendet Stahlschrott, der von Ausstanzblechen stammt. Der Stahlschrott wird in kleine Stücke geschnitten, auf Schweißtemperaturen erhitzt und anschließend in Stahltafeln ausgewalzt. Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß der Stahl nicht geschmolzen werden muß.

Aus verzinnnten Dosen des Haushaltsmülls wird eine geringe Menge von Schrotteisen gewonnen. Dieses Eisen hat keine hohe Qualität. Bei der Verarbeitung zu Stahl treten beachtliche metallurgische Probleme auf. Sowohl das Zinn als auch das Blei in der Schmelze hindern die Stahlherstellung. Zinn scheint das Endprodukt zu spröde zu machen, während Blei die feuerfeste Auskleidung des elektrischen Lichtbogenofens



SHEERNESS STEEL

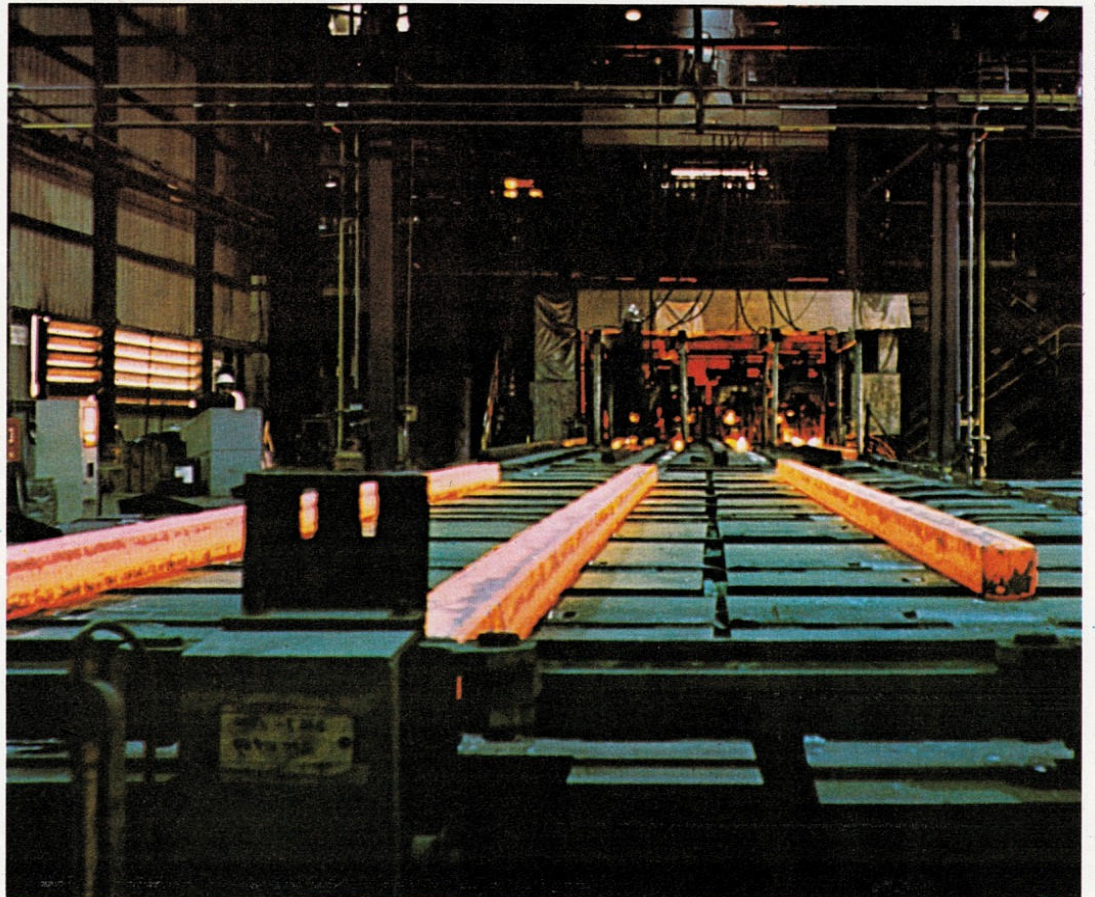


Die Bilder auf dieser Seite zeigen die Herstellung von schweißbarem Stahl aus hundertprozentigem Stahlschrott.

Oben: Der Schrott wird in allen Teilen des Landes gesammelt und durch Hebezeug, das mit einem Elektromagneten ausgestattet ist, in Gichtkübel befördert.

Oben rechts: Der Stahlschrott wird in Lichtbogenöfen zum Schmelzen gebracht. Anschließend wird Sauerstoff in das geschmolzene Metall geblasen.

Rechts: Das Metall wird dann zu Blöcken geformt und zu Stäben ausgerollt.



SHEERNESS STEEL

beeinflusst. Um diese Probleme zu umgehen und die Eisenmenge bei der Produktion zu erhöhen, sollten reine Stahlwaren zur Wiedergewinnung von Eisen verwendet werden.

Aus dem Schrott lassen sich auch viele andere Metalle gewinnen. Vielfach werden heute Metallgefäße aus Aluminium hergestellt. Aluminium kann sehr einfach wiedergewonnen werden, wenn es vom Müll getrennt werden kann (siehe unten). Blei, Kupfer und Quecksilber sind weitere Metalle, die aus Schrott wiederhergestellt werden können. In gleicher Weise werden auch Edelmetalle wie Gold oder Platin wieder aufbereitet.

Kunststoffe

Etwa 90% aller Kunststoffe sind Thermoplaste, d.h. Kunststoffe, die beim Erhitzen erweichen und beim Erkalten aushärten. Die Wiederaufbereitung von Kunststoffen müßte deshalb einfach sein. Das Problem besteht jedoch darin, daß es eine Fülle von Thermoplasten gibt. Sie können im allgemeinen nicht gemischt werden, wenn die Qualität gut sein soll. Dies bedeutet, daß Kunststoffe nicht nur vom normalen Müll, sondern auch untereinander getrennt werden müssen. Tritt im Müll eine große Menge Kunststoff bekannter Zusammensetzung auf, kann eine Wiederaufbereitung empfohlen werden. Kunststoffflaschen z.B. bestehen aus Polyethylen. Unter der Voraussetzung, daß sich dieses Material leicht auflösen läßt, kann dieser Kunststoff wieder geschmolzen und weiterverarbeitet werden. Es zeigte sich, daß chloriertes Polyethylen die Eigenschaften anderer Kunststoffe positiv beeinflusst. Wird chloriertes Polyethylen zu anderen Kunststoffen aus dem Abfall vor dem Schmelzen beigefügt, wird ein Sortieren der Kunststoffe weitgehend vermieden.

