

HEFT 55 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:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Stereoskopie	1513
Stereotypdruck	1515
Stethoskop	1516
Stickstoff	1517
Stimmenanalyse	1520
Stirlingmotor	1524
Stonehenge und Gesteinskreise	1526
Strangpressen	1532
Strassenbahn	1535
Strassenbau	1537

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDOCH WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

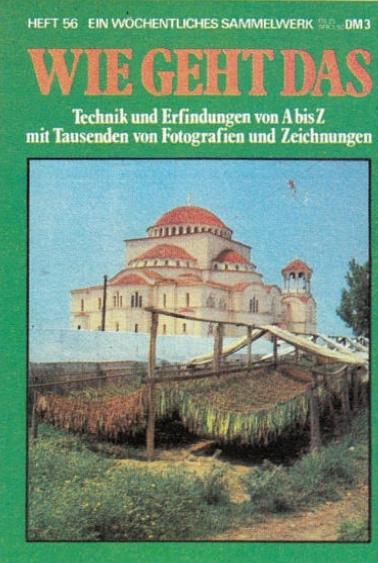
Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

INHALTSVERZEICHNIS

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

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

In Heft 56 von Wie Geht Das



Seit über 2 000 Jahren wird Tabak in Mittel- und Südamerika angebaut. Nach Europa kam der Tabak Ende des 15. Jahrhunderts. In Heft Nummer 56 von Wie Geht Das können Sie nachlesen, wie die verschiedenen Tabakprodukte hergestellt werden.

Stroboskopische Beleuchtung findet man heute gewöhnlich in Diskotheken und bei Rock Konzerten. Es gibt jedoch viele andere und bei weitem wichtigere Verwendungszwecke dafür. Wenn Sie wissen wollen, welchen Gebrauch man von stroboskopischer Beleuchtung in der Industrie und im Alltag machen kann, dann schlagen Sie nach im nächsten Heft von Wie Geht Das.

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

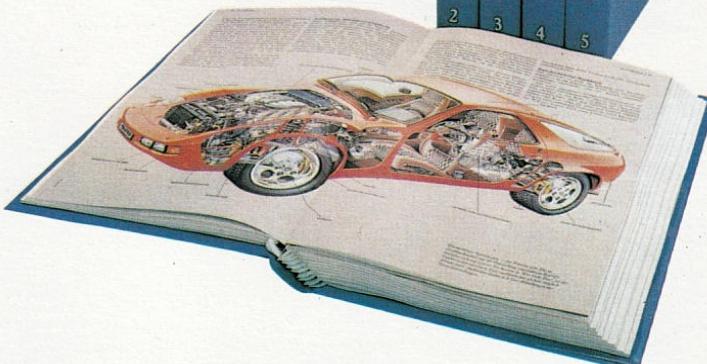
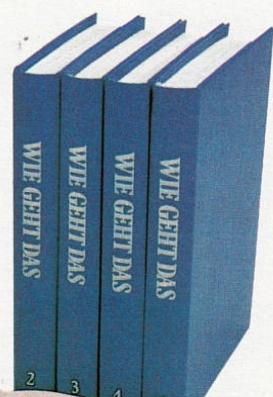
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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

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



STEREOSKOPIE

Die Stereoskopie vermittelt einen wirklichkeitsnahen, räumlichen (dreidimensionalen) Eindruck bei Fotos und Filmen.

Das menschliche Sehvermögen erlaubt eine Einschätzung von Entfernungen bis zu etwa 100 m, da die beiden Augen die Gegenstände unter nicht genau übereinstimmenden Winkeln betrachten ('Parallaxe'). Im Gehirn werden die beiden Teilbilder zu einem Eindruck kombiniert, der die dritte Dimension, die 'Tiefe', mit enthält ('räumliches Sehen'). Dieser räumliche, 'plastische' Eindruck geht bei normalen Gemälden, Fotos und Filmen verloren, weil die Darstellung nur aus der Sicht eines Auges erfolgt. Die Stereoskopie (griechisch: 'festes, körperliches Sehen') hat die Aufgabe, bei Aufnahme und Wiedergabe optischer Eindrücke die räumliche Tiefe zu erhalten.

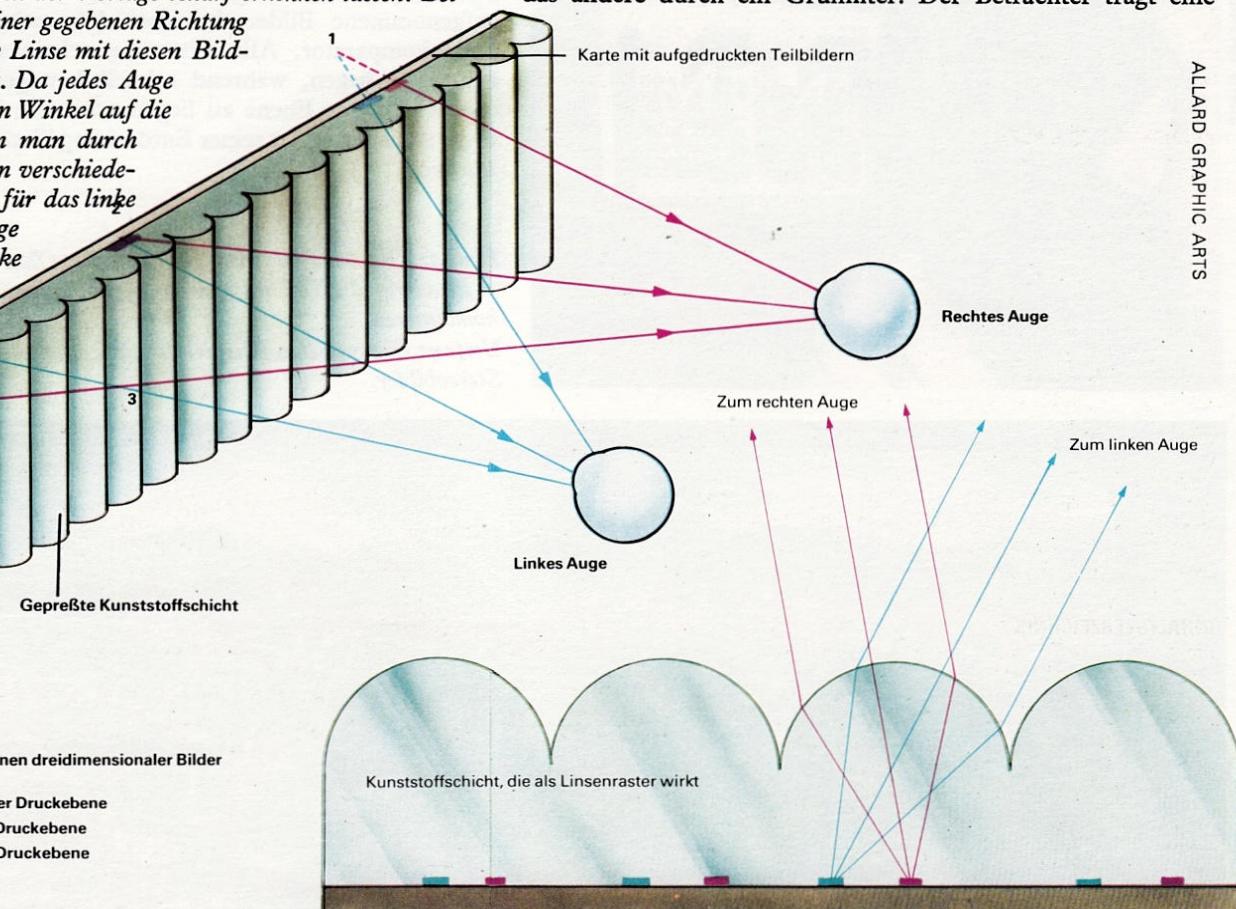
Die Grundlagen der stereoskopischen Darstellung wurden bereits im Jahre 1832 von dem englischen Physiker Charles Wheatstone (1802 bis 1875) beschrieben. Aber erst nach der Londoner Weltausstellung von 1851 fanden Stereoskope weite Verbreitung. Dort hatte Sir David Brewster (1781 bis 1868) ein Modell vorgeführt, das auch Königin Viktoria beeindruckte und viele Interessenten begeisterte. Ein einfaches Stereoskop besitzt für jedes Auge eine Linse, durch die man ein dem jeweiligen Auge zugeordnetes Bild betrachtet. Eine undurchsichtige Trennwand in der Mitte sorgt dafür, daß jedes Auge nur ein Bild sieht. Bei Stereoaufnahmen alltäglicher Motive benutzt man eine Spezialkamera mit zwei meist 65 mm voneinander entfernt liegenden Objektiven (entsprechend dem

Abstand der menschlichen Augen), die gleichzeitig die beiden Teilbilder aufnimmt. Die Linsen des Stereoskops vergrößern die Teilbilder und sorgen für den für das Auge geeigneten Beobachtungsabstand.

Ein Stereoskop der beschriebenen Art kann nur jeweils von einer Person benutzt werden; außerdem ist es unhandlich. Deshalb sind bald andere Methoden zur stereoskopischen Darstellung und Betrachtung entwickelt worden. Ein einfaches Verfahren ist die Unterteilung eines Bildes in schmale vertikale Streifen, in denen man abwechselnd die für das linke und für das rechte Auge passenden Teilbildstreifen unterbringt. Ein davor befindliches vertikales Gitter (Strichraster) gibt jedem Auge nur den Blick auf die zugeordneten Streifen frei, wodurch bei zweiäugiger Betrachtung ein räumlicher Eindruck entsteht. Eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens wird zur Herstellung dreidimensionaler Postkarten benutzt. Aus verschiedenen Richtungen aufgenommene Fotos werden nach der beschriebenen Methode kombiniert. Das zusammengesetzte Bild wird mit einer durchsichtigen Kunststoffschicht überzogen, deren Oberfläche so geformt ist, daß eine große Zahl winziger Zylinderlinsen entsteht. Die Linsen sind so ausgerichtet, daß das eine Auge aus einer Richtung nur ein Teilbild wahrnimmt. Das andere Auge nimmt das andere Teilbild auf, d.h. es entsteht wieder ein räumlicher Eindruck. Mit dieser Linsenrastertechnik lassen sich überraschende dreidimensionale Effekte erzeugen, wie Produkte der Andenken- und Werbeindustrie zeigen.

Dreidimensionale Filme (3D-Filme, Stereofilme) werden mit zwei gut synchronisierten Kameras gedreht. Zur Wiedergabe der räumlichen Tiefe müssen beide Teilbilder simultan auf dieselbe Leinwand projiziert werden, wobei eine 'Codierung' der Teilbilder notwendig wird, die es mit möglichst einfachen Hilfsmitteln erlaubt, den beiden Augen des Betrachters nur das jeweils zugeordnete Teilbild zu liefern. Beim 'Anaglyphenverfahren', das nur für Schwarz/Weiß-Filme geeignet ist, wird ein Teilbild durch ein Rotfilter projiziert, das andere durch ein Grüntypfilter. Der Betrachter trägt eine

Die Wirkungsweise der Linsenrastertechnik (Parallaxpanorama-gramm). Der Querschnitt im unteren Teil der Abbildung zeigt, wie die Zylinderlinsen für eine Beobachtungsrichtung nur jeweils einen kleinen Bereich der Vorlage scharf erkennen lassen. Bei Betrachtung aus einer gegebenen Richtung erscheint die ganze Linse mit diesen Bildpunkten ausgefüllt. Da jedes Auge unter einem anderen Winkel auf die Linsen blickt kann man durch Nebeneinanderlegen verschiedener Teilbildpunkte für das linke und das rechte Auge räumliche Eindrücke erzielen.





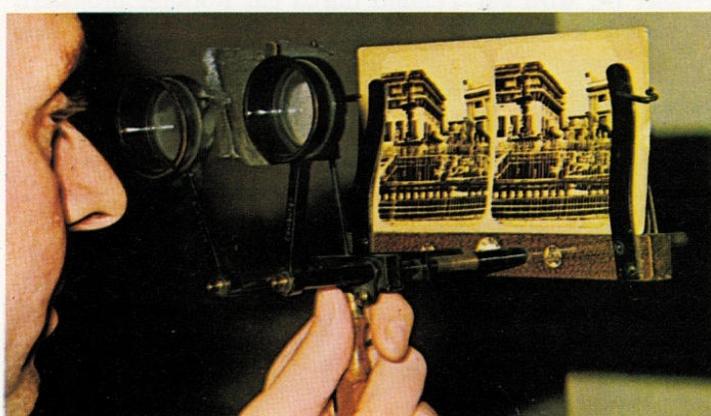
Brille mit einem Rotfilter und einem Grünfilter, so daß jedes Auge nur das zugehörige Teilbild wahrnimmt. Dieses Verfahren hat mit der starken Verbreitung des Farbfilms an Bedeutung verloren. Farbfilme lassen sich mit Polarisationsfiltern (siehe POLARISATION) dreidimensional projizieren und wahrnehmen. Die Projektionsfilter lassen für die beiden Teilbilder nur Licht in senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen durch. Der Betrachter erhält eine Brille, die wiederum nur den passenden Polarisationsanteil auf das Auge treffen läßt. Das Verfahren hat trotz seiner Erfolge noch einige Mängel. Wenn der Betrachter den Kopf etwas zur Seite legt, stimmen die Polarisationsrichtungen von Projektor und Brille nicht mehr überein; in beide Augen gelangt ein 'falscher' Anteil des Bildes. Außerdem braucht man ein spezielles Material für die Leinwand, damit das Licht bei Reflexion seine Polarisation behält. Die beiden Projektoren müssen auf eine Hundertstel Sekunde genau synchron laufen. Aus diesen Gründen sieht man 3D-Filme nicht sehr häufig.

Praktische Anwendungen der Stereoskopie finden sich in

Oben: Diese beiden Bilder der Mondoberfläche sind ein spiegelbildliches Stereopaar. Sie können mit einem Handspiegel betrachtet werden. Dazu hält man den (einseitig reflektierenden) Spiegel zwischen die beiden Bilder und betrachtet ein Bild direkt mit dem einen Auge und das Spiegelbild des anderen Bildes mit dem anderen Auge.

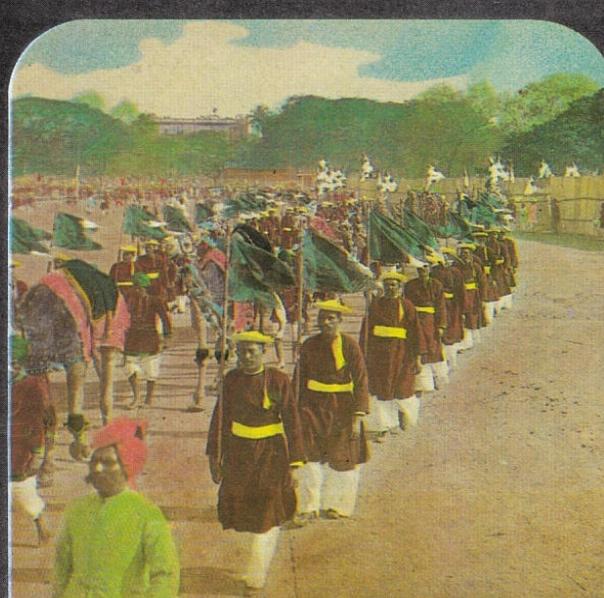
vielen technischen und wissenschaftlichen Disziplinen. In der Medizin lassen sich mit Stereo-Röntgenaufnahmen ('Röntgenstereographie') innere Verletzungen genau lokalisieren. Bei der Abstandsmessung (Entfernungsmesser, Stereoteleometer) und der dreidimensionalen Landvermessung aus der Luft (Stereo-Fotogrammetrie) kann der Abstand der beiden Objektive zur besseren Auflösung wesentlich größer als 65 mm sein. Die Auswertung von Stereo-Aufnahmen erfolgt auf einem 'Stereokomparator', der die quantitative Ausmessung von Stereogrammen erlaubt. Auch in der Astronomie werden gelegentlich stereoskopische Methoden benutzt, z.B. zum Auffinden schnell beweglicher Himmelskörper (wie z.B. Planetoiden). Man vergleicht zwei in verschiedenen Nächten aufgenommene Bilder derselben Himmelsgegend auf dem Stereokomparator. Alle Fixsterne scheinen dann in einer Ebene zu liegen, während schnell bewegte Objekte hinter oder vor dieser Ebene zu liegen scheinen. Ein Planetoid ist sogar nach dieser Art seiner Entdeckung 'Stereoscopia' genannt worden.