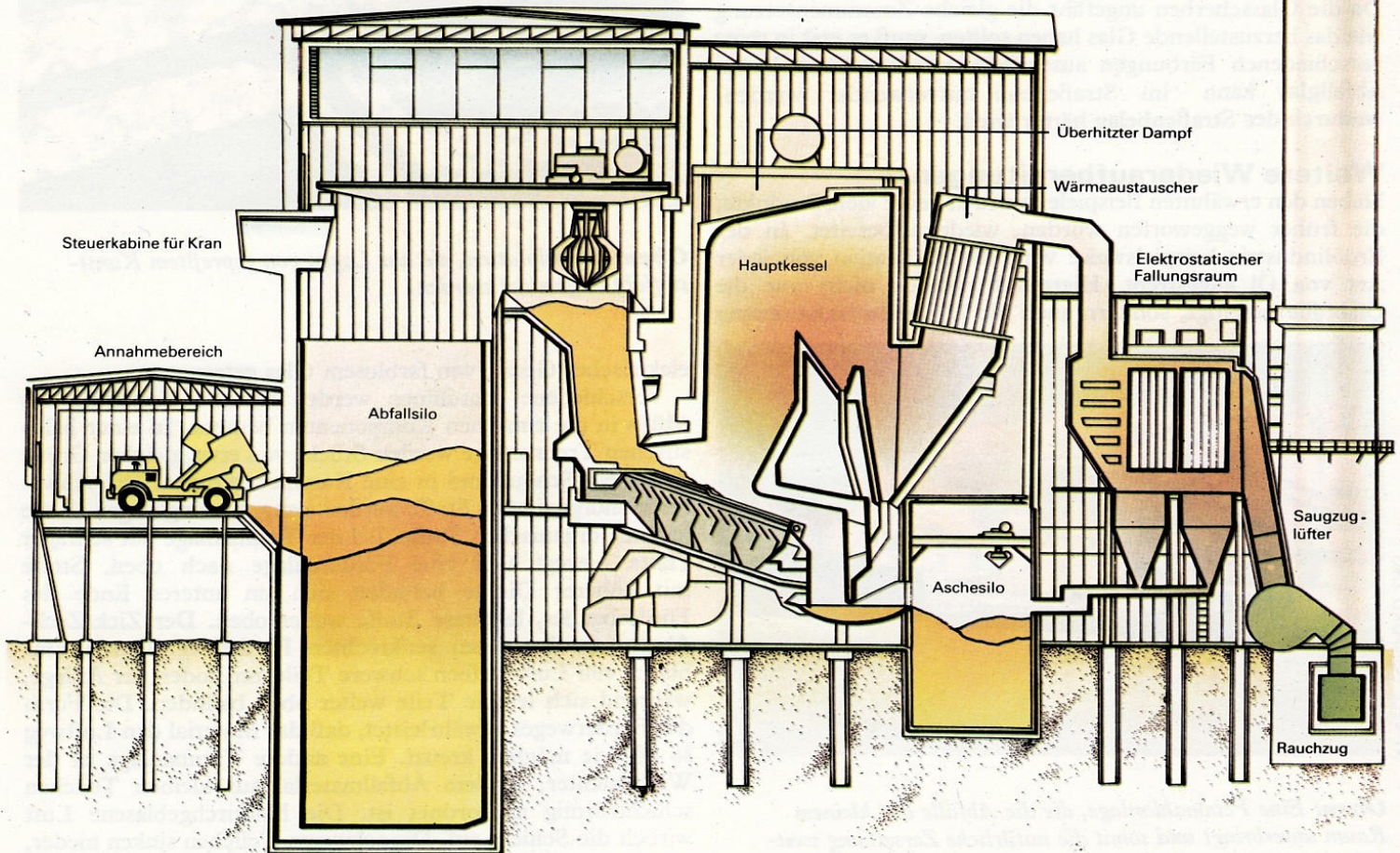
In den USA werden Versuche unternommen, leere Milch-

flaschen aus Polyethylen zurückzunehmen. Kunststoffflaschen haben gegenüber Glasflaschen einige Vorzüge: sie sind einfacher zu lagern, unzerbrechlich und schneller wiederaufzufüllen. Außerdem können Kunststoffflaschen etwa 100mal wiederverwendet werden; Glasflaschen hingegen nur 20mal. Allerdings hat dieses System einen Nachteil: Kunststoffflaschen werden durch Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Kerosin, eher verunreinigt als Glas. Außerdem ist die Bevölkerung nur schwer davon zu überzeugen, daß Kunststoffmaterial nicht weggeworfen werden soll.

Glas

Weggeworfenes und zerbrochenes Glas sind Glasscherben. Sie werden bei der Glasherstellung als Füllgut wiederverwendet. Glasscherben sollten jedoch die gleiche Zusammensetzung haben wie das zu fertigende Glas, und etwa nur 30% Glasscherben sollten zugesetzt werden. Das zuzusetzende Glas

Unten: Querschnittszeichnung einer Fernheizanlage. Fernheizanlagen verwenden häuslichen Abfall als Brennstoff. Der Abfall wird zuerst in ein großes Silo entleert und anschließend mit Hilfe eines Kranes in den Zufuhrtrichter des Kessels gebracht. Nach der Verbrennung im Hauptkessel treten die Austrittsgase in einen Wärmeaustauscher, wo Wärme gewonnen wird, und gelangen schließlich in einen elektrostatischen Fallungsraum, in dem Staubteilchen abgelagert werden. Die Asche des Hauptkessels wird einem Aschesilo zugeführt.



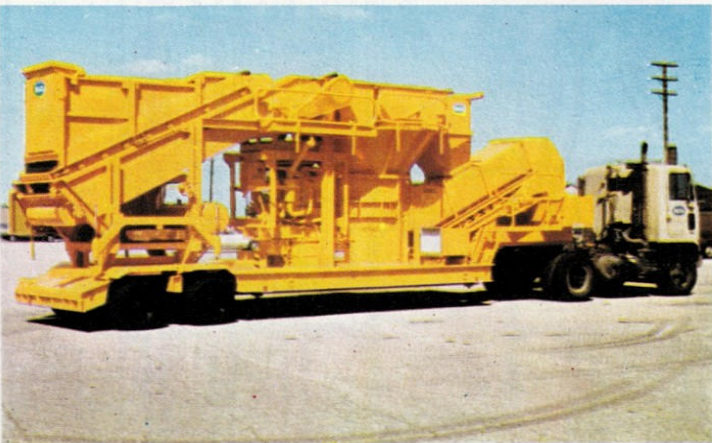


Oben: Silber wird aus benutzten fotografischen Lösungen durch einen elektrolytischen Vorgang zurückgewonnen. Das Bild zeigt wie Silber von der Katode der Anlage abgehoben wird.

wird in etwa sieben Zentimeter große Stücke zerschlagen, anschließend gewogen und dann dem Rohmaterial zugesetzt. Da die Glasscherben ungefähr die gleiche Zusammensetzung wie das herzustellende Glas haben sollten, muß es erst in seine verschiedenen Färbungen aussortiert werden. Granuliertes Abfallglas kann im Straßenbau mitverwendet werden, wodurch der Straßenbelag härter wird.

Weitere Wiederaufbereitungen

Neben den erwähnten Beispielen werden heute viele Produkte, die früher weggeworfen wurden, wiederaufbereitet. In der Erdölindustrie beispielsweise wird die Raffination von jeder Art von Öl angestrebt. Hierdurch werden nicht nur die Ölabbfälle beseitigt, sondern auch die Umweltverschmutzung



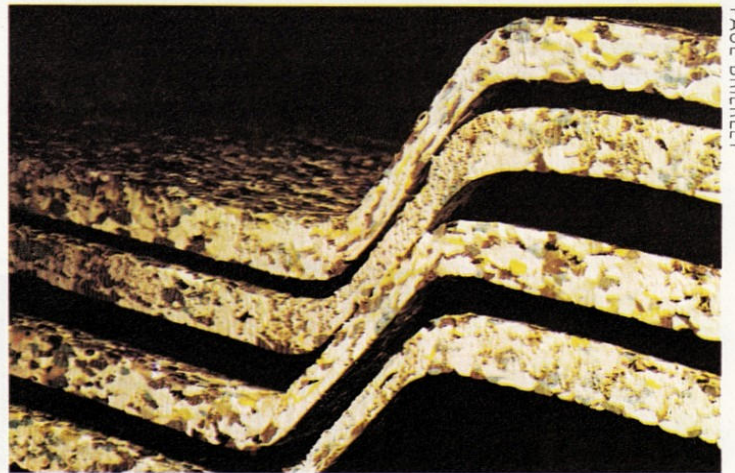
Oben: Eine Feinmahanlage, die die Abfälle auf kleinem Raum unterbringt und somit die natürliche Zersetzung weitgehend beschleunigt.