JOHN WATNEY



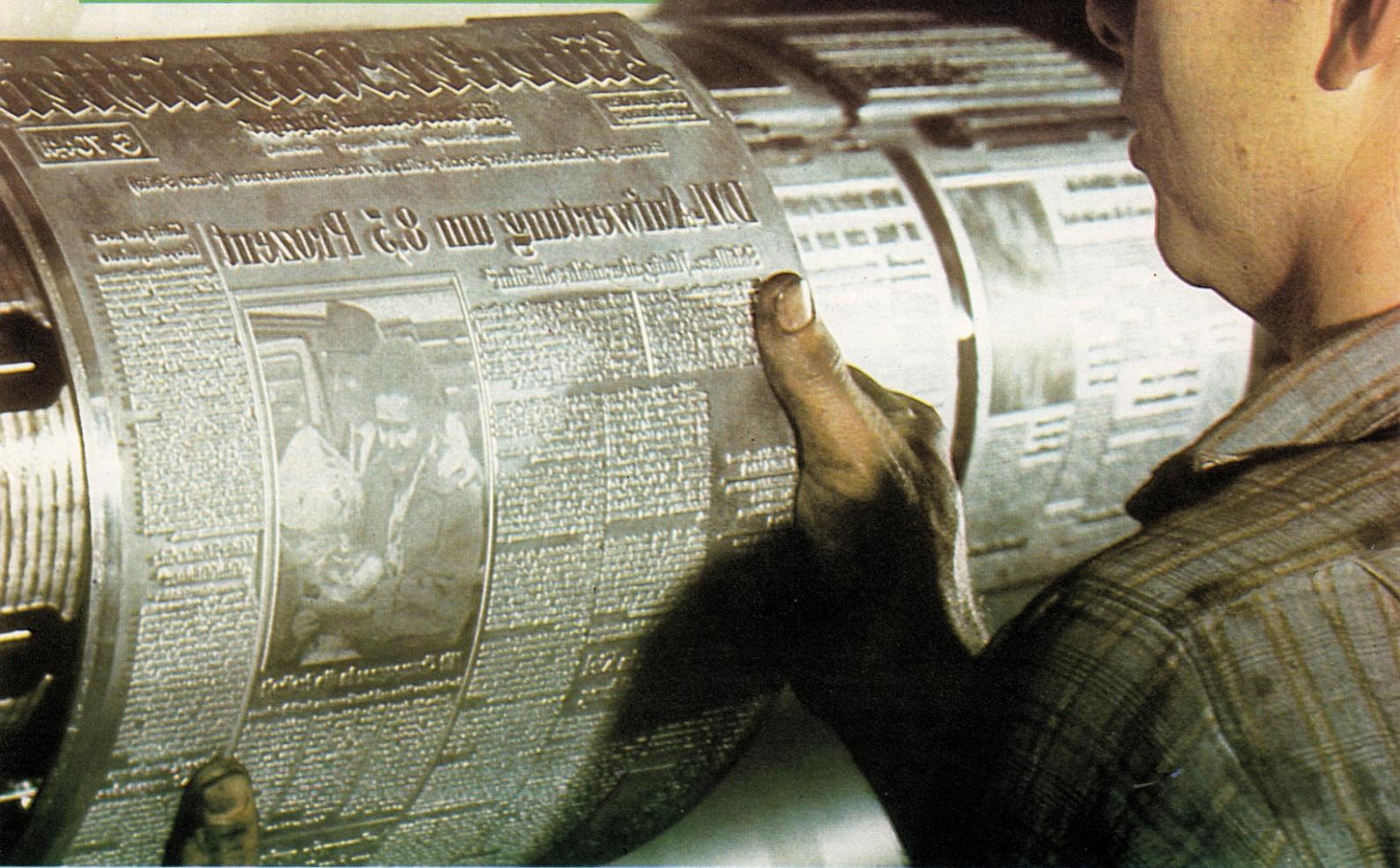
Links: Die Methode ihrer Betrachtung: Ohne die Linsen wäre es schwierig, die Teilbilder zu einem dreidimensionalen Bild zu kombinieren.

Unten: Ein typisches Beispiel für die früher sehr beliebten Stereobilder.



STEREOTYPDRUCK

Nahezu alle großen Zeitungen bedienen sich des Stereotypdrucks, um ihre seitenstarken Auflagen über Nacht drucken zu können.



Der Stereotypdruck ist dem wohl ältesten Druckverfahren, dem BUCHDRUCK, verwandt, einem Hochdruckverfahren, bei dem die Druckfarbe von der erhabenen Oberfläche einer Druckvorlage auf Papier übertragen wird. Ursprünglich verwendete man beim Hochdruck den Originaltypensatz und fotomechanisch vervielfältigte Druckstöcke. Um jedoch auf mehreren Maschinen gleichzeitig drucken und auch die Originaldruckplatten erhalten zu können, wurden von den Originaltypensätzen Duplikat-Druckplatten abgeformt. Das älteste Verfahren zur Herstellung solcher Duplikatplatten ist die Stereotypie, die in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts erfunden wurde. Stereotypplatten, sogenannte Stereos, finden auch heute noch vielfältige Verwendung, insbesondere bei der Herstellung nahezu aller großen überregionalen Zeitungen.

Die Anfertigung der Stereos erfolgt in zwei Stufen: Herstellung der Matrize und Gießen der Platten.

Herstellung der Matrize

Ein Bogen schwerer, hitzebeständiger Pappe, die sogenannte Maternpappe, wird auf die Originaldruckplatte gelegt. In einer Formpresse werden die Druckplatte und die angefeuchtete und deshalb verformbare Mater sodann hohem Druck ausgesetzt; man erhält auf diese Weise einen genauen Abdruck des Originals auf der Pappe. Diese 'Matrize' wird getrocknet und in einem Ofen gehärtet. Zur Verwendung für den bei der Zeitungsherstellung üblichen Rotationsdruck kann die Matrize auch eine halbrunde Form erhalten. Der während der Trocknung durch den Feuchtigkeitsentzug auftretenden

Oben: Überprüfen eines Rundstereos zur Verwendung auf einer Rotationsmaschine. Die Entwicklung der Stereotypie führte zur Ausweitung der Druckkapazität bei der Zeitungsherstellung.

Schrumpfung der Matrize muß sorgfältig Rechnung getragen werden.

Gießen des Stereos

In einer passenden Gießvorrichtung wird die Matrize nun unter hohem Druck mit schmelzflüssigem Metall (79% Blei, 14% Antimon und 7% Zinn) ausgegossen. Die nach dem darauffolgenden Abkühlen, Schneiden und Nachglätten (Repassieren) des Metalls erhaltene halbrunde Stereotypplatte kann dann auf den Plattenzylinder der Rotationspresse aufgelegt werden. Zeitungen müssen zwangsläufig auf mehreren Druckmaschinen gleichzeitig gedruckt werden, so daß mehrere Stereos von einer Druckseite erforderlich sind. Sie werden in der Regel von einer einzigen Matrize gegossen. Vollautomatische Gießvorrichtungen stellen heute im Zwei-Minuten-Takt jeweils bis zu sieben Stereos her.

Mit der Herstellung solcher Duplikat-Druckplatten beschäftigte Spezialbetriebe liefern Flach- oder Rundformstereos an Druckereien und Werbeagenturen. Agenturen, die verschiedene Publikationen mit beispielsweise Karikaturen, Comic strips oder Kreuzworträtseln beliefern, senden die fertigen Stereoplatten direkt an die einzelnen regionalen Zeitungen.

STETHOSKOP

Das Stethoskop (Hörrohr) ist ein sehr einfaches Instrument, das Ärzten zur Auskultation, einem Abhorchen auf Anzeichen von Krankheiten insbesondere des Herzens und der Lunge, dient.

Die Erfindung des Stethoskops wird R. T. H. Laennec (1781 bis 1826) zugeschrieben, der im Jahre 1819 mit einem hölzernen Zylinder Herzgeräusche abhörte. Poirry verbesserte dessen sehr einfaches Gerät im Jahre 1828 dadurch, daß er ein Ohrstück und ein trompetenförmig aufgeweitetes Rundteil zum Aufsetzen auf den Körper des Patienten hinzufügte. Die Form, die wir heute als kennzeichnend empfinden, bekam das Stethoskop jedoch erst etwa um das Jahr 1850, als man das binaurale (für zwei Ohren eingerichtete) Stethoskop daraus machte.

JOHN WATNEY



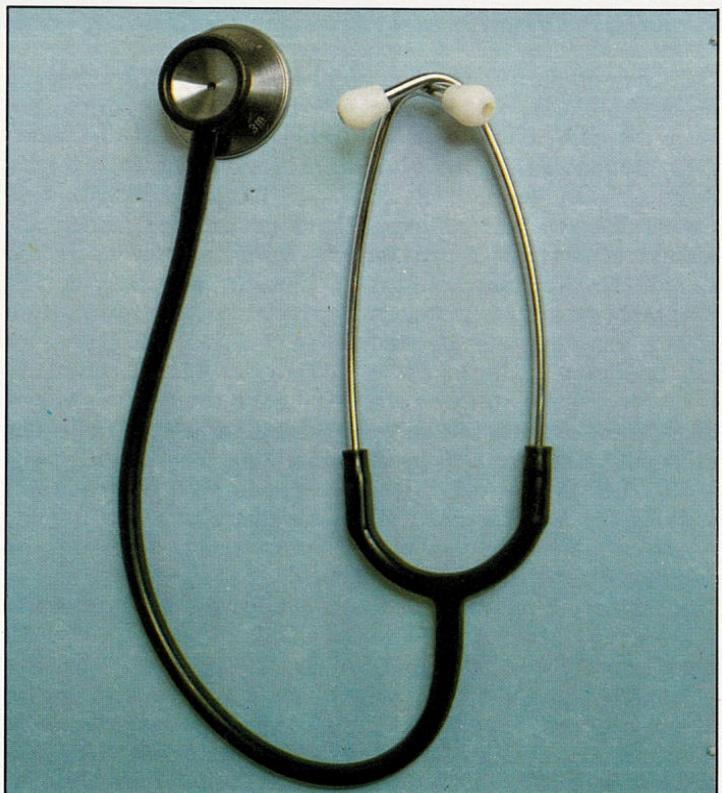
Oben: Das glockenförmige Rundteil eines modernen Stethoskops mit integriertem Membranteil. Unten im Bild ist die glockenförmige Öffnung zu sehen, durch die Geräusche von vergleichsweise niedriger Frequenz abgehört werden. Das Rundteil liegt auf dem Membranteil.

Akustische Stethoskope dienen zur Feststellung von Herz-, Lungen-, Gefäß- und Darmgeräuschen. Die meisten Geräusche, die für einen Arzt von Interesse sind, insbesondere Herzgeräusche, haben eine Frequenz im Bereich von 60 Hz bis 600 Hz. Allerdings gibt es einige mitrale diastolische Geräusche (ein unregelmäßiges 'Murmeln', das bei der Ausdehnung des Herzens hörbar ist und einen Fehler in der Herzklappe anzeigen) mit Frequenzen unterhalb 60 Hz,

während bestimmte knisternde Geräusche in der Brust, die bei gewissen Lungenerkrankungen auftreten, bis zu 1 400 Hz haben. Akustische Stethoskope verstärken keine Geräusche, sondern übertragen sie nur möglichst deutlich ans Ohr.

Ein typisches modernes Stethoskop hat ein oft mit einem Membranteil kombiniertes Rundteil aus Edelstahl. Das offene Teil ist glockenförmig aufgeweitet und hat bei einer Stärke von etwa 6 mm einen Durchmesser von rund 30 mm. Bei Benutzung dieser Seite des Stethoskops dient die Haut des Patienten als flexible Membran, die das Geräusch von der Öffnung des Rundteiles weiterleitet. Das Membranteil des Stethoskops ist lediglich etwa 3 mm stark, hat aber mit etwa 44 mm einen größeren Durchmesser. Es ist mit einer starren Membran aus leinenkaschiertem Bakelit bedeckt. Der Arzt kann eine der beiden Öffnungen auswählen, indem er das Rundteil gegenüber dem Übertragungsschlauch verdreht, durch den die Geräusche in die Ohrstücke geleitet werden. Normalerweise arbeitet ein Arzt mit dem offenen Rundteil dann, wenn er Geräusche von vergleichsweise geringer Frequenz in der Größenordnung von etwa 30 Hz bis 500 Hz abhören will, wohingegen das Membranteil die tiefsten Frequenzen herausfiltert, so daß nur noch die höchsten Frequenzen, von etwa 200 Hz bis zu 1 400 Hz, hörbar sind.

Der Übertragungsschlauch besteht aus flexilem Kunststoff mit einer sehr glatten Innenwand; die Ohrstücke sind üblicherweise aus Edelstahl gefertigt. Überaus wichtig ist die Form der auf ihnen angebrachten Kunststoff-Stopfen. Sie müssen so groß wie möglich sein, damit alle Außengeräusche vom Ohr ferngehalten werden. Meist haben sie einen Durchmesser von 13 mm bis 16 mm. Können Außengeräusche durch eine Öffnung von lediglich dem fünffachen Durchmesser des Menschenhaares in das Ohr eindringen, kann dies die Leistung des Stethoskops deutlich beeinträchtigen. Es gibt auch Stethoskope, bei denen das Rundteil von veränderlicher Größe ist. Sie werden als Phon-Endoskope bezeichnet. Bei Sonderanfertigungen können die Ohrstücke mit Geräten zur Aufzeichnung der abgehörten Geräusche verbunden werden.



Oben: Ein modernes akustisches Stethoskop, wie es heute überall in der Medizin verwendet wird.

STICKSTOFF

Stickstoff ist für den lebenden Organismus ein wichtiges chemisches Element. Der menschliche Körper kann den Stickstoff der Luft jedoch nicht direkt verarbeiten. Er muß ihm über seine Verbindungen (z.B. durch Nahrungsaufnahme von Proteinen) zugeführt werden.

Stickstoff (chemisches Zeichen: N) ist ein farbloses, geruchloses Gas, das zu mehr als 75% in der Luft vorkommt. Es wurde im Jahre 1772 von dem schwedischen Chemiker C. W. Scheele (1742 bis 1786) entdeckt. Er erkannte, daß sich die Luft aus zwei unterschiedlichen Gasen zusammensetzt, und zwar aus einem Gas, das die Verbrennung unterstützt (SAUERSTOFF), und einem Gas, das die Verbrennung nicht unterstützt (Stickstoff). Scheele konnte Stickstoff dadurch gewinnen, daß er eine Substanz in einem geschlossenen Raum verbrennen ließ. Da bei der Verbrennung der Sauerstoff der Luft verbraucht wurde, blieb der Luftstickstoff zurück. Die in der Natur am häufigsten vorkommenden Stickstoffverbindungen sind: Kaliumnitrat (KNO_3 , Salpeter), das vorwiegend in Spanien, Italien und Ägypten gefunden wird, und Natriumnitrat ($NaNO_3$, Chilesalpeter). Vom Stickstoff kennt man zwei Isotope ^{14}N und ^{15}N . Stickstoff-14 kommt 250mal häufiger vor als Stickstoff-15. Stickstoff ist ein wesentlicher Bestandteil des lebenden Organismus (in Proteinen findet man z.B. die Stickstoff enthaltende Aminosäure). Aus diesem Grunde findet man in vielen Düngemitteln hohe Anteile an Stickstoff (z.B. in Form von Ammoniumnitrat, NH_4NO_3).

Darstellung

Da Stickstoff einen niedrigeren Siedepunkt ($-196^{\circ}C$) als Sauerstoff ($-183^{\circ}C$) hat, kann man es großtechnisch durch fraktionierte DESTILLATION von flüssiger Luft gewinnen. Der so gewonnene Stickstoff enthält noch in kleinen Mengen Edelgase wie Helium und Neon. Er kommt in Stahlflaschen unter einem Druck von über 120 bar in den Handel. Viele Geräte in Wissenschaft und Industrie (z.B. Massenspektrometer) erfor-

Diese Kleeblattpflanze (rechts) verfügt über Wurzelknollen (unten), die Bakterien enthalten. Diese Bakterien sorgen für die von der Pflanze benötigte Stickstoffmenge im Boden.



dern zum einwandfreien Arbeiten ein Hochvakuum. Um ein möglichst gutes Hochvakuum zu erzielen, wird ein Teil der Vakuumkammer mit flüssigem Stickstoff gekühlt, um Spuren von Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und andere flüchtige Substanzen 'auszufrieren'. Zur Aufbewahrung des flüssigen Stickstoffs verwendet man sogenannte Dewar-Gefäße. Geringe Mengen sehr reinen Stickstoffs können durch chemische Verfahren erhalten werden, indem man Verbindungen wie z.B. Natriumnitrid (Na_3N) erhitzt, wobei Stickstoffgas und Natrium entstehen.

Stickstoff ist chemisch ein relativ inertes Gas. Aus diesem Grunde verwendet man es bei einigen metallurgischen Verfahren sowie in Glühlampen als Schutzgas. Allerdings wird heute das Edelgas Argon dem Stickstoff als Schutzgas vorgezogen.

Stickstoffverbindungen

Über viele Jahre waren die wichtigsten Stickstoffverbindungen Kaliumnitrat — man benötigt es zur Herstellung von Schießpulver (siehe SPRENGSTOFFE) — und Natriumnitrat. Beide Verbindungen kommen in der Natur vor. Salpetersäure (HNO_3) wurde zum ersten Mal im Jahre 1648 hergestellt, indem man Natriumnitrat mit konzentrierter Schwefelsäure versetzte. Dieses Herstellungsverfahren wurde über viele Jahrhunderte angewendet, bis man die großtechnische Herstellung von Ammoniak (NH_3) beherrschte. Heute wird zur Herstellung von Salpetersäure vorwiegend die katalytische Ammoniakverbrennung (Ostwald-Verfahren) herangezogen, wobei als Katalysator eine Platin/Rhodium-Legierung dient.



Ammoniak wird auch als Ausgangsprodukt zur Herstellung anderer Stickstoffverbindungen herangezogen. Die Herstellung von Ammoniak erfolgt nach dem Haber/Bosch-Verfahren, bei dem die Elemente Stickstoff und Wasserstoff bei einer Temperatur von 500°C und einem Druck von 200 bar zusammengeführt werden.

Bei Zimmertemperatur ist Ammoniak ein Gas, das sich leicht in Wasser löst. Dabei entsteht Ammoniumhydroxid, eine mittelstarke Base. Durch Neutralisation der Base mit einer Säure entstehen Ammoniumsalze, die eine ionische Kristallform bilden. Bei einer Reaktion von Ammoniak mit Salzsäure (HCl) entsteht Ammoniumchlorid (NH_4Cl), das man handelsüblich unter dem Namen Salmiak kennt.

Ammoniumchlorid wird beim Löten oder Galvanisieren als Flussmittel verwendet. Denn bei hohen Temperaturen reagiert es mit den sich auf der Oberfläche eines Metalls befindlichen Oxiden, d.h. die zu lötenden oder galvanisieren-

den Oberflächen werden gereinigt. Ammoniumchlorid wird außerdem in Lechlanche-Batterien als Elektolyt verwendet, sowie in der Farbmittelindustrie und zur Herstellung von Arzneimitteln gegen Erkältungen. Ein wichtiges Ammoniaksalz ist Ammoniumnitrat (NH_4NO_3), das Bestandteil vieler Düngemittel und Sprengstoffe ist.

Hydrazin (N_2H_4) und Stickstoffwasserstoffsäure (N_2H_4) zersetzen sich bei höheren Temperaturen explosionsartig in die Bestandteile Stickstoff und Ammoniak bzw. Stickstoff und Wasserstoff. Hydrazin wird als Sprengstoff zum Sprengen von Felsen eingesetzt. Als Brennstoff wurde es beim Apollo-Mond-Programm sowohl für die Raumfähre als auch für die Mondlandeeinheit verwendet. Die Hauptanwendung von Stickstoffwasserstoffsäure liegt bei der Herstellung von Bleiazid ($\text{Pb}(\text{N}_3)_2$), das auf Schlag explosionsartig zerfällt und deshalb als 'Initialzünder' von Schieß- und Sprengstoffen dient. Bleiazid wird hergestellt, indem man Blei mit Stick-

Unten: Ein Tankfahrzeug, das mit flüssigem Stickstoff gefüllt wird. Wegen der extrem niedrigen Temperaturen von flüssigem Stickstoff lagern sich an der äußeren Hülle des Tankfüllschlauches häufig Eis und festes Kohlenstoffdioxid ab.

AIR PRODUCTS



Rechts unten: Hier wird Fleisch mit Hilfe von flüssigem Stickstoff behandelt. Durch die sehr niedrige Temperatur von flüssigem Stickstoff ist gewährleistet, daß das Fleisch schnell gefriert, so daß eine Zerstörung der Zellen äußerst gering ist.



stoffwasserstoffsäure reagieren lässt. Bei dieser Reaktion wird Wasserstoff freigesetzt.

Das wohl bekannteste Oxid des Stickstoffs ist das Distickstoffmonoxid (N_2O), das als 'Lachgas' für Narkosezwecke Anwendung findet. Es entsteht durch Erhitzen von Ammoniumnitrat, wobei sich Distickstoffmonoxid und Wasser bilden. Bevor man Distickstoffmonoxid als Narkosemittel einsetzen kann, muß es sorgfältig gereinigt werden, um Spuren der giftigen Stickstoffoxide Stickstoff(II)-oxid (NO) und Stickstoff(IV)-oxid (NO_2) zu beseitigen.

Bornitrid (BN) ist eine Verbindung, die eine ähnliche Kristallstruktur wie Graphit (siehe KOHLENSTOFF) hat. Bei sehr hohen Temperaturen ($1800^{\circ}C$) und sehr hohen Drücken (85 000 bar) wandelt es sich in eine diamantähnliche Kristallstruktur um. Diese Modifikation heißt Borazon oder anorganischer Diamant, da sie fast die Härte von Diamant erreicht.

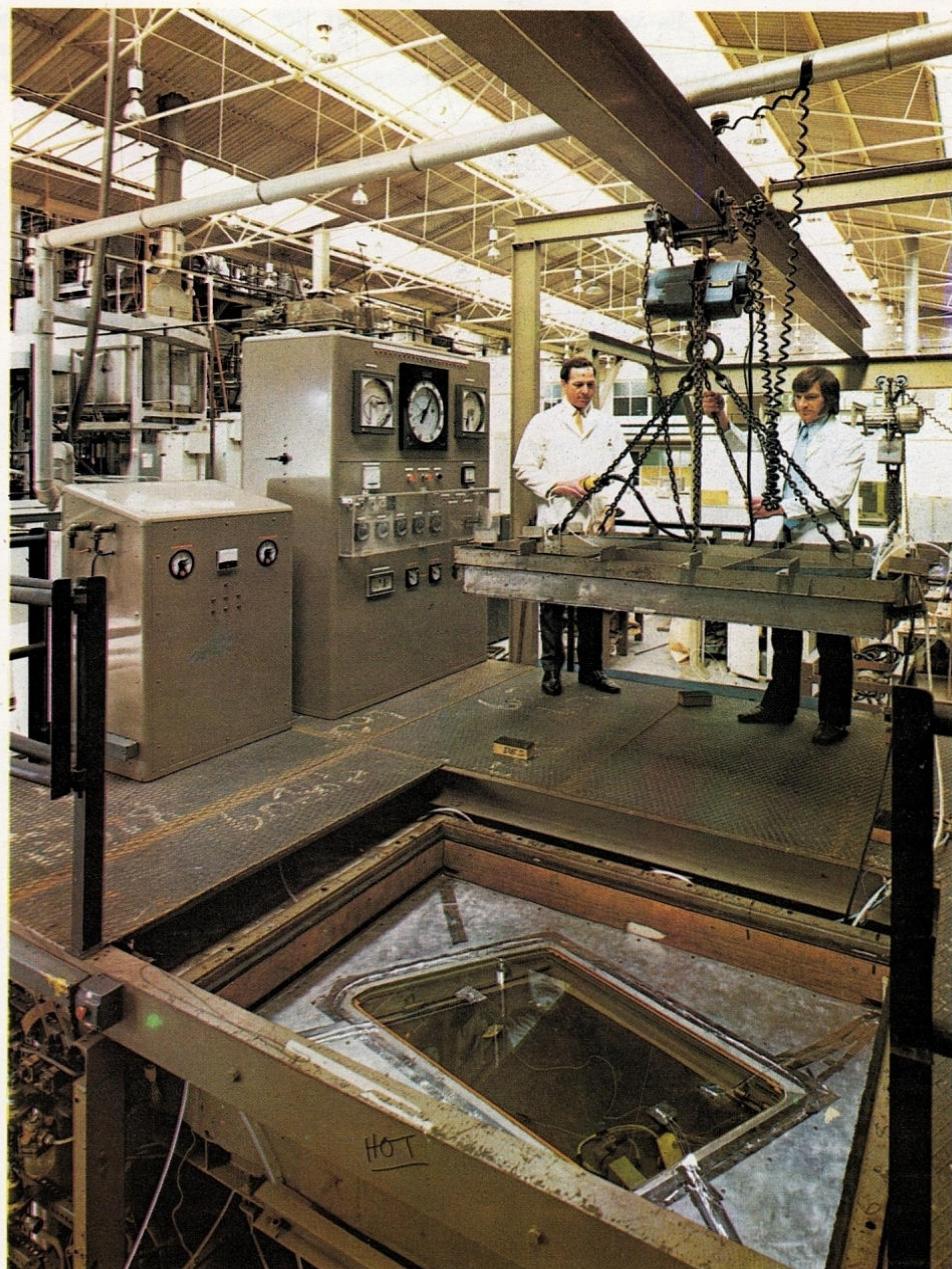
Organische Stickstoffverbindungen

Man kennt viele organische Verbindungen, die Stickstoff enthalten. Sie werden entsprechend den stickstoffhaltenden Gruppen unterteilt in: Amine (enthalten $-NH_2$ -Gruppen), Amide (enthalten $-CONH_2$ -Gruppen), Cyanate (enthalten $-CNO$ -Gruppen), Cyanide (enthalten $-CN$ -Gruppen), Isocyanate (enthalten $-NCO$ -Gruppen), Isocyanide (enthalten $-NC$ -Gruppen) und Nitroverbindungen (enthalten $-NO_2$ -Gruppen).

Viele Sprengstoffe wie Trinitrotoluol (TNT, $C_6H_2(CH_3)(NO_2)_3$) und Pikrinsäure ($C_6H_2(OH)(NO_2)_3$) sind organische Stickstoffverbindungen. Trinitrotoluol stellt man her, indem man Toluol mit einem Gemisch aus konzentrierter Salpeter- und Schwefelsäure reagieren lässt. Während der Reaktion lagern sich stufenweise Nitrogruppen an. Als Zwischenprodukte entstehen Mononitrotoluol ($C_6H_4(CH_3)(NO_2)$) und Dinitrotoluol ($C_6H_3)(NO_2)_2$). Anilin ($C_6H_5NH_2$) ist ein wichtiges primäres Amin, das bei der Herstellung von Farbstoffen große Bedeutung erlangte. Es wird durch Reduktion von Nitrobenzol ($C_6H_5NO_2$) mit Eisenpulver und Salzsäure gewonnen. Isocyanate werden zur Herstellung von Polyurethan-Kunststoffen verwendet.

Vergleiche: SAUERSTOFF

Unten: Eine Windschutzscheibe für den Airbus befindet sich hier in einer Testkammer. In diese Kammer wird flüssiger Stickstoff geleitet. Auf diese Weise werden Temperaturen, die in großen Höhen auftreten, simuliert.



STIMMENANALYSE

Die Untersuchung der Sprachklänge mit schallanalytischen Methoden hat es möglich gemacht, Sprache unter extrem entstellenden Bedingungen (z.B. bei Tiefseetauchern) zu verstehen und sogar Sprache künstlich zu erzeugen.

Die menschliche Sprache entsteht in einem sehr komplizierten Vorgang, an dem nicht nur die Stimmbänder und die anderen Teile des Kehlkopfes, sondern auch Mund, Nase, Lungen und die verbindenden Luftkanäle mit all ihren Organen beteiligt sind. Die Analyse der Stimme mit schallanalytischen Mitteln gibt Aufschluß über die Erzeugung dieser Klänge und den Einfluß der verschiedenen beteiligten Prozesse.

Sprachlautbildung

Sprachlaute entstehen in jedem Falle durch das kontrollierte Ausstoßen von Luft aus der Lunge durch die Lippen und die Nasenlöcher (oder nur durch die Nase wie beim Summen), wobei der Luftstrom auf seinem Wege vielfältig beeinflußt wird. Nach der Art ihrer Bildung (Artikulation) lassen sich die Sprachlaute grob in zwei Klassen unterteilen, die 'stimmhaften' und die 'stimmlosen' Laute.