PHOTOGR. SILVER RECOVERY

herabgesetzt. Kohlschlacke wird als Grundmaterial im Baugewerbe verwendet. Textilabfälle finden vielfältige Anwendung: Baumwollabfälle werden bei Polsterungen verwendet oder wiederversponnen. Lumpen werden zu hochwertigem Papier verarbeitet. Sie können auch Aktivkohle zugesetzt werden, die Luft- und Wasserverschmutzungen absorbiert.

Trennung

Wesentlich ist bei der Wiederaufbereitung von Produkten die Trennung der einzelnen Müllbestandteile. In einer modernen Müllverarbeitungsanlage wird der Müll erst zerkleinert und dann getrocknet. Dann kommt der Müll in den Pyrolyseofen, wo sämtliche Nahrungsmittel zu Holzkohle verbrannt werden. Die Verbrennung findet bei 500°C bis 800°C in einer sauerstoffarmen Atmosphäre statt. Nach dem Auskühlen wird das Restmaterial einer Stabmühle zur Zerkleinerung und anschließend magnetischen Vorrichtungen und Geräten, die nach der Größe aussortieren, zugeführt. Kleine zurückbleibende Stücke werden einem Luftstrom ausgesetzt, um Kohlerückstände zu beseitigen. Eine weitere Trennung des Gutes erfolgt aufgrund von Dichteunterschieden, wodurch Glas, Aluminium und nichteisenhaltige Metalle ausgesondert werden. Die Glasbruchstücke werden nach farbigem und farblosem Glas getrennt, indem man sie einem Magnetfeld aussetzt, wobei farbiges Glas auf das einwirkende Magnetfeld reagiert. Manchmal wird farbiges Glas auch unter Verwendung foto-



PAUL BRIERLEY

Oben: Stapelplatten, die aus Lagen von gepreßtem Kunststoffabfall gebildet wurden.

elektrischer Geräte von farblosem Glas getrennt.

Verschiedene Maschinen werden für die Trennung des Mülls in die einzelnen Komponenten benutzt. In einer ballistischen Trennanlage werden Stücke von etwa gleicher Größe durch ein Schaufelrad in eine Kammer gezogen. Die schwereren anorganischen Stoffe werden weiter hineingezogen als die leichten organischen Stoffe. Bei der Trennanlage mit schräger Platte bewegt sich eine Förderanlage nach oben. Stoffe mit höherer Dichte befinden sich am unteren Ende des Förderbandes, leichtere Stoffe weiter oben. Der Zick-Zack-Abscheider hat einen senkrechten Förderweg. Durch Einblasen von Luft bleiben schwere Teile am Boden der Anlage, während sich leichte Teile weiter oben befinden. Die Form des Förderweges gewährleistet, daß das Material den Luftweg so oft wie möglich kreuzt. Eine andere Trennanlage ist der Wirbelsichter, in dem Abfallmaterial aus kleinen Teilchen schichtförmig angeordnet ist. Die hindurchgeblasene Luft wirbelt die Schicht auf. Die schweren Teilchen sinken nieder, die leichten Teilchen 'schwimmen'.

RÜCKKOPPLUNG (FEEDBACK)

Mit Hilfe einer Rückkopplung finden selbstregulierende Vorgänge im lebenden Organismus aber auch in Maschinen und Anlagen statt. Als Wirkung der Rückkopplung — z.B. im biologischen Bereich — stellt sich eine bestimmte Körpertemperatur beim Menschen ein, im technischen Bereich hält die Rückkopplung den Flugkurs von Raketen und Satelliten ein.

Rückkopplungen findet man in Systemen und Bauteilen, bei denen ein Teil der Ausgangsgröße auf den Eingang zurückgeführt wird, um auf diese Weise Änderungen zu bewirken, ohne daß ein Eingriff in das System zu erfolgen braucht. Wenn bei einem mehrstufigen Vorgang ein Anteil auf eine der vorherigen Stufen zurückgeführt wird, besitzt das System eine Rückführungsschleife, über die eine Prozeßüberwachung stattfinden kann und sich notwendige Korrekturen durchführen lassen.

Obgleich das Verfahren in technischen Systemen — und dort besonders in elektronischen Schaltungen — zu großer Bedeutung gelangt ist, benutzt man das Wort Feedback oft auch im gesellschaftlichen Sprachgebrauch zur Bezeichnung von durch Rückkopplung anfallender Information.