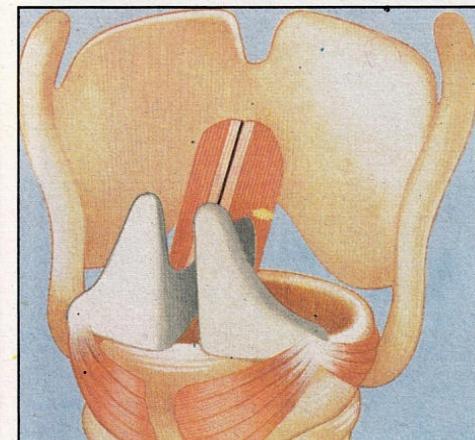
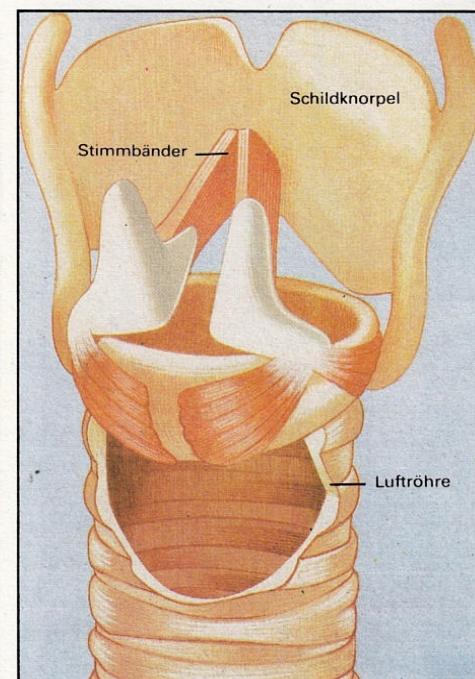
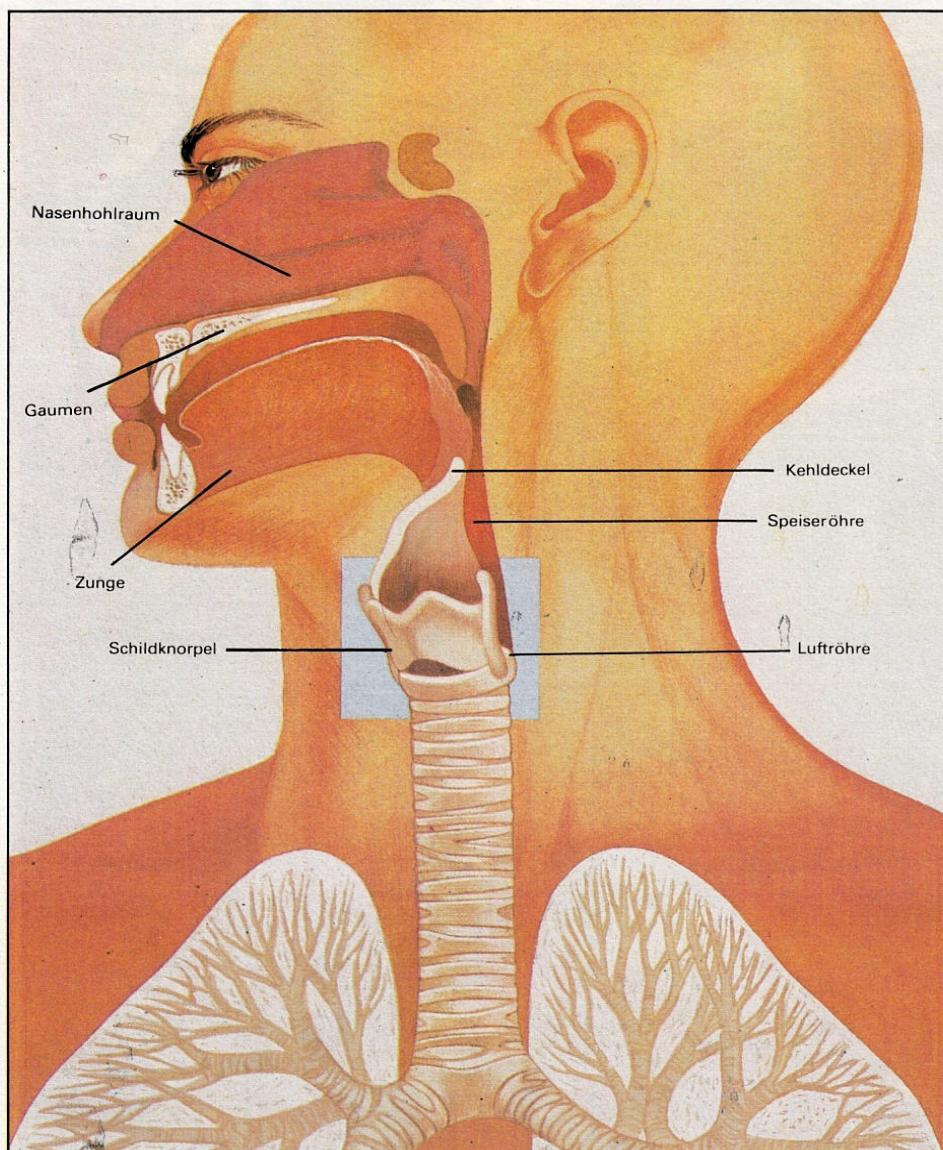
Ein stimmhafter Laut ist beispielsweise das gedeckte 'i' in dem Wort 'Liebe'. Es entsteht unter Beteiligung der Stimmbänder, während Luft durch den Kehlkopf strömt. Die durch periodische Muskelkontraktionen hervorgerufenen

Schwingungen der Stimmbänder prägen dem Luftstrom eine Reihe kurzer Unterbrechungen auf, die der Stimme ihre Klanghöhe geben. In den verschiedenen Hohlräumen des Kopfes und der Brust können je nach ihrer Gestalt bei verschiedenen Tonhöhen Resonanzschwingungen entstehen, die die Klangfarbe beeinflussen.

Alle Laute, an denen die Stimmbänder nicht beteiligt sind, sind stummlos. Sie entstehen durch Reiben oder Zischen des Luftstromes an Verengungen oder durch 'Sprengung' eines vollständigen Verschlusses. So ist das 'p' ein stummloser 'Verschlußlaut', der wegen seiner Artikulation nur von kurzer Dauer sein kann, während der stummlose Zischlaut 's' (z.B. in 'groß') durch Aufrechterhalten des Luftstromes längere Zeit anhalten kann. Wie bei den stimmhaften Lauten können Resonanzen, hier besonders im Mund- und Rachenraum, den Klang beeinflussen. Läßt man zu einem stummlosen Reibe-, Zisch- oder Verschlußlaut die Stimmbänder schwingen, ent-

Unten links: Sprache erfordert das Koordinieren von Stimmbändern, Nase, Lunge und Luftröhre durch Muskelbewegungen. Die Laute entstehen durch das Schwingen der Stimmbänder im Larynx (Kehlkopf), hervorgerufen durch Luftströme. **Unten rechts:** Die Stimmbänder bestehen aus flexilem Knorpel, der mit den Skelettmuskeln verwachsen ist. Wenn die Skelettmuskeln nicht angespannt sind, sind die Stimmbänder geöffnet. Im Bild darunter sind die Stimmbänder in geschlossener Position abgebildet. Je fester die Bänder zusammengepreßt sind, desto höher der Ton.

BEN MANCHIPP

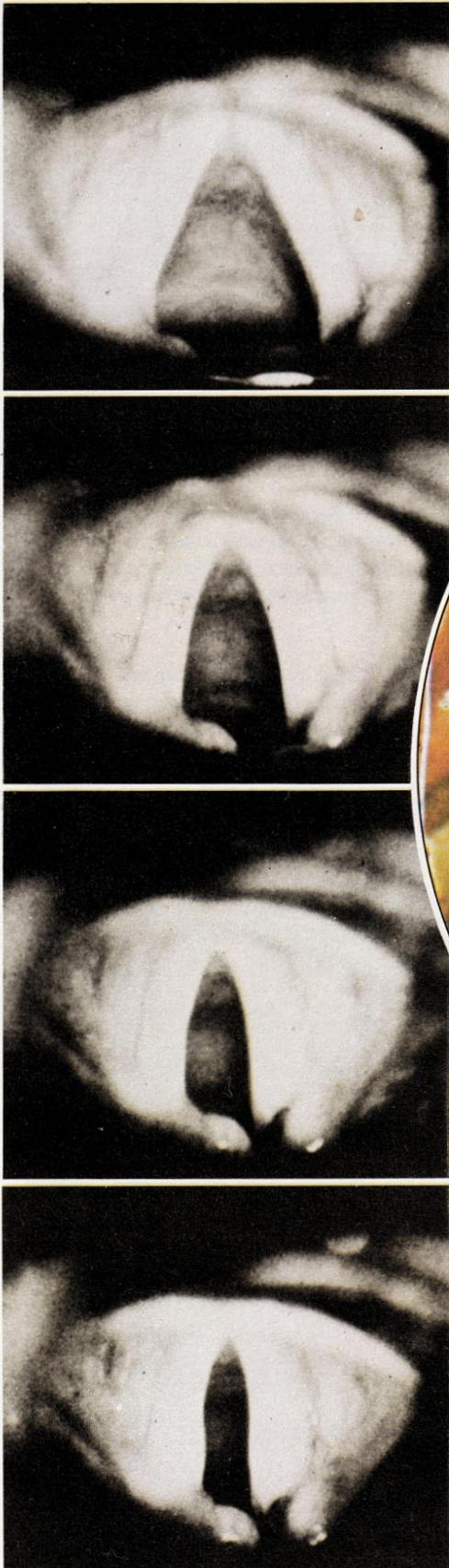


steht ein stimmhafter Laut des entsprechenden Typs (vgl. den Unterschied zwischen dem stimmlosen Verschlußlaut 't' in 'Tempo' und dem stimmhaften Verschlußlaut 'd' in 'Dorf').

Sprache besteht aus einer Aneinanderreihung von Lauten der beschriebenen Art. Die Aufeinanderfolge der verschiedenen Laute wird durch empfindlich aufeinander abgestimmte Änderungen der Stellung der Sprechorgane (Mund, Lippen, Zunge usw.), der Schwingungen der Stimmbänder,

der Strömungsgeschwindigkeit der Luft, der Gestalt der Resonanzräume usw. hervorgerufen. Im allgemeinen entsteht so eine Folge von Lauten, die von jedem verstanden werden, der dieselbe Sprache spricht. Trotzdem gibt es zwischen verschiedenen Sprechern erhebliche Unterschiede im Einsatz der verschiedenen Sprechmechanismen und in ihrem abgestimmten Zusammenspiel. Daran erkennen wir uns bekannte Stimmen wieder.

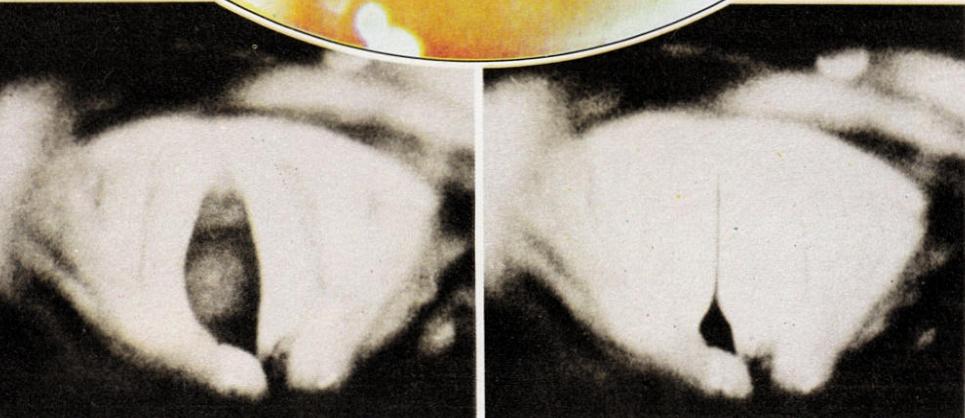
BELL LABORATORIES



Links: Die Bilderserie zeigt die Veränderung der Position der Stimmbänder vom entspannten bis zum geschlossenen Stadium. Sprechen erfordert das Zusammenpressen der Stimmbänder. Die Veränderung findet in Bruchteilen von Sekunden statt. Dementsprechend sind diese Fotos auch mit einer sehr kurzen Belichtungszeit gemacht worden.

Unten: Auf diesem Farbfoto sind die Stimmbänder etwas deutlicher zu erkennen als auf den Schwarzweißfotos. Die Stimmbänder bilden eine dreieckige Öffnung. Links im Bild ist der Kehldeckel zu sehen, der verhindert, daß Nahrungsmittel in die Luftröhre gelangen. Dieses Bild und die Bilderserie sind mit einer verlängerten Kameralinse aufgenommen worden.

KEELER INSTRUMENTS



Anwendungen der Stimmenanalyse

Es gibt viele Gründe für die genaue Analyse der Sprachklänge. In der Medizin sind solche Untersuchungen zum Auffinden von Fehlbildungen und Krankheiten nützlich. Im Kommunikationswesen sind Erkenntnisse der Stimmenanalyse wertvoll, um Sprache auch unter Störeinflüssen noch zu erkennen, z.B. bei Tiefseetauchern, deren Stimme im Einsatz stark entstellt klingt, oder auch bei Übertragungsanlagen der Telefonsysteme. Schließlich sind die Untersuchungen von Sprache und Stimmen Grundlage für die sich heute noch im Anfangsstadium befindenden 'sprechenden Computer' oder Roboter, wie man sie aus utopischen Filmen wie 'Krieg der Sterne' kennt.

Neben der Diagnose des Zustandes der Sprechwerkzeuge durch Stimmenanalyse, eine aufschlußreiche und für den Patienten sehr bequeme Methode, werden in der Medizin auch zusätzliche Informationen über die Nervenmechanismen und die Kontrollfunktion des Gehirns beim Sprechen gewonnen. Damit wird es möglich, Sprachbehinderungen besser zu verstehen.

Tiefseetaucher atmen eine Mischung aus Sauerstoff und Helium, einem leichten Edelgas. Die geringere Dichte des Atemgases gegenüber normaler Luft führt zu einer stark veränderten (höheren) Stimmlage, die man wegen ihrer Ähnlichkeit mit der Walt-Disney-Ente 'Donald-Duck-Effekt' nennt. Wegen der erforderlichen Zuverlässigkeit in der Übermittlung der gesprochenen Information wird die ziemlich unverständlich klingende Sprache der Taucher elektronisch bearbeitet, um sie der 'normalen' Sprache wieder ähnlicher zu machen.

Die 'Sprachumwandlung' ist auch für die Fernsprechindustrie von großer Bedeutung, die an der Steigerung der Qualität der Sprachübermittlung arbeitet. Man versucht Computer einzusetzen, die insbesondere zu Spitzenzeiten die Überlastung der Telefonnetze abbauen sollen. Dies kann etwa dadurch geschehen, daß ein Computer ein Sprachsignal in seine Bestandteile zerlegt und nur die wesentlichen



Oben: In einem Lagerhaus wird das automatische Verteilungssystem für mehrere gleichzeitig zu verteilende Lebensmittel-lieferungen über einen Computer gesteuert. Der Computer verteilt die Pakete auf verbal gegebene Anordnung des Kontrolleurs, die der Computer erkennen kann.

Unten: Die Nummern der Gewehre werden hier über eine Computeranlage, die die Angaben des Prüfers versteht, mit den Angaben in der Datenbank verglichen.





Teile an einen anderen Computer auf der Empfangsseite, der das ursprüngliche Signal wiederherstellt, weitersendet. Diese Computer gehen von Modellen der Spracherzeugung aus und generieren Signale, die die verschiedenen (modellmäßigen) Mechanismen zur Sprachbildung aktivieren. Der empfangende Computer baut die Sprache nach einem ähnlichen Modell wieder auf.

Analysemethoden

Es gibt heute mehrere verbreitete Methoden zur Stimmen- und Sprachanalyse, die alle mit komplizierten elektronischen Geräten arbeiten. Eines der einfacheren Instrumente ist eine am University College in London entwickelte Erfindung, die die Tätigkeit der Stimmbänder anzeigt. Dieser Apparat, ein 'Laryngograph', hält die Öffnung und Schließung der Stimmbänder fest, indem er die Dämpfung hochfrequenter elektromagnetischer Wellen mißt, die sich zwischen zwei am Hals angebrachten Elektroden ausbreiten. Die verschiedene Stellung der Stimmbänder beeinflußt die Stärke des Signals, das auf einem OSZILLOSkop sichtbar gemacht werden kann. Die Kurven auf dem Oszilloskop können Aufschluß über eine Fehlkonstruktion der Stimmbänder geben. Einige Forscher haben die vom Laryngographen aufgenommenen Signale als direktes Maß für die Tonhöhe des Kehlkopfes benutzt.

Zu den einfacheren Geräten zählt auch der Stimmen-Spektrograph, der aber schon etwas komplizierter als der Laryngograph ist. Mit dem Spektrographen erhält man eine Aufzeichnung (auf Papierstreifen) der Frequenzverteilung der Energie in einem gesprochenen Signal. Normalerweise nimmt das Gerät ein kurzes (etwa zwei Sekunden langes) Sprachsegment auf und spielt es wiederholt durch ein Resonanzfilter. Die Energie im Filter wird gemessen und mit einer Schreiberspitze auf Papier aufgezeichnet. Der Papierstreifen ist auf einer Trommel befestigt, die sich synchron mit dem wiederholt abgespielten registrierten Signal bewegt. Nach jeder Umdrehung der Trommel und dem entsprechenden Abspielen des Signals wird die Resonanzfrequenz des Filters etwas geändert. Die Schreiberspitze wird entsprechend verschoben, um die neuen Werte zu markieren. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Filter den am Instrument vorgewählten Frequenz-

bereich überstrichen hat. Die spektrographische Aufzeichnung (das Spektrogramm) gibt drei Informationen wieder: Zeit, Frequenz und Intensität. Die Zeit ist horizontal von links nach rechts dargestellt. Die Frequenz ändert sich auf dem Papierstreifen in der vertikalen Richtung, mit der höchsten Frequenz am oberen Ende. Die Stärke der Aufzeichnung gibt die Intensität für diesen betrachteten Zeitpunkt im jeweiligen Frequenzintervall an, das man an der horizontalen Achse ablesen kann. Dunklere, also intensivere Bänder, die horizontal über das Papier verlaufen, geben die Frequenzen der Resonanzräume an, die beim Sprechen aktiviert wurden. Je nach der Sprechweise ändert sich ihre Intensität mit der Zeit.

Spektrographen und Laryngographen geben über ähnliche, leicht erfaßbare Aspekte der Sprachbildung Auskunft. Eine umfassendere Analyse verlangt den Einsatz von Apparaten, die alle wichtigen Begleitumstände der Erzeugung von Sprachsignalen verarbeiten. Mit Hilfe eines Computermodells für die Sprachbildung kann diese Apparatur leicht definiert werden.

In neuerer Zeit sind Rechnerprogramme entwickelt worden, die — ausgehend von umfangreichen Erfahrungen mit konventionellen Meßmethoden — in der Lage sind, Sprache zu analysieren und in quantitative Information über die Tätigkeit der verschiedenen Sprechwerkzeuge (Öffnung der Stimmbänder, Mundform, Zungenposition usw.) umzusetzen. Einige dieser Programme sind als Modelle für die Spracherzeugung anzusehen. Sie können die Analyse in der Tat so vornehmen, daß sie 'synthetische Sprache' generieren und mit der Originalsprache vergleichen. Diese 'Analyse durch Synthese' muß natürlich von einem guten Modell für die Spracherzeugung ausgehen.

Gegenwärtig wird daran gearbeitet, diese Modelle weiter zu verfeinern, um Analyse und Synthese zu verbessern. Dabei werden mathematische Verfahren benutzt (z.B. Fourier-Transformationen zur Frequenzanalyse), die aus dem Sprachsignal Einzelheiten über die Stellung und Tonhöhe des Kehlkopfes und über die Gestalt der an der Sprachbildung beteiligten Resonanzräume herausarbeiten. Diese Trennung ist wichtig, da ja nicht alle Laute stimmhaft sind. Viele Laute kommen ohne Beteiligung des Kehlkopfes zustande, und für die Sprachsynthese ist in jedem Falle die Stellung des Mundes und der Zunge wesentlich. Ein einfaches Modell für die Sprachsynthese besteht aus einer Anregungsquelle (gepulster Luftstrom aus dem Kehlkopf oder turbulente Luftbewegung bei Reibungslauten) und einem Satz von Resonanzfiltern, die die beteiligten Hohlräume verkörpern.

Bei der 'Helium-Sprache', wo das leichtere Heliumgas die Resonanzfrequenzen der Hohlräume, nicht aber ihre Gestalt, geändert hat, kann der Analyse-Computer angepaßt werden. Aus der aufgenommenen Stimme läßt sich nach Erkennen der wesentlichen Parameter mit Sprachsynthese wieder eine normal klingende Stimme erzeugen.

Ein Sprachanalyse-Computer kann auch zur Identifizierung von Stimmen herangezogen werden, obwohl die Idee eines 'Stimmabdruckes' ähnlich einem Fingerabdruck sich als nicht sehr realistisch erwiesen hat.

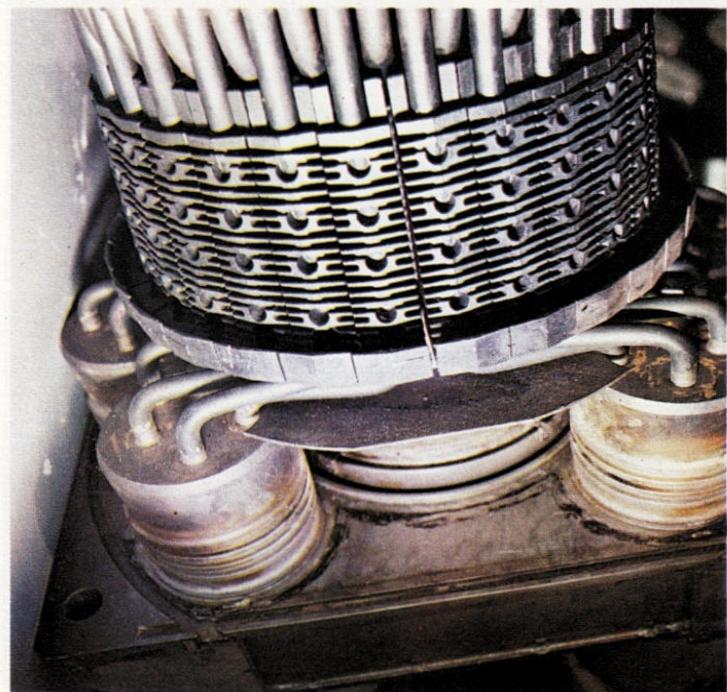
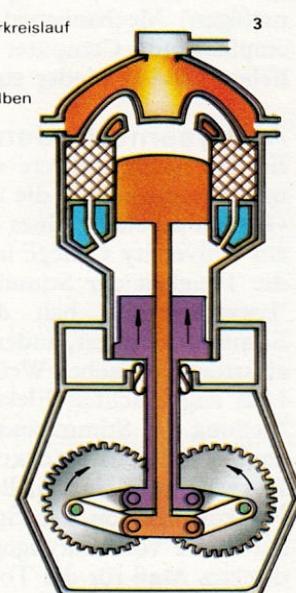
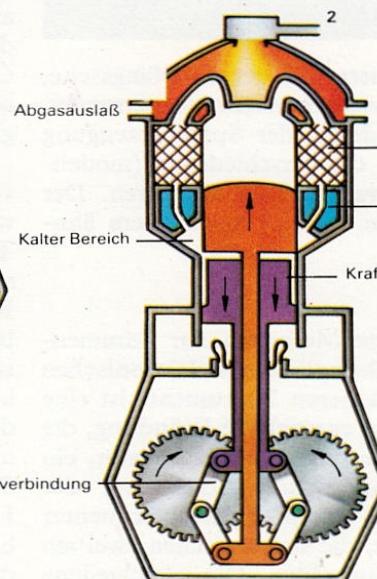
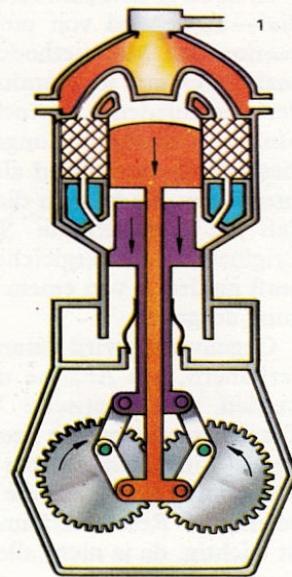
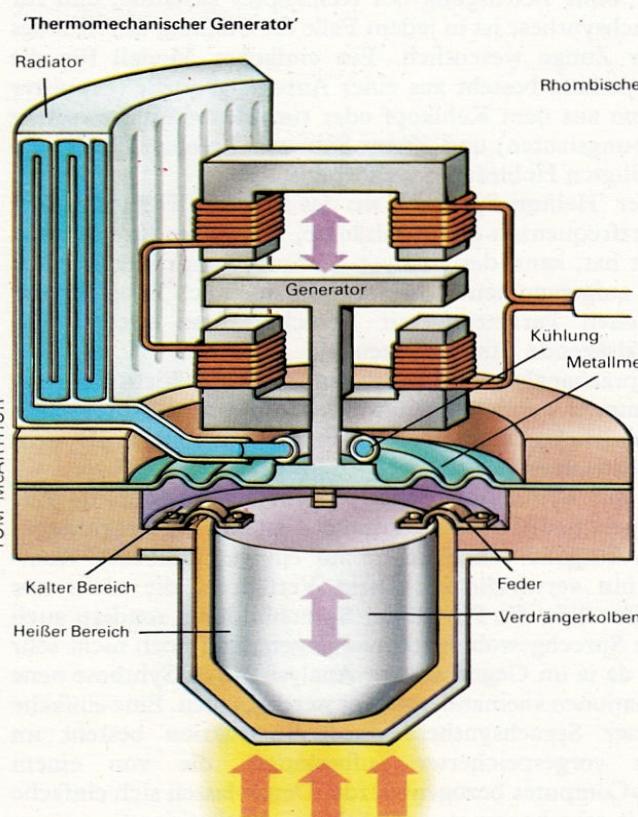
Auch der Synthese-Computer allein kann bestimmte Anwendungen finden. Damit könnte man z.B. die rechnersteuerte Ausgabe von Sprache auf ein geschriebenes Kommando hin verwirklichen. Diese Verfahren, die nicht nur Kenntnisse über die Physik der Sprachbildung, sondern auch über die Sprechgewohnheiten verlangen, sind noch nicht sehr perfekt, da ja im Gegensatz zur Analyse durch Synthese neue Kombinationen aneinander gereiht werden sollen. Eine einfache Art dieser Sprachsynthese durch Instruktion besteht im Abrufen vorgespeicherter Information, die von einem Analyse-Computer bezogen wurde. Damit lassen sich einfache Sätze mit sehr begrenztem Vokabular synthetisieren.

STIRLINGMOTOR

Die in unseren Tagen notwendige Verringerung der Umweltbelastung durch Lärm und Chemikalien hat das Interesse am Stirlingmotor (auch Heißluftmotor) neu belebt.

Der Stirlingmotor wurde im Jahre 1816 von Robert Stirling, einem schottischen Geistlichen, erfunden. Da es an Werkstoffen, die auch bei hohen Temperaturen hinreichend widerstandsfähig und korrosionsbeständig sind, fehlte, und die zur Arbeit mit Gasen notwendigen Dichtungen weitgehend unbekannt waren, blieb dieser Erfindung der Durchbruch versagt. Aus diesen Gründen konnte der Stirlingmotor auch nicht mit der DAMPFMASCHINE oder dem VERBRENNUNGSMOTOR konkurrieren, obgleich er viele Vorteile hat: höherer thermischer Wirkungsgrad, weniger Lärm und — bei geeigneter Motorkonstruktion — auch geringere Luftverschmutzung.

Zwei Arten von Stirlingmotoren. Die drei kleineren Zeichnungen zeigen einen Motor mit einem Zylinder. Er hat eine rhombische Verbindung zwischen Kraftausgabe- und Verdrängerkolben, die die richtige Phasenverschiebung in den Bewegungsabläufen gewährleistet. Im 'Thermomechanischen Generator' wirkt eine schwingende Metallmembran als Kraftausgabekolben. Sie ist mit der Armatur eines Wechselstromgenerators verbunden.



Oben: Die drei Querschnitte zeigen drei Stationen des Kreisprozesses eines einzylindrischen Stirlingmotors. Im Bild 1 dehnt sich das vom Brenner im heißen Bereich erwärmte Gas aus und drückt beide Kolben nach unten. In Bild 2 hat das Gas seine größte Ausdehnung erreicht; der Kraftausgabekolben fährt weiter nach unten, während der Verdrängerkolben sich nach oben zu bewegen beginnt. Dabei transportiert er Gas vom heißen in den kalten Bereich. In Bild 3 ist der Verdrängerkolben nahezu in der höchsten Stellung; das Gas im kalten Bereich zieht sich durch Abkühlung zusammen und zieht den Kraftausgabekolben nach oben. Dadurch wird das Gas in den heißen Zylinder teil zurückgeführt; die Ausgangssituation ist wiederhergestellt, und der Kreislauf beginnt von neuem.

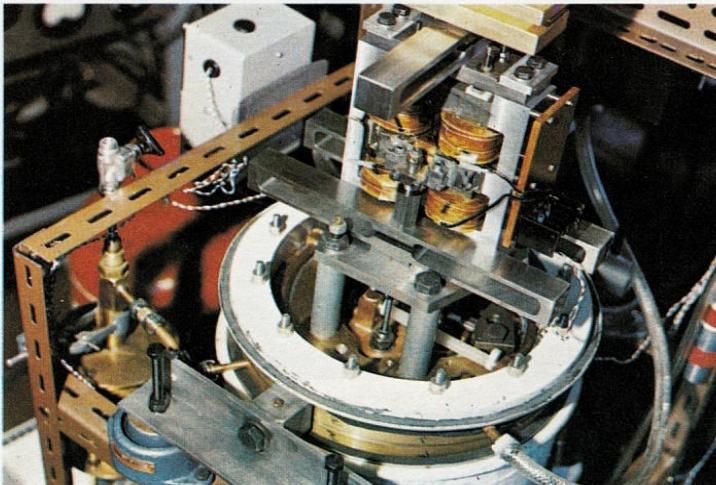
Kreisprozeß des Stirlingmotors

Verbrennungsmotoren erhalten die zur Arbeitsleistung erforderliche Wärme durch Verbrennen des Treibstoffes in den innerhalb des Motors gelegenen Zylindern. Im Gegensatz dazu nimmt das Arbeitsgas des Stirlingmotors seine Wärme aus den Zylinderwänden oder einem Wärmetauscher auf, der mit einer Wärmequelle verbunden ist. Gewöhnlich verbleibt das Gas im Motor und durchläuft einen Kreisprozeß, bei dem es periodisch erwärmt und abgekühlt wird; d.h. das Gasvolumen wird abwechselnd ausgedehnt und verkleinert. Über einen den Zylinder abschließenden Kolben wird mechanische Arbeit abgegeben.

In den frühen Stirlingmotoren bewegt ein Verdrängerkolben das Gas zwischen dem erhitzten und dem gekühlten Teil des Zylinders hin und her; es wird dort abwechselnd

Links: Der Wärmerückgewinnungssteil eines modernen Stirlingmotors. Diese Vorrichtung trägt dazu bei, daß unnötige Wärmeverschwendungen vermieden wird.

Unten: Ein Thermo-Mechanischer Generator. Im oberen Teil des Bildes kann man die Windungen des Wechselstromgenerators erkennen.



erwärmte beziehungsweise abgekühlt. Die dadurch zwischen beiden Bereichen bestehenden Druckunterschiede werden zum Antrieb des 'Kraftausgabekolbens' benutzt. In den meisten Fällen wird der Bewegungsablauf des Verdrängerkolbens so ausgelegt, daß er dem des Kraftausgabekolbens um etwa ein Viertel eines Kreisprozesses vorausseilt.

Stirlings erster Motor erzeugte 1,5 kW. Beide Kolben sind, ähnlich wie die meisten modernen Stirlingmotoren, im gleichen Zylinder untergebracht. Diese Anordnung verringert das nicht genutzte Volumen. Die hierdurch verbesserte Kompression erhöht den Wirkungsgrad der Maschine und steigert bei vorgegebener Motorengröße deren Leistung.

Das Arbeitsgas der ersten Stirlingmotoren war Luft bei Atmosphärendruck; in modernen Maschinen werden weit höhere Drücke (in einigen Fällen bis zum Hundertfachen des Atmosphärendruckes) benutzt. An Stelle von Luft wird als Gas heute allgemein Helium, Argon oder Wasserstoff verwendet, die bessere Wärmeleiter sind und dadurch das schnelle Aufheizen und Abkühlen des Arbeitsgases erleichtern.

Im Idealfalle ist die durch ein vorgegebenes Gasvolumen erzeugte Leistung der Differenz der höchsten und der niedrigsten im Kreisprozeß auftretenden Gastemperatur proportional. Es ist daher vorteilhaft, die obere Arbeitstemperatur so hoch auszulegen, wie es die verwendeten Motorwerkstoffe erlauben; in den meisten Motoren werden Temperaturen zwischen 450°C und 750°C benutzt.