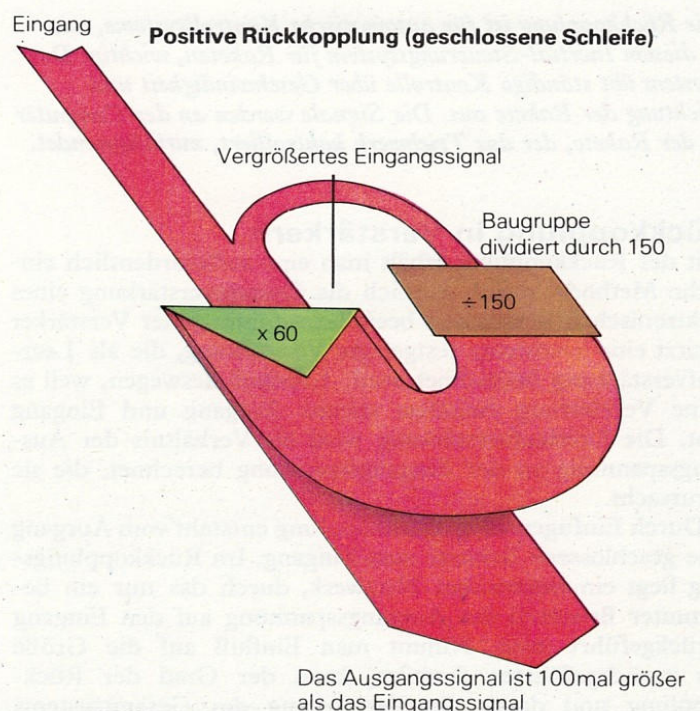
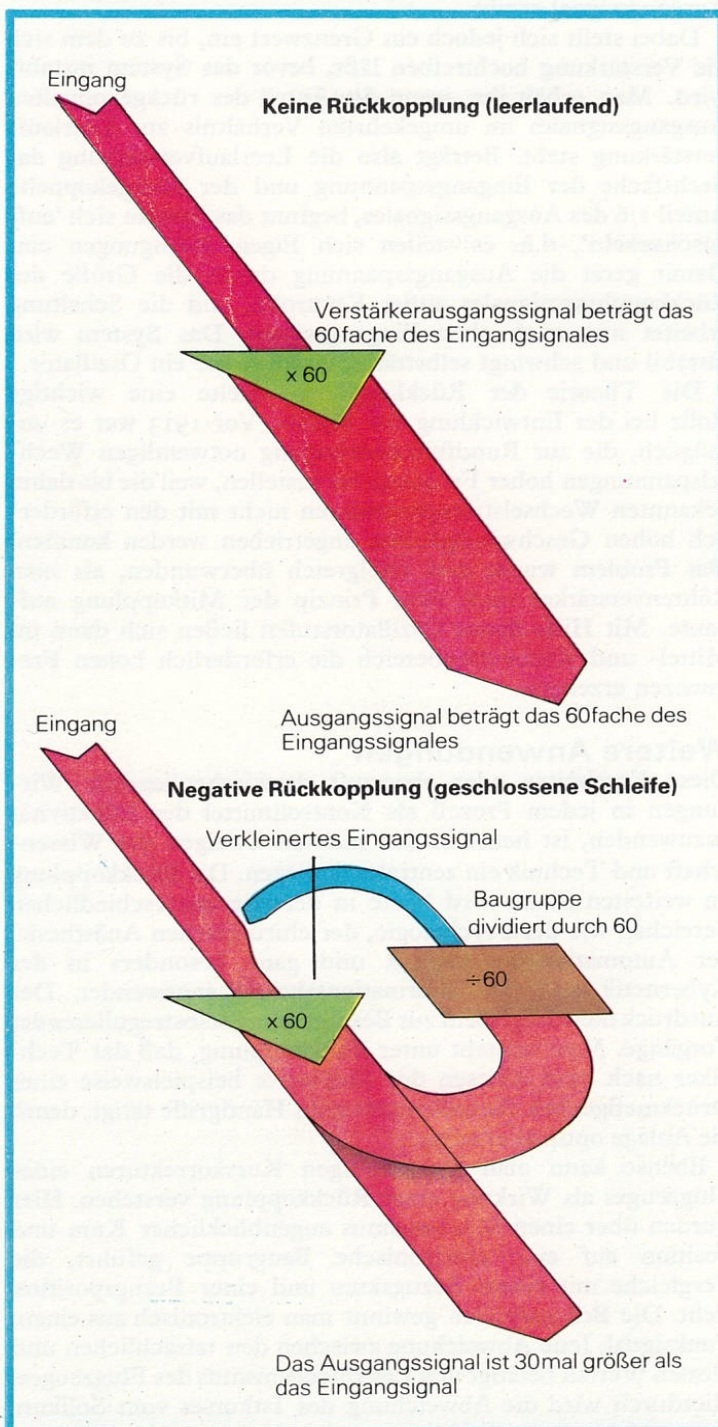
Eine Rundfunkgesellschaft erfährt beispielsweise von ihren Hörern oder Fernsehzuschauern Reaktionen (Rückkopplung) zum ausgestrahlten Programm, deren charakteristische Merkmale zukünftige Sendungen beeinflussen können.

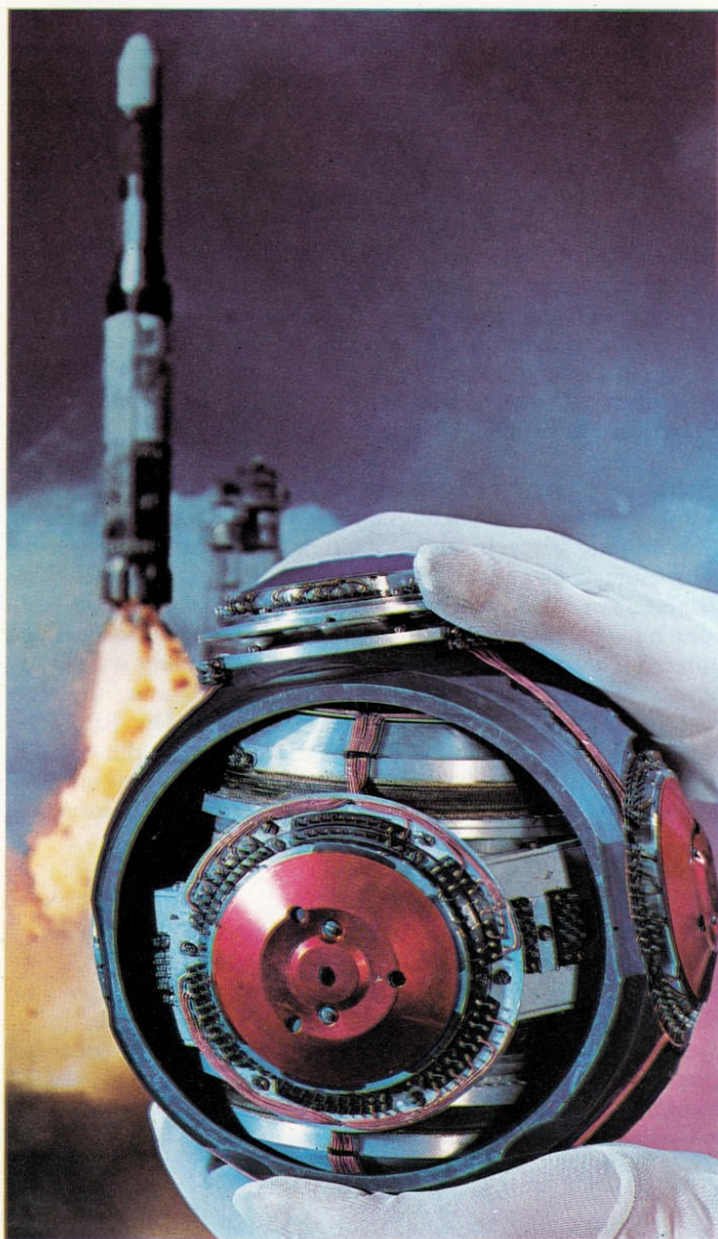
Auch ein Lehrer sollte eine Rückkopplung über seine angewandten Lehrmethoden von seinen Schülern anstreben und davon abhängig die Methoden entsprechend ändern. Ebenso ist die Rückkopplung ein wesentlicher Bestandteil der Lehrmaschinen, bei denen der Schüler ständig über seine Lernfortschritte informiert wird.

Ein einfacher Rückkopplungsvorgang

Am Beispiel einer Heizungsanlage, deren Temperatur über Thermostate geregelt wird, läßt sich der Rückkopplungsvorgang einfach darstellen. Hat die Raumtemperatur einen voreingestellten Wert erreicht, schaltet der Thermostat die Heizung ab, der Raum kühlt allmählich aus. Nach Erreichen einer unteren Temperaturgrenze schaltet er die Heizung wieder an. Man erhält auf diese Weise eine Raumtemperatur, die sich innerhalb vorbestimmter Grenzwerte bewegt. Die Rückführungsschleife ist in diesem System die Warmluft, die von der Heizung zum Thermostaten strömt, und die Verbindung des Thermostaten mit dem Schalter, mit dem die Brennstoffzufuhr des Heizsystems gesteuert wird.

Der leerlaufende Verstärker (ohne Rückkopplung) besitzt eine Verstärkung von 60 (oben). Durch eine negativ wirkende Rückkopplung (Mitte) wird $1/60$ des Ausgangssignales vom Eingangssignal subtrahiert und die Gesamtverstärkung des System sinkt auf 30. Bei einer positiven Rückkopplung (unten) wird $1/150$ des Ausgangssignales zum Eingangssignal hinzuaddiert; die Gesamtverstärkung beträgt 100.





Die Rückkopplung ist für automatische Kontrollsysteme, wie in diesem Inertial-Steuerungssystem für Raketen, wichtig. Das System übt ständige Kontrolle über Geschwindigkeit und Richtung der Rakete aus. Die Signale werden an den Computer in der Rakete, der das Triebwerk kontrolliert, zurückgesendet.