Wärmerückgewinnung

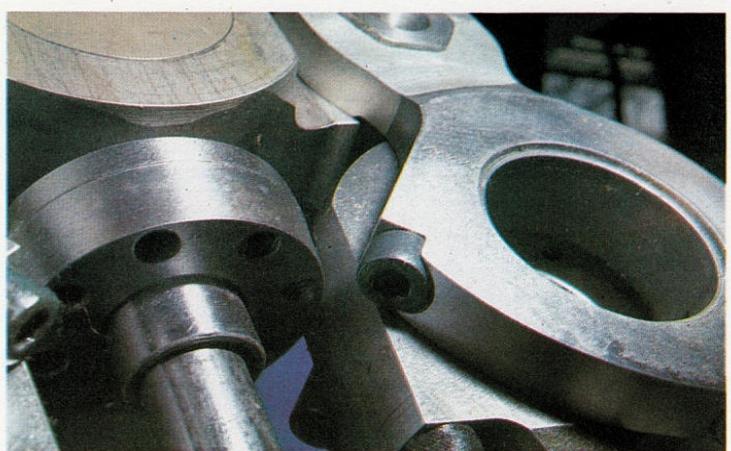
Ein weiterer interessanter Aspekt an Robert Stirlings Erfindung ist, daß sie als erste das Wärmerückgewinnungsprinzip enthält; dadurch wird die ungenutzte Abwärme des zwischen dem heißen und kalten Bereich des Zylinders hin- und herbewegten Gases möglichst gering gehalten. Das Arbeitsgas wird hierzu durch ein poröses Material gepreßt, etwa Stahlwolle oder ein Röhrensystem, dessen Öffnungen hinreichend eng sind, um gute Wärmeübertragung zu gewährleisten. Fließt das Gas vom heißen zum kalten Raum, nimmt dieses Material daraus Wärme auf und erwärmt beim Rückfluß das kühle Gas.

Während des 19. Jahrhunderts wurden Stirlingmotoren in vielen Bauformen hergestellt; die Leistung reichte von kleinen Werten bis etwa 26 kW. Sie wurden hauptsächlich zum Antrieb von Pumpen und in geringerem Umfang auch von Pressen, Mühlen, Rüttlern und anderen Maschinen gebraucht. Stirlingmotoren waren weitaus leistungsfähiger als Dampfmaschinen, doch das häufige Durchbrennen der Zylinderenden stellte ein ernstes Problem dar.

Im 20. Jahrhundert wurde diese Maschine selten benutzt, obwohl die Forschung der letzten 15 Jahre bei Firmen wie Philips in den Niederlanden Motoren hervorgebracht hat, deren Wirkungsgrad bei ähnlicher Leistung, Größe und vergleichbarem Gewicht höher ist als von Benzin- und Dieselagregaten. Der Einsatz des Stirlingmotors wird im Hochleistungsbereich hauptsächlich durch die starke Stellung der Verbrennungsmotoren und die hohen Kosten der benötigten Wärmetauscher behindert. Die besten Zukunftschancen hat der Stirlingmotor voraussichtlich im Bereich niedriger Leistungen.

Eine weitere vielversprechende Anwendungsmöglichkeit des Stirlingschen Prinzips liegt in seiner Umkehrbarkeit. Wird ein Stirlingmotor ohne Kontakt mit einer Wärmequelle durch eine äußere mechanische Kraft angetrieben, so wird an dem Zylinderende, wo sonst die Wärmequelle sitzt, durch Abkühlung der Zylinderwand dennoch Wärme aus der Umgebung aufgenommen. Diese Wärme wird an das ansonsten kalte Zylinderteil abgegeben. In dieser Betriebsart stellt der Stirlingmotor für den Bereich von 60°C bis 180°C ein besonders wirksames Kühlgerät dar. Ebenso kann der Stirlingmotor als Wärmepumpe verwendet werden, um etwa der Umgebung eines Hauses Wärme für dessen Heizsystem zu entziehen.

Zwei jüngst entwickelte, unkonventionelle Bauformen des Stirlingmotors sind der 'thermomechanische Generator', bei dem der Kraftübertragungskolben durch eine schwingende Metallmembran ersetzt ist, und das 'Fluidyn', dessen Verdränger- und Kraftübertragungskolben aus einer Reihe flüssigkeitsgefüllter Röhren bestehen, worin die Flüssigkeiten hin- und herfließen.



Oben: Teil des rhombischen Antriebs eines niederländischen Stirlingmotors.

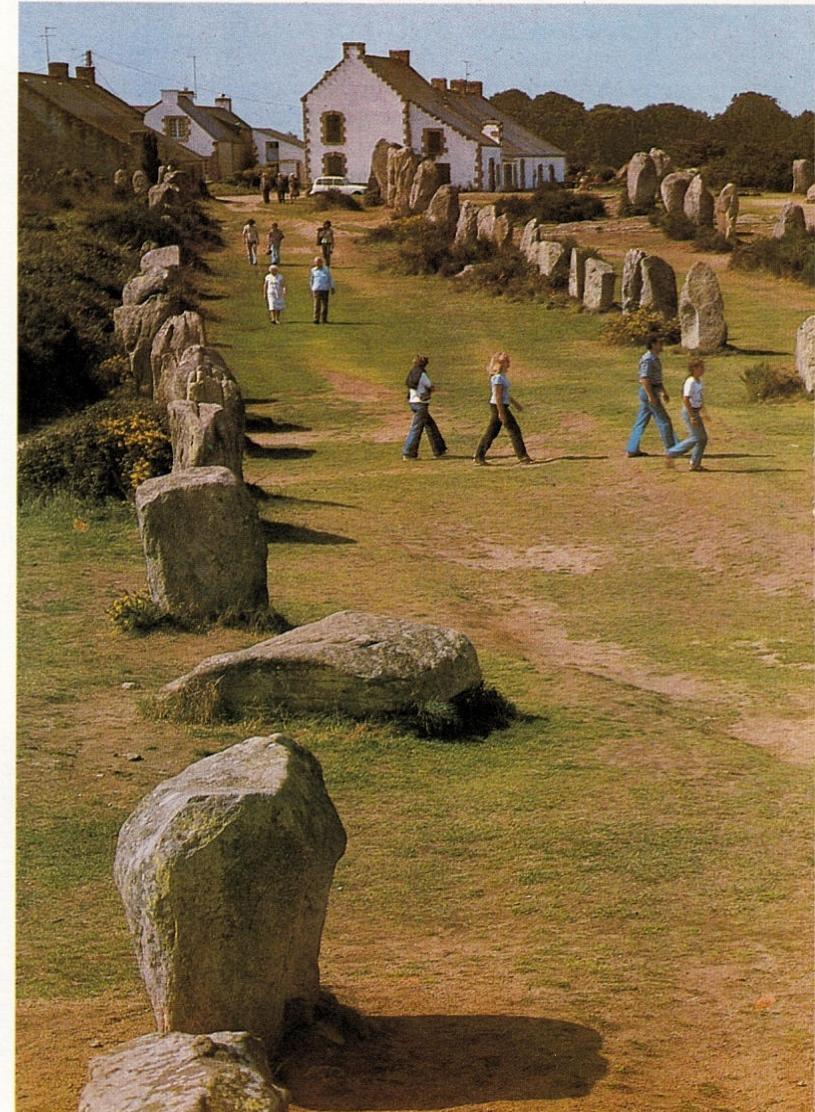
STONEHENGE UND GESTEINSKREISE

Das große prähistorische Denkmal Stonehenge auf der Ebene von Salisbury in England wird seit langem als Weltwunder angesehen und alljährlich von über 800 000 Menschen besucht.

Im 12. Jahrhundert war man der Ansicht, Stonehenge wäre von Merlin, dem Zauberer des legendären britischen Königs Arthur, durch magische Künste geschaffen worden. In späterer Zeit nahmen die Geschichtsforscher an, Stonehenge wäre ein Tempel der Druiden, der keltischen Priesterschaft aus der Zeit, als die Römer im 1. Jahrhundert n. Chr. in Britannien eindrangen. Die moderne Archäologie hat jedoch nachgewiesen, daß Stonehenge zur Zeit der Kelten bereits mehr als 2 000 Jahre alt war und es keinen Beweis dafür gibt, daß die Druiden überhaupt mit Stonehenge in Zusammenhang stehen. Die Untersuchungen über den ursprünglichen Sinn von Stonehenge sind auch heute noch nicht abgeschlossen.

Die archäologische Forschung zeigt, daß Stonehenge in drei Phasen gebaut wurde. Stonehenge I wurde von Bauern der Jungsteinzeit um 2800 v. Chr. angelegt; es bestand aus einem kreisförmigen Graben, auf dessen Innenrand ein Wall mit einem Durchmesser von 97 m aufgeschüttet wurde. Auf einer Kreisperipherie wurden in einem Abstand von 3 Metern vom Wall 56 kleine Gruben, die sogenannten Aubreylöcher (nach einem Altertumsforscher des 17. Jahrhunderts genannt, der sie entdeckte), angelegt. Es handelt sich hierbei um flache Gruben, von denen einige eingäscherte Knochen enthielten, die eine Datierung nach der C14-Methode (Radiocarbonmethode) ermöglichen. Der Eingang zu der Anlage befand sich im Nordosten. Außerhalb der Anlage wurde der sogenannte Heelstein, ein unbearbeiteter, aufrecht stehender, noch heute vorhandener Stein, aufgestellt.

Die Ausbreitung der 'Glockenbecherkultur' (Frühbronzezeit) in Europa führte dazu, daß einige Jahrhunderte später





ROBERT HARDING

Oben: Einer der faszinierendsten megalitischen Funde ist in der südlichen Bretagne zu sehen, und zwar in der Nähe von Carnac. Über eine weite Fläche verstreut stehen Steinreihen, scheinbar wahllos errichtet. Nicht weit entfernt von diesem Ort befindet sich der größte Menhir, der je gefunden wurde (20 m). Heute ist er in vier Teile zerbrochen. Einer Theorie zufolge soll er das Standviersier für Anlagen zur Beobachtung des Mondes gewesen sein.



Links: Das sich auf der Hebrideninsel Lewis befindende Callanish wird auch als das 'schottische Stonehenge' bezeichnet. Von einem Kreis ausgehende Peillinien können das Aufgehen von Capella, Sonne und Mond anzeigen.

Stonehenge umgebaut wurde. Dieses Stonehenge II bestand aus zwei konzentrischen Kreisen aus jeweils 38 Steinen; der Zugang zu diesen Kreisen lag dem Heelstein gegenüber. Diese Richtung wurde auch weiterhin bei jedem Wiederaufbau von Stonehenge als 'Achse', auf deren astronomische Bedeutung später eingegangen werden soll, beibehalten. Die Bausteine für Stonehenge wurden über eine Entfernung von 216 km Luftlinie von den Prescelly Mountains in Pembrokeshire, Wales, herbeigeschafft. Der hierbei tatsächlich benutzte Weg führte wahrscheinlich den Bristolkanal entlang, bei Bristol den Avon hinauf und dann auf dem Landwege bis zum Avon bei Wyley und Salisbury — über eine Gesamtstrecke von 383 km. Von Amesbury wurden sie über eine breite, beidseitig von Erdwällen begrenzte Straße, die vom Fluß bis zum Eingang von Stonehenge führte, über Land gezogen. Es ist nicht bekannt, warum diese Blausteine (die ihren Namen wegen ihrer dunklen, graublauen Farbe erhielten) über eine solch weite Entfernung herbeigeführt wurden. Nach den vorliegenden Funden wurde Stonehenge II niemals vollendet. Als Dreiviertel der Steine aufgestellt waren, wurden sie wieder abgetragen, um Platz für die nächste Bauphase zu erhalten.

Es sind also die Überreste von Stonehenge III, die den Besucher unserer Zeit beeindrucken. Die bis zu 9 m langen und bis zu 50 Tonnen schweren Steine wurden in zwei konzentrischen Kreisen angeordnet, wobei der äußere aus 30 aufrecht stehenden Steinen bestand. Diese stützten einen geschlossenen Kreis aus Decksteinen, die sich in 4,3 m Höhe über dem Erdboden befanden. Der innere Kreis enthielt fünf hufeisenförmig angeordnete Trilithonen (Bögen aus jeweils drei Steinen), von denen jeweils zwei auf jeder Seite der Achse des Bauwerkes standen, während der fünfte und größte auf der Achse dem Heelstein gegenüber aufgestellt wurde.

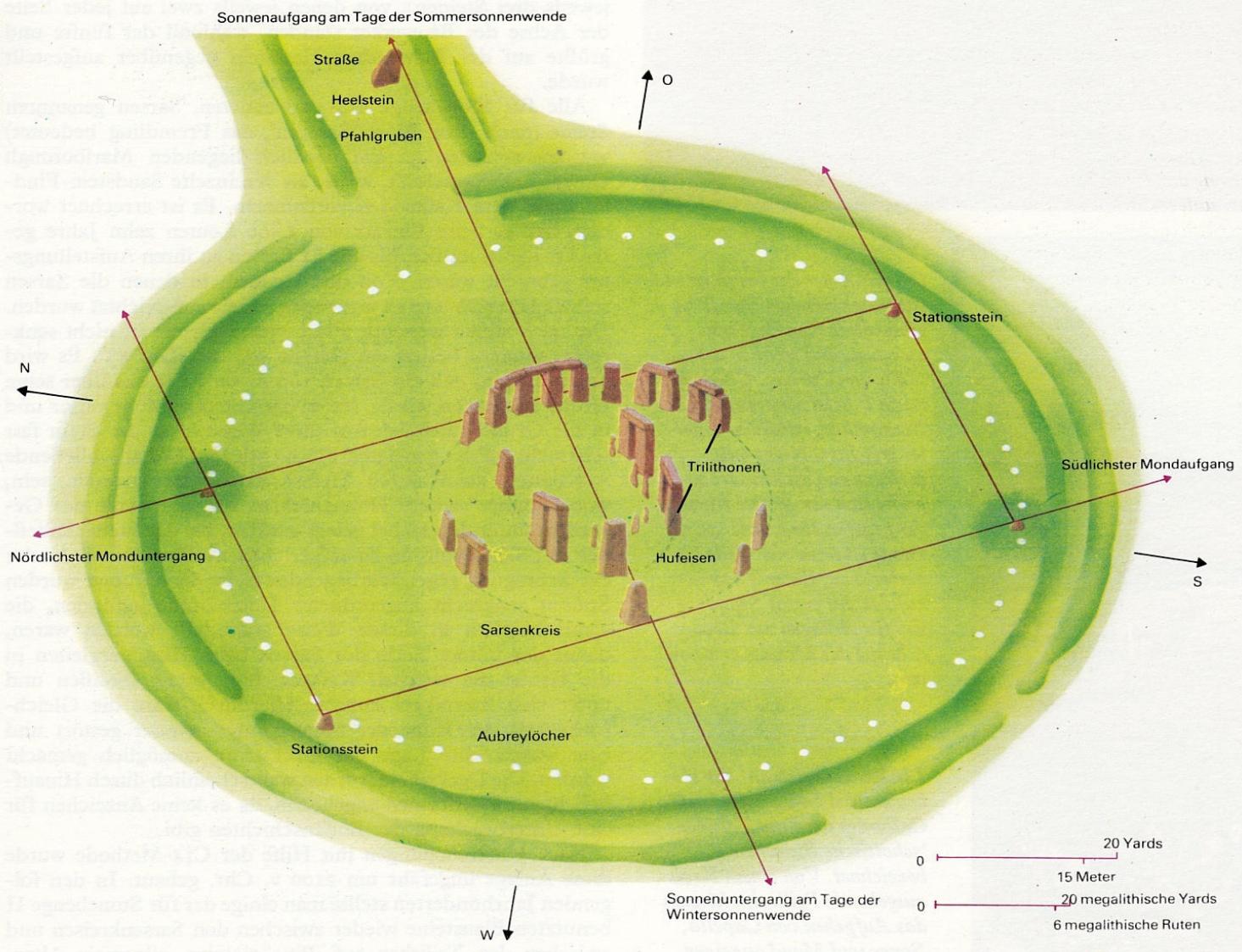
Alle für Stonehenge III verwendeten, Sarsen genannten Steine (nach dem Wort 'Sarazen', das Fremdling bedeutet) wurden von den 32 km nördlich liegenden Marlborough Downs herbeigeschafft, wo sie als vereinzelte Sandstein-Findlinge auf dem Kalkboden vorkommen. Es ist errechnet worden, daß es beim Einsatz von 1500 Leuten zehn Jahre gedauert haben müßte, bis alle 81 Sarsen an ihren Aufstellungsort gebracht waren. Von den Gruben, in denen die Sarsen stehen, läßt sich in etwa ermitteln, wie sie aufgerichtet wurden. Die nach außen weisende Fläche jeder Grube ist nicht senkrecht, sondern besitzt ein Gefälle von ungefähr 45°. Es wird angenommen, daß ein Sarsen von dieser Seite aus über seine Grube geschoben wurde, bis er das Gleichgewicht verlor und in die Grube hineinfiel. Auf diese Weise hätte der Stein fast senkrecht auf der geneigten Fläche gelegen. Das abschließende Aufrichten kann durch Hebelkraft bewirkt worden sein, wobei immer weitere Holzschichten zur Aufnahme des Gewichtes unter den Hebel gelegt wurden, bis der Stein schließlich mit Seilen vollständig aufgerichtet werden konnte. An der Schrägung gegenüberliegenden Seite der Gruben wurden Spuren senkrecht angeordneter Holzstämme gefunden, die wahrscheinlich in dieser Weise aufgestellt worden waren, damit das untere Ende der Sarsen beim Hinuntergleiten in die Grube die weichen Kalkschichten nicht abreißen und unter sich 'begraben' konnte. Hierdurch wäre die Gleichförmigkeit der Höhe der Sarsen untereinander gestört und eine waagerechte Lage der Decksteine unmöglich gemacht worden. Die Decksteine wurden wahrscheinlich durch Hinaufheben auf Plattformen angehoben, da es keine Anzeichen für eine Unterbrechung der Bodenschichten gibt.

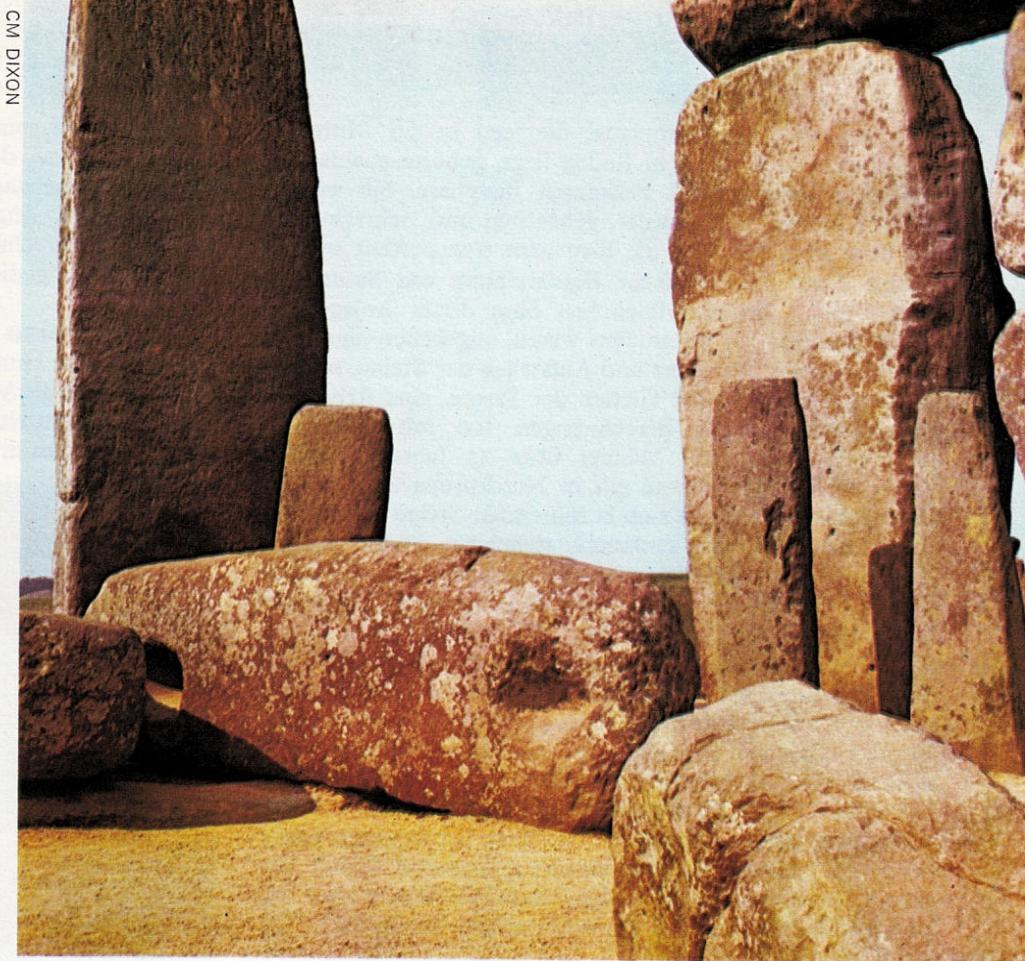
Nach Untersuchungen mit Hilfe der C14-Methode wurde diese Anlage ungefähr um 2100 v. Chr. gebaut. In den folgenden Jahrhunderten stellte man einige der für Stonehenge II benutzten Blausteine wieder zwischen den Sarsenkreisen und zwischen den Trilithen auf. Eine massive, allgemein Altar-



Oben: Diese Luftaufnahme von Stonehenge zeigt den heutigen Zustand der Anlage. In den vergangenen 4000 Jahren sind viele Steine entweder umgestürzt, umgesetzt oder neu aufgestellt worden. Aber in vielen Fällen haben Ausgrabungen ihre ursprünglichen Standorte im Kalk unter der Oberfläche enthüllt. Um den Rand des Innenkreises verlaufen die 56 Aubreylöcher, die jetzt mit weißem Beton gefüllt sind, ursprünglich aber mit gemahlener Kreide gekennzeichnet waren. Drei der vier Stationsstein-Positionen sind auf der Abbildung zu erkennen.

EUGENE FLEURY

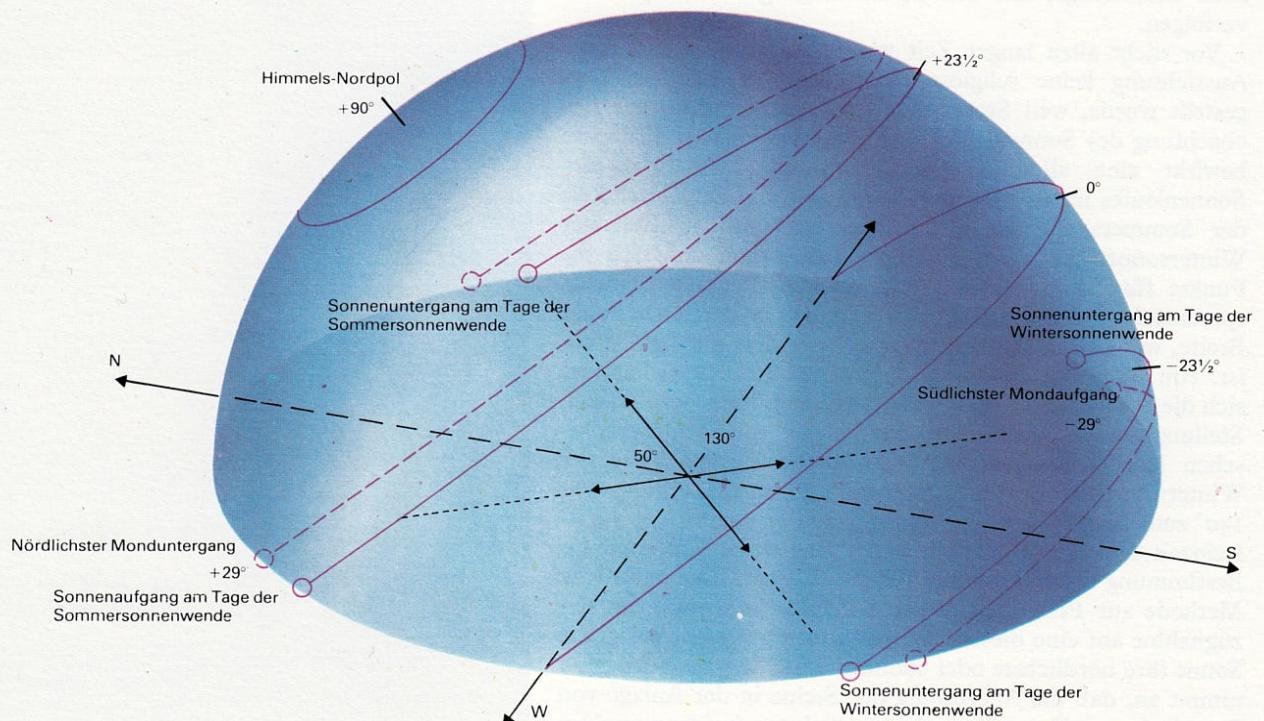




Oben: Diese in einen Sarsenstein gehauenen Dolche sind als Beweis dafür angesehen worden, daß die Erbauer von Stonehenge durch die Mykener beeinflußt waren, da auch bei ihnen im vierzehnten Jahrhundert Trilithonen üblich waren. Daten, die man in jüngster Zeit nach der C14-Methode gewonnen hat, können diese Annahme jedoch nicht bestätigen.

Links und unten: Peillinien in Stonehenge. Hier werden nur tatsächlich noch aufrecht stehende Steine gezeigt. Zu der Peillinie entlang der mittleren Achse weisen die Stationssteine zur nördlichsten und südlichsten Mondstellung — Richtungen, die auch an anderen Orten zu finden sind. Zu Verfinsternungen kann es kommen, wenn der Mond entlang dieser Peillinien (siehe Himmelskugel unten) auf- oder untergeht. Man kann daher jedoch nicht schließen, daß die Menschen der Bronzezeit Verfinsternungen vorhersagen konnten. Es ist jedoch mit Sicherheit anzunehmen, daß sie die Bewegungen des Mondes aufmerksam verfolgt haben, da die Fluchtungspunkte die Mondstellungen mit Regelmäßigkeit korrekt anzeigen.

Oben: Der Aufbau der Trilithonen unter Benutzung von Zapfen und Löchern läßt sich bei den Resten der größten unter ihnen eindeutig erkennen. Der links im Bild stehende Stein, der höchste von allen, hat eine Länge von fast 9 Metern und eine Masse von 50 Tonnen. Sein ihm entsprechender 'Partnerstein' ist umgestürzt und zerbrochen.



stein genannte Sandsteinplatte, die jetzt in der Mitte von Stonehenge flach auf dem Boden liegt, gehörte ebenfalls zu der als Stonehenge III bekannten Bauphase. Sie war bei Milford Haven, in Südwales, gebrochen und wahrscheinlich auf demselben Weg wie die Blausteine transportiert worden.

Eine kurze archäologische Beschreibung von Stonehenge erklärt nicht den ursprünglichen Sinn dieser Anlage. Die Anstrengungen bei ihrem Bau waren ungeheuer, und zwar nicht nur beim Transport und Aufstellen der Steine, sondern auch beim Formen und Glätten der Sarsen, eine Arbeit, die nach durchgeföhrten Berechnungen 100 mit Steinbeilen (Schlegeln) arbeitende Männer über 15 Jahre beschäftigt haben müßte. Stonehenge gilt in Nordeuropa auch deshalb als einzigartig, weil alle sich berührenden Steine miteinander verbunden sind. Die senkrecht stehenden Steine besitzen Zapfen, in die sorgfältig angepaßte Aussparungen der Decksteine eingreifen, während die nebeneinander liegenden Decksteine des Außenrings über Federn und Nuten miteinander verbunden sind. Diese Anwendung von Holzbautechniken bei Steinen ist in einer solch frühen Epoche nördlich der Alpen unbekannt. Eine Zeitlang gab diese Tatsache Anlaß zu der Spekulation, daß die Erbauer Kenntnisse der mykenischen Architektur Griechenlands besessen hätten. Nachdem jedoch die Daten mit der C14-Methode kürzlich noch einmal überprüft wurden und diese neuen Daten Stonehenge als beträchtlich älter als die griechische Kultur auswiesen, erscheint es als sicher, daß bei seinem Bau nur geringe Einflüsse anderer Kulturen mitgewirkt haben.

Sonnenaufgang zur Zeit der Sommersonnenwende

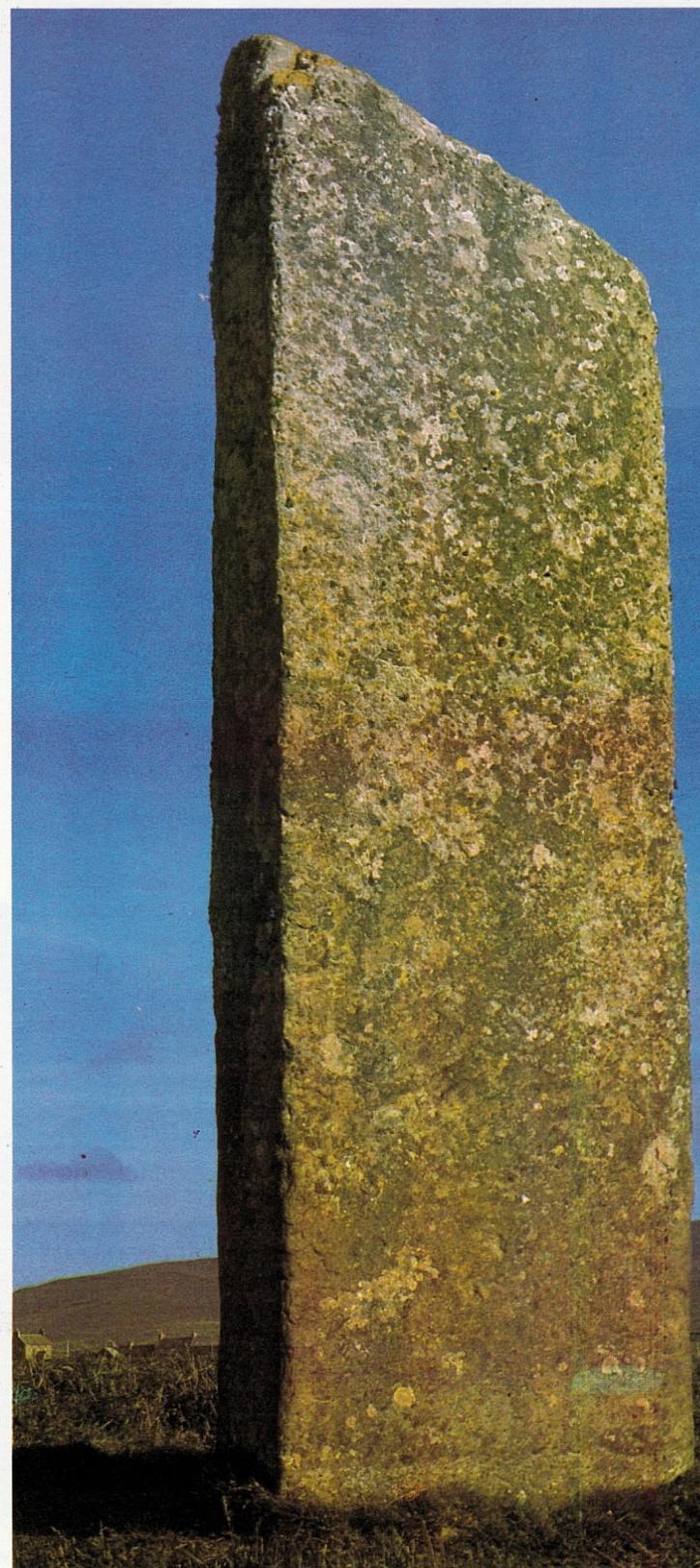
Es ist schwierig zu verstehen, warum die Menschen der Bronzezeit in Wessex den Bau von Stonehenge als lohnend angesehen haben sollten, sofern er nicht von einem mächtigen Herrscher befohlen oder durch religiösen Eifer hervorgerufen worden war. Jahrhundertelang wurde angenommen, daß Stonehenge tatsächlich ein Tempel gewesen war. Da die Achse von Stonehenge über die Spitze des Heelsteines auf die Stelle des Horizontes weist, an der die Sonne am Tag der Sommersonnenwende aufgeht, war der Gedanke naheliegend, daß es sich um einen Tempel für einen Sonnengott handeln müsse. Bis in unsere Zeit kommen Besucher scharenweise nach Stonehenge, um den Sonnenaufgang am 21. Juni zu verfolgen.