Rückkopplung in Verstärkern

Mit der Rückkopplung erhält man eine außerordentlich einfache Methode, durch die sich die Gesamtverstärkung eines elektronischen Verstärkers beeinflussen läßt. Jeder Verstärker besitzt eine bestimmte festgelegte Verstärkung, die als Leerlaufverstärkung bezeichnet wird. Leerlauf deswegen, weil es keine Verbindung zwischen seinem Ausgang und Eingang gibt. Die Leerlaufverstärkung wird als Verhältnis der Ausgangsspannung zu der Eingangsspannung berechnet, die sie verursacht.

Durch Einfügen einer Rückkopplung entsteht vom Ausgang eine geschlossene Schleife zum Eingang. Im Rückkopplungsweg liegt ein elektrisches Netzwerk, durch das nur ein bestimmter Bruchteil der Ausgangsspannung auf den Eingang zurückgeführt wird. Nimmt man Einfluß auf die Größe des zurückgeführten Anteiles, kann der Grad der Rückkopplung und damit die Verstärkung des Gesamtsystems gesteuert werden.

Positive und negative Rückkopplung

Wird die Schaltung so ausgelegt, daß sich das rückgekoppelte Signal vom Eingangssignal abzieht, erhält man eine negativ wirkende Rückkopplung, die auch als Gegenkopplung bekannt ist. Systeme mit negativer Rückkopplung zeichnen sich durch eine hohe Stabilität aus, weil das negativ wirkende Rückkopplungssignal jeder Zunahme des Eingangssignals entgegenwirkt. Die Verstärkung eines derartig aufgebauten Systems fällt immer kleiner aus als die ursprüngliche Leerlaufverstärkung des nicht gegengekoppelten Verstärkers. Durch Beeinflussung des Anteils der Ausgangsspannung, die den Eingang erreichen soll, läßt sich die Verstärkung mit Gegenkopplung festlegen. Bei einer positiven Rückkopplung—auch Mitkopplung genannt—wird das Rückkopplungssignal dem ursprünglichen Eingangssignal hinzuaddiert. Hierbei läßt sich die Gesamtverstärkung über den Wert der Leerlaufverstärkung hinaus vergrößern. Der Grund hierfür liegt darin, daß mit dem Rückkopplungssignal das Eingangssignal des Verstärkers insgesamt angehoben wird und sich ein entsprechend größeres Ausgangssignal ergibt.

Dabei stellt sich jedoch ein Grenzwert ein, bis zu dem sich die Verstärkung hochtreiben läßt, bevor das System instabil wird. Man erhält ihn, wenn der Anteil des rückgekoppelten Ausgangssignales im umgekehrten Verhältnis zur Leerlaufverstärkung steht. Beträgt also die Leerlaufverstärkung das Sechsfache der Eingangsspannung und der rückgekoppelte Anteil $1/6$ des Ausgangssignales, beginnt das System sich 'aufzuschaukeln', d.h. es stellen sich Eigenschwingungen ein. Damit gerät die Ausgangsspannung durch die Größe des Rückkopplungssignales außer Kontrolle, und die Schaltung arbeitet nun auch ohne Eingangssignal. Das System wird instabil und schwingt selbsttätig; es wirkt wie ein Oszillator.

Die Theorie der Rückkopplung spielte eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Radios. Vor 1913 war es unmöglich, die zur Rundfunkübertragung notwendigen Wechselspannungen hoher Frequenz herzustellen, weil die bis dahin bekannten Wechselstromgeneratoren nicht mit den erforderlich hohen Geschwindigkeiten angetrieben werden konnten. Das Problem wurde erst erfolgreich überwunden, als man Röhrenverstärker nach dem Prinzip der Mitkopplung aufbaute. Mit Hilfe dieser Oszillatorstufen ließen sich dann im Mittel- und Kurzwellenbereich die erforderlich hohen Frequenzen erzeugen.

Weitere Anwendungen

Diese Ergebnisse oder abgestuft dazwischenliegende Wirkungen in jedem Prozeß als Kontrollmittel der Effektivität anzuwenden, ist heute in den meisten Zweigen der Wissenschaft und Technik ein zentrales Anliegen. Die Rückkopplung im weitesten Sinne wird heute in derartig unterschiedlichen Bereichen wie der Psychologie, der chirurgischen Anästhesie, der Automatisierungstechnik und ganz besonders in der Kybernetik und der Informationstheorie angewendet. Der Ausdruck dient allgemein zur Beschreibung selbstregulierender Vorgänge. Man versteht unter Rückkopplung, daß der Techniker nach dem Ablesen der Meßwerte beispielsweise eines Druckmeßgerätes die entsprechenden Handgriffe tätigt, damit die Anlage optimal arbeitet.

Ebenso kann man die ständigen Kurskorrekturen eines Flugzeuges als Wirkung einer Rückkopplung verstehen. Hier werden über einen Mechanismus augenblicklicher Kurs und Position auf eine elektronische Baugruppe geführt, die Vergleiche mit einem Bezugskurs und einer Bezugsposition zieht. Die Bezugsgrößen gewinnt man elektronisch aus einem Funksignal. Jede Abweichung zwischen den tatsächlichen und idealen Werten betätigt den Lenkmechanismus des Flugzeuges. Hierdurch wird die Abweichung des Istkurses vom Sollkurs immer kleiner.

RÜCKSTOSSFREIES GESCHÜTZ

Obwohl rückstoßfreie Geschütze viel leichter als herkömmliche Geschütze sind, können mit ihnen ohne weiteres Geschosse jeden Kalibers mit der gleichen Feuergeschwindigkeit abgeschossen werden.

Herkömmliche Geschütze haben den Nachteil, daß beim Abfeuern ein Rückstoß auftritt, d.h. sie springen ruckartig zurück. Je größer das Kaliber und je höher die Feuergeschwindigkeit ist, um so stärker ist der Rückstoß. Der Grund hierfür liegt im dritten Bewegungsgesetz von Newton, wonach es für jede Kraft eine gleich große Gegenkraft gibt (Actio = Reactio).

Indem das Geschoss in Richtung Geschützöffnung beschleunigt wird, wird das Geschütz durch eine gleich große Gegenkraft zurückgestossen. Geschütze älterer Bauart, wie z.B. solche aus der Zeit der Kriege, die Napoleon I führte, besaßen keine Rückstoßauffangvorrichtung. Jedesmal, wenn sie abgefeuert wurden, sprangen sie mehr oder weniger weit zurück.

Die Suche nach Möglichkeiten, den Rückstoß aufzufangen, begann bereits in der Frühzeit der ersten Geschütze. Die einzigen praktischen Ergebnisse waren teure Pufferfedern. Geschütze der neuesten Bauart besitzen hochentwickelte Rückstoßauffangsysteme, die ein Vielfaches des Rohr- und Verschlussgewichtes wiegen und erheblich höhere Fertigungskosten bei längeren Fertigungszeiten verursachen.

Die einfachste Art, den Rückstoß aufzufangen, besteht darin, zwei gleichartige Geschütze so gegeneinander anzuordnen, daß Verschlussseite gegen Verschlussseite montiert ist, und sie gleichzeitig abzufeuern. Dabei hebt der Rückstoß des einen Geschützes den des anderen auf. Leider ist diese Idee für andere Zwecke als Laborexperimente ungeeignet. Die hierbei gefundenen Ergebnisse sind jedoch das Grundprinzip

aller rückstoßfreien Geschütze von heute. Dieses wurde erstmals von dem amerikanischen Marineoffizier Kommandant Davis aufgegriffen und erweitert. Im Jahre 1910 konstruierte er ein rückstoßfreies Geschütz, indem er zwei gleichartige Geschütze so miteinander verband, daß daraus ein Geschütz mit einem Zentralverschluß wurde. Die Geschützrohre konnten über diesen Verschluß einzeln mit dem Geschoss und der Ausgleichladung geladen werden. Zum Abfeuern verwendete er eine Treibladung, die aus dem einen Rohr das Geschoss und aus dem anderen die gleich schwere Ladung Bleischrot schoß. Letztere glich das Kraftmoment des Geschosses aus; ihr Flugweg war kurz.

Diese Anordnung war nicht ideal, trotzdem wurde sie im Ersten Weltkrieg bei einigen Flugzeugen verwendet, die zu leicht gebaut waren, um eine große Bordkanone aufzunehmen. Die rückstoßfreie Davis belastete beim Abfeuern weder die Flugzeugstruktur noch die Manöviereigenschaften; die nach

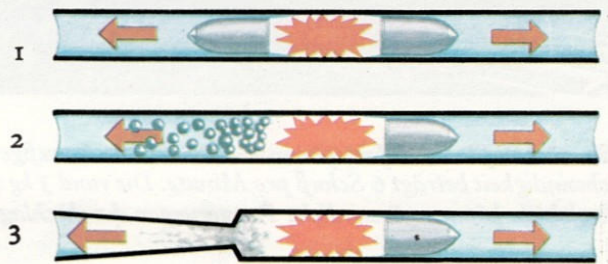
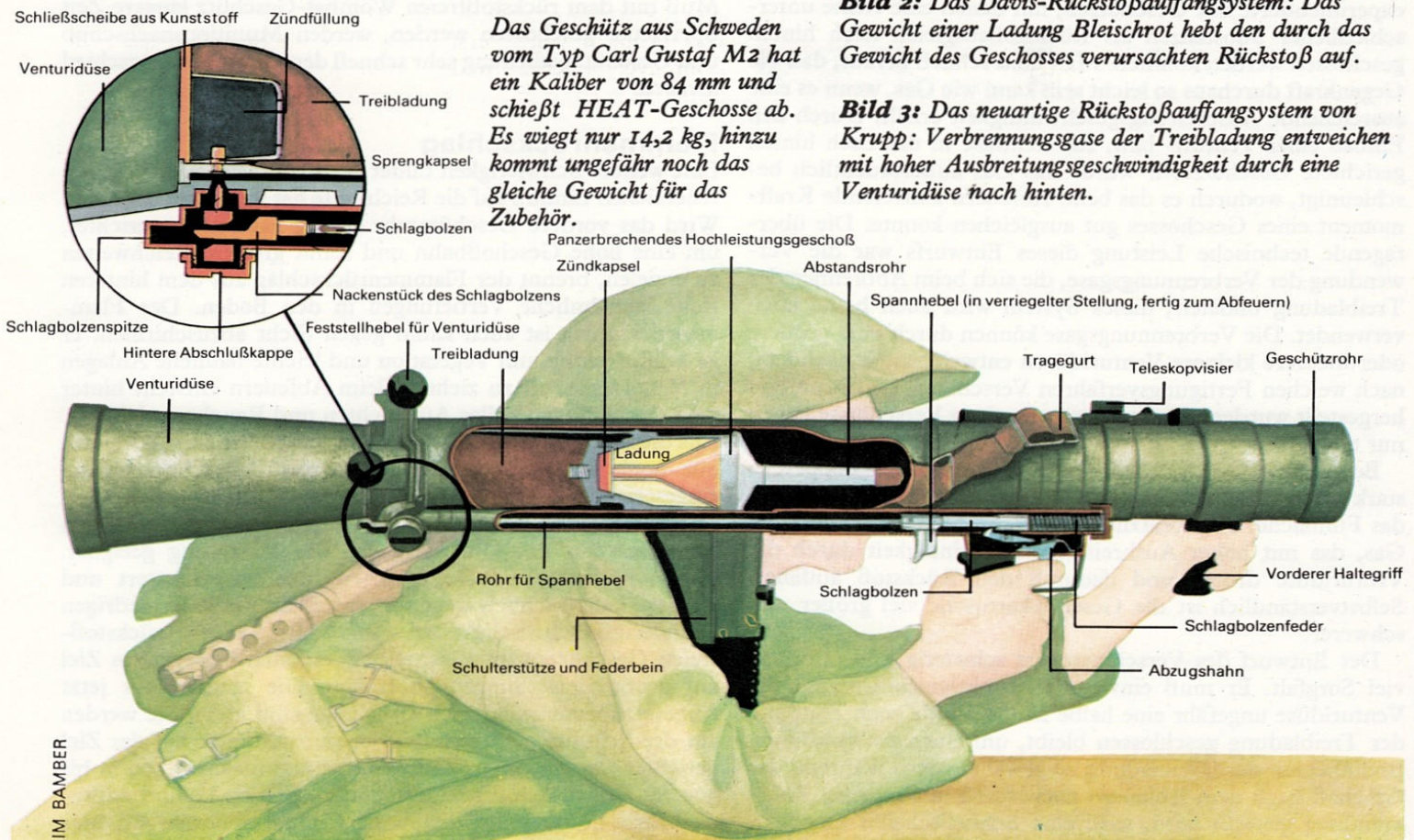


Bild 1: Prinzip eines rückstoßfreien Geschützes: Zwei Geschosse werden aus einem gemeinsamen Geschützrohr gleichzeitig in die entgegengesetzte Richtung abgefeuert. Jedes Geschoss hebt den Rückstoß des anderen auf.

Bild 2: Das Davis-Rückstoßauffangsystem: Das Gewicht einer Ladung Bleischrot hebt den durch das Gewicht des Geschosses verursachten Rückstoß auf.

Bild 3: Das neuartige Rückstoßauffangsystem von Krupp: Verbrennungsgase der Treibladung entweichen mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit durch eine Venturidüse nach hinten.





Ein rückstoßloses Bofors-90mm-Geschütz. Die Schußgeschwindigkeit beträgt 6 Schuß pro Minute. Die rund 3 kg schweren Projektile können 38 cm dicke Panzerungen durchschlagen.

hinten abgefeuerte Bleischrotladung bildete keine Gefahr. Die größte Davis konnte ein 5,4 kg schweres Geschosß abschießen. Nach 1918 wurde diese Idee jedoch verworfen, einer der Nachteile war die erhebliche Länge der beiden Geschützrohre.

In Deutschland jedoch wurde diese Idee in den dreißiger Jahren heimlich wieder aufgenommen, als für die Gebirgs- und Luftlandetruppen ein leichtes Feldgeschütz benötigt wurde. Krupp, Deutschlands bedeutendster Waffenhersteller, experimentierte mit Geschützen, mit denen eine Reihe unterschiedlicher Substanzen als Rückstoßausgleich nach hinten geschossen werden konnten. Man fand schnell heraus, daß die Gegenkraft durchaus so leicht sein kann wie Gas, wenn es eine ausreichende Ausbreitungsgeschwindigkeit erhält. Durch den Einbau einer Venturi- bzw. Raketendüse in das nach hinten gerichtete Geschützrohr wurde das Gas außerordentlich beschleunigt, wodurch es das beim Abfeuern auftretende Kraftmoment eines Geschosses gut ausgleichen konnte. Die überragende technische Leistung dieses Entwurfs war die Verwendung der Verbrennungsgase, die sich beim Abbrennen der Treibladung bildeten; dieses System wird auch heute noch verwendet. Die Verbrennungsgase können durch eine größere oder mehrere kleinere Venturidüsen entweichen, je nachdem, nach welchen Fertigungsverfahren Verschlüsse und Munition hergestellt wurden. Die meisten neuartigen Verschlüsse haben nur eine Düse.

Beim Davis-Geschütz war die Treibladung etwa doppelt so stark wie gewöhnlich, beim Krupp-Entwurf beträgt sie dagegen das Fünffache. Die zusätzliche vierfache Menge verbrennt zu Gas, das mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit durch die Venturidüse drückt und dadurch den Rückstoß auffängt. Selbstverständlich ist die Geschosßkartusche viel größer und schwerer.

Der Entwurf des Verschlusses ist schwierig und erfordert viel Sorgfalt. Er muß einwandfrei funktionieren, damit die Venturidüse ungefähr eine halbe Millisekunde nach Zündung der Treibladung geschlossen bleibt, um einen einwandfreien Brennbeginn der Treibladung zu gewährleisten. Während das Geschosß nach dem Abfeuern nach vorne in Richtung Rohrmündung gepreßt wird, wird eine Schließscheibe vorgelegt, wodurch sich der Brennvorgang stark beschleunigt. Dadurch

beschleunigt sich auch die Ausbreitung der Verbrennungsgase nach hinten und fängt den Rückstoß auf; das Geschütz schießt rückstoßfrei.

Das Gewicht des rückstoßfreien Geschützes ist erheblich geringer als das konventioneller Geschütze. So wiegt z.B. das gegenwärtig bei den Streikkräften eingeführte Geschütz vom Typ Wombat nur den siebten Teil eines leichten Feldgeschützes aus dem Zweiten Weltkrieg. Trotz des geringen Gewichtes können mit ihm bei gleicher Mündungsgeschwindigkeit Geschosse abgefeuert werden, die etwas schwerer sind als Geschosse für konventionelle Geschütze. Wegen der größeren Geschosßkartuschen beträgt das Gewicht der Munitionsbehälter ungefähr das Doppelte wie für das leichte Feldgeschütz. Muß mit dem rückstoßfreien Wombat-Geschütz längere Zeit Sperrfeuer geschossen werden, werden Munitionsnachschub und Geschützbedienung sehr schnell den Gewichtsunterschied merken.

Flammenrückschlag

Eine weitere Schwierigkeit bildet der Flammenrückschlag, der erheblichen Einfluß auf die Reichweite hat und diese begrenzt. Wird das vordere Geschützrohr schräg nach oben gerichtet, um eine hohe Geschosßbahn und somit größere Reichweiten zu erzielen, brennt der Flammenrückschlag aus dem hinteren Rohr lochähnliche Vertiefungen in den Boden. Der Flammenrückschlag ist auch kaum gegen Sicht abzuschirmen, er ist kräftig genug, um Vegetation und leichte bauliche Anlagen in Mitleidenschaft zu ziehen. Beim Abfeuern entsteht hinter dem Geschütz ein helles Aufleuchten und Rauchentwicklung. Aus diesem Grunde werden fast alle rückstoßfreien Geschütze nur noch auf kurze Entfernungen zur Panzerbekämpfung eingesetzt. Dabei muß das Geschützrohr direkt auf das Ziel gerichtet werden, denn das große Geschosß ist außerordentlich vorteilhaft für das Durchschlagen der Panzerung geeignet. Große rückstoßfreie Geschütze werden ausgemustert und sterben, hauptsächlich wegen ihrer verhältnismäßig niedrigen Mündungsgeschwindigkeiten, aus. Mit großen rückstoßfreien Geschützen ist es schwierig, ein sich bewegendes Ziel auf große Entfernungen zu treffen. Die meisten der jetzt eingesetzten rückstoßfreien Geschütze sind klein. Sie werden auf der Schulter getragen, mit der sie zusammen auf das Ziel gerichtet werden; ihre Reichweite beträgt maximal 400 m bis 500 m. Das rückstoßfreie Abfeuerungsprinzip kommt außerdem für viele kleine Panzerabwehr-Lenkraketen während ihrer Anfangsflugbahn zur Anwendung.

Erfindungen 41: DIE WINDMÜHLE

Die ersten Windmühlen, von denen wir Kenntnis haben, standen im Bezirk Sistan im Osten Persiens, wo sie der Überlieferung nach ein Sklave, Abu Lulua, um das Jahr 650 n. Chr. aufgrund einer Wette erfunden haben soll. Lulua rühmte sich, er könne die Kraft des Windes bändigen. Der Kalif nahm ihn beim Wort. Die Art Windmühle, deren Erfindung man ihm zuschreibt, wird noch heute im Verwaltungsbezirk Sistan betrieben.

Persische Windmühlen

Das Mühlenhaus ist ein hoher Turm aus luftgetrockneten Ziegeln. In ihm sind die Flügel, die gewöhnlich mit Bastmatten bespannt sind, an einer senkrechten Windradwelle angebracht, die in der Mitte des Mühlenhauses aufragt. An dieser Welle ist der obere Mühlstein unmittelbar befestigt, so daß er mit ihr umläuft. Der Turm hat zwei Öffnungen — durch die eine tritt der Wind ein, um die Flügel anzutreiben, und durch die andere tritt er wieder aus. Die auf der Leeseite des Gebäudes befindlichen Flügel liegen im Windschatten. Solche Mühlen lassen sich nur in Gegenden betreiben, in denen ein stetiger Wind immer aus derselben Hauptrichtung weht. Denn ihre Funktion hängt davon ab, daß die Lage der Öffnungen im Mühlenhaus es dem Wind gestattet, durch die eine Öffnung ein- und die andere wieder auszutreten. Daher fand diese Mühlenart außerhalb Persiens keine besondere Verbreitung. In Persien hingegen weht drei Monate lang ununterbrochen ein bestimmter Wind, den man 'Wind der Hundert Tage' nennt.

Doch auch wenn Lulua diese Art Windmühle nicht erfunden haben sollte, muß sie um 950 n. Chr. in Persien ziemlich verbreitet gewesen sein, da zwei islamische Geographen sie zu jener Zeit erwähnen. Die ersten Windmühlen, von denen wir in Westeuropa Kenntnis haben, traten etwa zwei Jahrhunderte danach in Erscheinung. Sie unterscheiden sich so grundlegend von den in Persien gebräuchlichen Windmühlen, daß ihre Erfindung unabhängig von ihnen erfolgt sein muß.

Bockwindmühlen

Die ersten Windmühlen in Europa hatten ein kleines hölzernes Mühlenhaus mit einem Giebeldach und

ließen sich auf einem kräftigen Holzapfen in die Windrichtung drehen. Da dieser Drehzapfen auf einem Bock gelagert ist, der aus im Boden verankerten, waagerechten Balken und schräg verlaufenden Absteifungen besteht, heißt diese Mühlenart 'Bockwindmühle'. Sie wird auch, im Unterschied zur 'holländischen Turmwindmühle', 'deutsche Mühle' genannt. Der Drehzapfen geht zu einem sehr kräftigen Querträger im Mühlenhaus. Das eigentliche Windrad, der Läufer, besteht aus vier mit der Läuferwelle verzapften, stoffbezogenen Luftschaufeln, den sogenannten Mühlensegeln. Die Läuferwelle liegt im Winkel von etwa 10° zur Horizontalen und ist am vorderen und hinteren Ende des Mühlenhauses gelagert. Die Zähne eines hölzernen Zahnkranzes, der auf der Läuferwelle sitzt, greifen in die Verzahnung eines 'Laternenrades' (käfigförmiges Zahnrad) ein, dessen Welle den oberen Mahlstein antreibt. Damit ist eine Drehzahlübersetzung zwischen dem Windrad und dem Mahlstein gegeben. Sie wurde gewöhnlich so gewählt, daß der Mahlstein mit ziemlich hoher Um-

laufdrehzahl arbeitete. Das Mühlenhaus läßt sich in die jeweils erforderliche Windrichtung drehen, so daß die Mühle nicht von dem Wind aus einer Hauptrichtung abhängig ist. Zu diesem Zweck verfügen frühe Mühlen über einen Sporn, der vom Fußboden des Mühlenhauses bis zum Erdboden reichte, wo man ihn an einem in Boden verankerten Pfosten festbinden und so die Mühle in der gewählten Richtung halten konnte.

Vorkommen der Bockmühlen

Ab etwa 1180 fanden sich Bockmühlen in recht großer Zahl in ganz Westeuropa. Sie wurden nicht nur auf Bergspitzen im freien Gelände, sondern auch auf Stadt- und Burgmauern errichtet. Beispielsweise weiß man von den Kreuzrittern, daß sie Windmühlen auf ihren Befestigungswällen errichteten. Die Windmühle hatte gegenüber der schon älteren Wassermühle eindeutige Vorzüge: Sie ließ sich unabhängig von Wasserläufen errichten und konnte auch dann betrieben werden, wenn diese im tiefen Winter zugefroren waren.

Ursprung der Bockwindmühle

Seltsamerweise wissen wir so gut wie nichts über den Ursprung der Bockwindmühle. Da sie aber aus Holz gebaut wurde und alle frühen, sie

Die Bockmühle wird auf einem fest gelagerten Zapfen in den Wind gedreht.

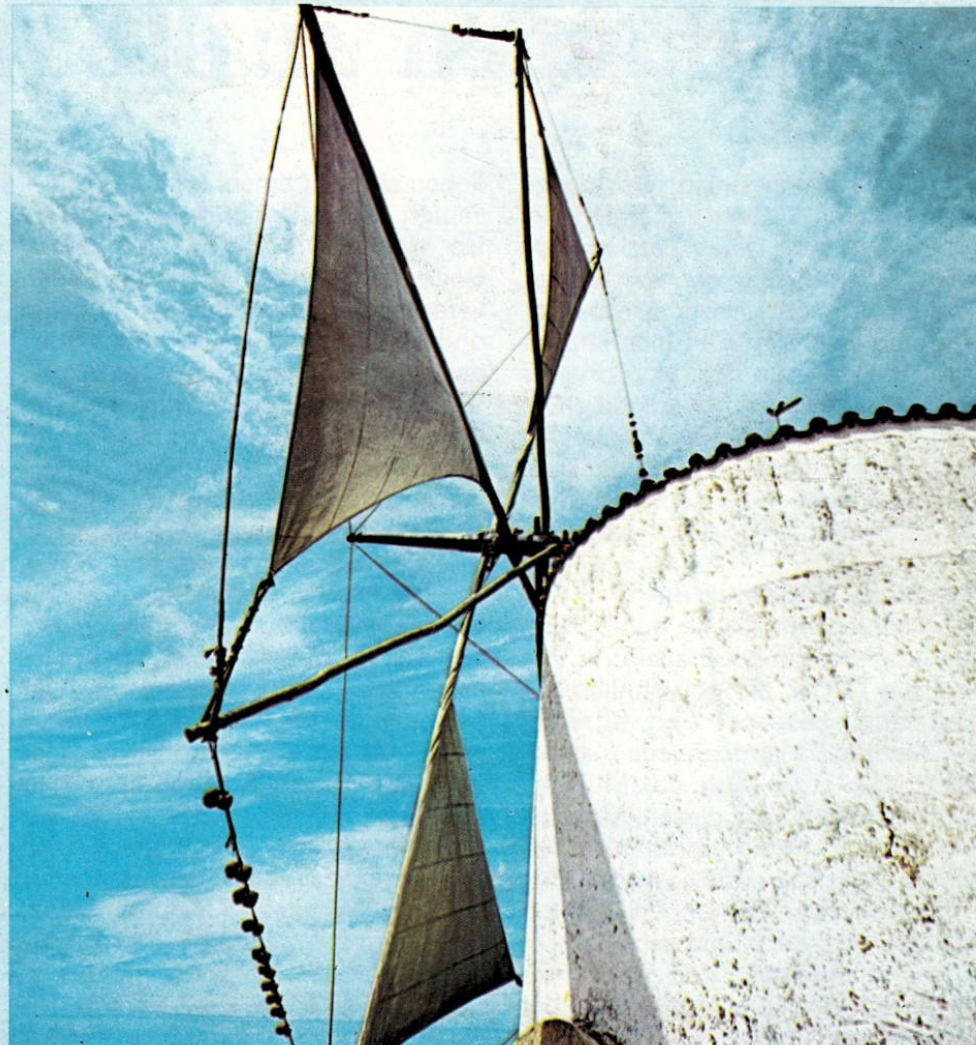


Rechts: Die massive steinerne Turmwindmühle mit kleinen dreieckigen Tuchsegeln ist typisch für das nördliche Mittelmeergebiet.

betreffenden Hinweise aus der Normandie und aus England kommen, wo im 12. Jahrhundert die meisten Wohngebäude aus Holz bestanden, ist ihre Erfindung vermutlich auf diese Länder zurückzuführen. Zu jener Zeit wandten auch die Mönchsorden, vor allem die Zisterzienser, allen Formen der Technik ihre Aufmerksamkeit zu, so daß die Konstruktion der Bockwindmühle durchaus auch auf eine Mönchsgemeinschaft zurückgehen könnte.

Turmwindmühlen

Eine andere Art Windmühle, die im Mittelalter auftrat, ist die auch als 'holländische Mühle' bezeichnete Turmwindmühle. Bei ihr ist auf einem massiven, fast stets steinernen Gebäude lediglich die konische Dachkappe mit dem meist vierflügeligen Windrad drehbar. Diese Mühlenart findet sich in mehr oder weniger ursprünglicher Form noch heute im nördlichen Mittelmeerraum, von Spanien bis Zypern. Vermutlich handelt es sich bei dieser Ausführung um eine Anpassung der Bockwindmühle an die Bedingungen dieser Gebiete, in den es das schwere Bauholz nicht gibt, das zur Errichtung von Bockwindmühlen erforderlich ist. Zwar findet man an



ROBERT ESTALL

diesen Mühlen heute zumeist kleine dreieckige Tuchsegel, doch wurden

Unten: Die Segel dieser afghanischen Windmühlen bestehen aus Bastmatten und sind an Achsen angebracht.

sie im Spätmittelalter mit den gitterförmigen Flügeln betrieben, die für die europäische Bockwindmühle kennzeichnend sind, und die man auch heute noch an Turmwindmühlen auf Malta und seiner Nachbarinsel Gozo finden kann.



ROBERT HARDING ASSOCIATES