Vor nicht allzu langer Zeit wurde angedeutet, daß diese Ausrichtung keine religiöse Bedeutung hat, sondern hergestellt wurde, weil Stonehenge ein Observatorium zur Beobachtung des Sonnenlaufes war. Die Neigung der Erdachse bewirkt eine alljährlich wiederkehrende Änderung des Sonnenlaufes im All. Es ist bekannt, daß die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende am höchsten und zur Zeit der Wintersonnenwende am niedrigsten steht und daß sich die Punkte für Sonnenaufgang und Sonnenuntergang dementsprechend um den Horizont bewegen, was in Bereichen hoher Breite, wie z.B. in Großbritannien, besonders gut feststellbar ist. Am Tage der Sommersonnenwende (21. Juni) befindet sich die Sonne beim Auf- und Untergang in ihrer nördlichsten Stellung, was in Stonehenge ungefähr 50° von der geographischen Nordrichtung ausmacht, während sie am Tage der Wintersonnenwende (22. Dezember) in einer Stellung von 130° zum Norden auf- und untergeht. Die Bauern der Jungsteinzeit und der Bronzezeit benötigten einen Kalender zur Bestimmung des Zeitpunktes für die Aussaat. Eine natürliche Methode zur Feststellung dieser Kalenderdaten wäre die Bezugnahme auf eine dieser Sonnenwenden gewesen, wobei die Sonne ihre nördlichste oder südlichste Stellung erreicht. Man nimmt an, daß die Anordnung der Steine in der Anlage von Stonehenge zur Feststellung des nördlichsten Aufgangspunktes

der Sonne und somit zur Anzeige des Eintritts der Sommersonnenwende diente. Die später wieder eingesetzten Blaustein-Kreise und die verschiedenen bei der Ausgrabung aufgefundenen ringförmigen Anordnungen von Gruben mögen zur Berechnung der Kalenderzeiten zwischen den Sonnenwenden gedient haben.

Andere Kreise

Es gibt mehrere Hundert Orte in Großbritannien, wo aufrecht stehende (auch als Megalithen oder Menhire bekannte) Steine in der Jungsteinzeit oder Bronzezeit errichtet worden sind, ohne jedoch so eindrucksvoll wie in Stonehenge zu wirken. An



einigen Orten können es mehrere große Steinkreise sein; häufig findet man aber nur einen oder zwei einzelne Steine. Der Sinn dieser Orte ist noch geheimnisvoller als der von Stonehenge; es ist jedoch festgestellt worden, daß viele der zwischen Menhiren oder zwischen einem Menhir und der Mitte eines in der Nähe befindlichen Kreises gebildeten Peillinien auf den Punkt am Horizont hinzuweisen scheinen, der mit dem Aufgang oder Untergang der Sonne bei einer Sonnenwende zusammenfällt. Einige der gebildeten Peillinien scheinen auf die am weitesten nördlich und am weitesten südlich liegenden Punkte für den Untergang des Mondes, dessen Bewegung um die Erde schwieriger zu erfassen ist als die Bewegung der Erde um die Sonne, hinzuweisen. Verfolgt man diese Linien weiter, entdeckt man eine natürliche Erhebung am Horizont, die man möglicherweise zur Feststellung einer viel genaueren Position für den Aufgang oder Untergang des Mondes hätte benutzen können.

Verfinsterungen

Die Mondbeobachtungen waren wahrscheinlich nicht für die Verwendung im Kalender, sondern zur Vorhersage von Verfinsterungen gedacht. Zu einer Sonnenfinsternis kommt es, wenn der Mond sich zwischen Sonne und Erde schiebt, sie verdeckt und einige Minuten der Dunkelheit bewirkt, während bei einer Mondfinsternis der Mond in den Erdschatten eintritt und sich in dunkelrote Farbe 'auflöst', eine Folge der Tatsache, daß rotes Licht durch die Erdatmosphäre stärker gebrochen und somit in den Erdschatten hineingeleitet wird. Diese Erscheinungen sind besonders eindrucksvoll, und es ist möglich, daß die Menschen, die die Megalithen aufstellten, einen Versuch der Vorhersage von Sonnen- und Mondfinsternis machten. Es kommt nicht bei jedem Neumond oder Vollmond zu einer Verfinsternis, obgleich Sonne, Mond und Erde eine Linie bilden, weil sich die Umlaufbahn des Mondes zur Umlaufbahn der Erde um die Sonne neigt, weshalb er normalerweise entweder über oder unter der Sonne (oder dem Schatten der Erde, im Falle einer Mondfinsternis) erscheint. Durch eine sorgfältige Beobachtung der Auf- und Unter-

gangspunkte des Mondes insbesondere an den nördlichsten und südlichsten Stellen ist eine Vorhersage, wann es zu einer genauen linearen Übereinstimmung und somit auch zum Auftreten einer Verfinsternis kommt, möglich.

In Stonehenge mögen die vier Stationssteine, die ungefähr den gleichen Abstand zur Mitte wie die Aubreylöcher haben, zur Feststellung der äußersten Punkte der Mondbewegung benutzt worden sein. Es wird angenommen, daß die 56 Aubreylöcher zur Vorausberechnung der Jahre gedient haben, in denen es zu einer Verfinsternis anlässlich einer Sonnenwende kommen würde. Die Annahme liegt darin, daß sich Verfinsterungen im Verlaufe von fast 56 Jahren dreimal wiederholen; und wenn drei Steine gleichmäßig um die Aubreylöcher aufgestellt und in jedem Jahr um ein Loch weiterbewegt würden, könnte ein 'gefährliches' Jahr immer dann vorhergesagt werden, wenn einer der Steine in einem bestimmten Loch stünde. Diese Benutzung von Steinen zum Nachvollziehen der Bewegung von Himmelskörpern ist eine Aufgabe für einen Analogrechner. Die Vorhersage von Sonnen- und Mondfinsternissen durch Menschen, die offensichtlich keine Schriftzeichen besaßen, ist unter diesem Gesichtspunkt eine hervorragende intellektuelle Leistung.

Das megalithische Yard

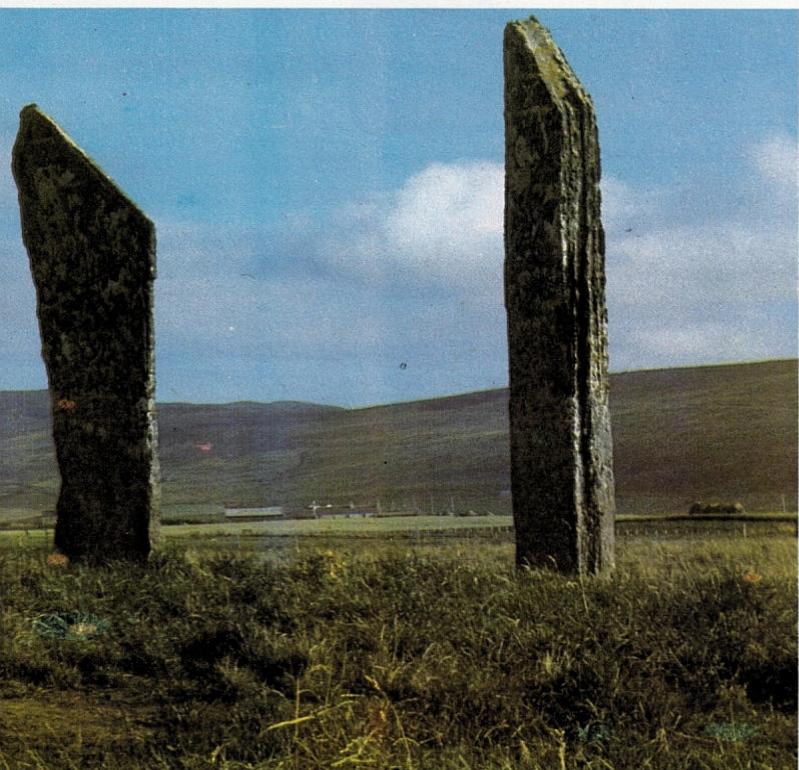
Während es bei näherer Betrachtung der Peillinien an megalithischen Orten den Anschein hat, als ob ihre Erbauer das Jahr in sechzehn gleichlange 'Monate' eingeteilt und den Sonnenaufgang bzw. -untergang an jedem entsprechenden Monatsanfang gekennzeichnet hätten, gibt es ausreichende Beweise dafür, daß alle Steinkreise in Britannien unter Benutzung desselben Längenmaßes, des megalithischen Yards (83 cm), errichtet wurden. Der Durchmesser der Kreise beträgt eine genaue Anzahl megalithischer Yards. In solchen Fällen, in denen die Form keinen genauen Kreis bildet, ist es möglich, daß eine geometrische Konstruktion unter Benutzung ganzer megalithischer Yards geschaffen wurde.

Unklarheiten

Wer den astronomischen Theorien ablehnend gegenübersteht, weist darauf hin, daß Vorhersagen von Verfinsterungen von Sonne und Mond Beobachtungen des Mondes erforderlich machen, wenn er etwa alle neun Jahre an einem bestimmten Abend aufgeht. Das Klima Großbritanniens aber macht es, insbesondere auf den westlichen Inseln von Schottland, wo viele Peillinien unter Benutzung von Steinen zu finden sind, oft unmöglich, den Mond zu sehen. In jüngster Zeit durchgeführte Klimauntersuchungen haben jedoch gezeigt, daß Britannien während der fraglichen Epoche wahrscheinlich ein etwas wärmeres Klima als das gegenwärtige besaß.

Eine andere kritische Äußerung ist die, daß viele der besagten Peillinien durch einen Zufall entstanden sein können. Sicherlich gibt es eine große Anzahl von Peillinien, die offensichtlich überhaupt keine astronomische Bedeutung besitzen. An dieser Stelle konzentriert sich die Diskussion auf die Anzahl von bisher gemessenen Peillinien und die Genauigkeit, mit der bestimmte Linien auf besondere Erscheinungen hinweisen. Auch fragt man sich oft, wie eine Volksgruppe, die des Schreibens unkundig war und offensichtlich nicht einmal das Rad kannte, etwas derart Ausgeklügeltes vollenden konnte. Aber die Menschen, um die es hier geht, lebten rund 160 Generationen vor uns. In der Geschichte der mittelamerikanischen Kultur der Mayas vor knapp 500 Jahren war das Rad ebenfalls unbekannt, dennoch besaßen sie aufgrund der Verwendung von Zahlen sehr fortgeschrittene astronomische Kenntnisse. Wie hätten Menschen, die nicht schreiben konnten, besser Bewegungen von Himmelskörpern festhalten können, als auf dem Erdboden Kennzeichnungen zu errichten, die mit den Himmelskörpern selbst ausgefluchtet sind?

Steine bei Stenness auf den schottischen Orkney-Inseln.



PICTUREPOINT

STRANGPRESSEN

Strangpressen ist ein äußerst vielseitiges Verfahren: So unterschiedliche Produkte wie Kunststofffolien, Seifenriegel, Nylonfasern und eine Vielzahl von Metallteilen lassen sich durch Strangpressen herstellen.

Strangpressen eignet sich vornehmlich zum Formen von Metall- und Kunststoffartikeln, insbesondere von Stangen, Stäben und Rohren sowie verschiedenen einfachen, vollen und hohlen Profilen. Dabei wird die Formmasse durch eine formgebende Matrize, ähnlich wie bei einer Spritzdüse zum Verzieren von Kuchen mit Zuckerguß o.ä., gepreßt.

Kunststoff-Strangpressen (Extrudieren)

In der Kunststofftechnik werden thermoplastische Kunststoffmassen durch formgebende Düsen gepreßt. Sie erhalten so die jeweils gewünschte Form. Auf diese Weise lassen sich Tafeln, Rohre, Schlauchfolien (Kunststoff-Säcke), Drahtummantelungen und sonstige Profile, z.B. haushaltsübliche Gardinenschienen, herstellen. Bei den dabei verwendeten KUNSTSTOFFEN handelt es sich überwiegend um Thermoplaste wie Polyäthylen, Polypropylen, Polystyrol, Nylon, Polyvinylchlorid u.ä. Diese Formmassen werden in hochviskosem, aufgeschmolzenem Zustand bei Verarbeitungstemperaturen, die zwischen 150°C und 300°C liegen, extrudiert.

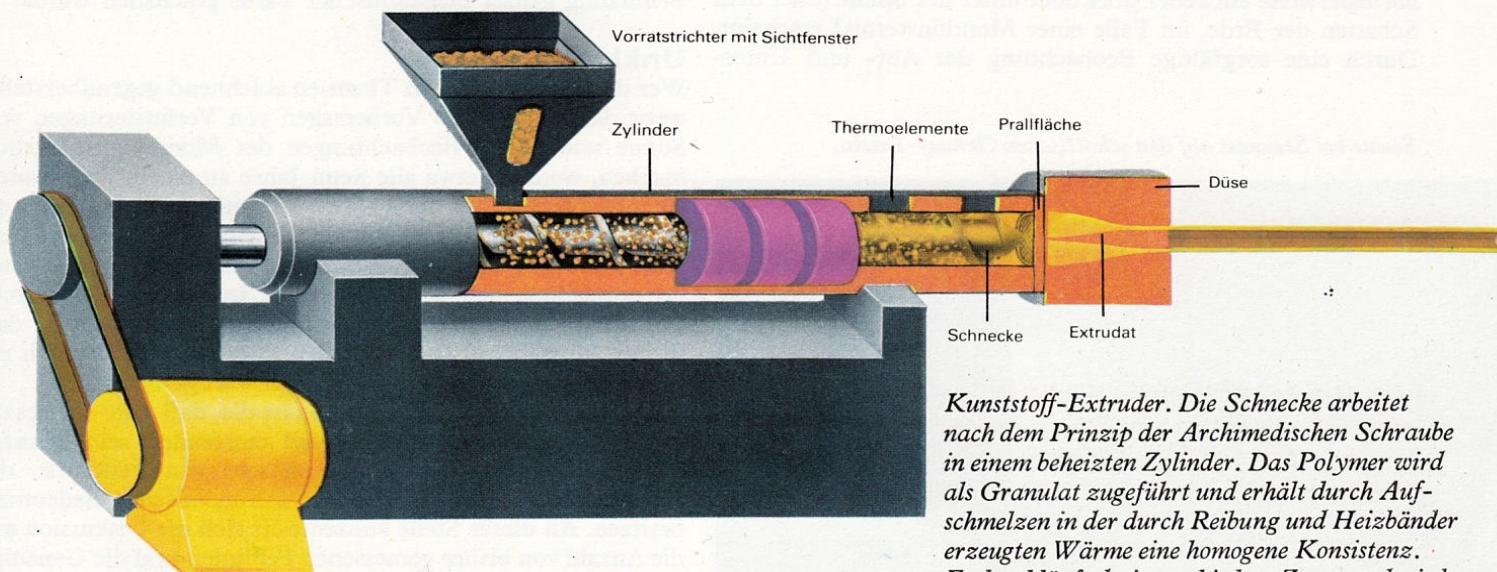
Die dazu verwendeten Maschinen, sogenannte Extruder, müssen in der Lage sein, die Kunststoffmasse aufzuschmelzen und an den profilgebenden Düsen einen Preßdruck in der Größenordnung von mehreren Hundert bar zu erzeugen. Daneben müssen sie Farbstoffe und andere Zusätze, z.B. Verstärkungsmaterialien wie Glasfasern, untermischen. Außerdem müssen sie unbedingt kontinuierlich arbeiten.

Die am weitesten verbreiteten Maschinen dieser Art sind die sogenannten Einschnecken-Extruder. Die Kunststoff-

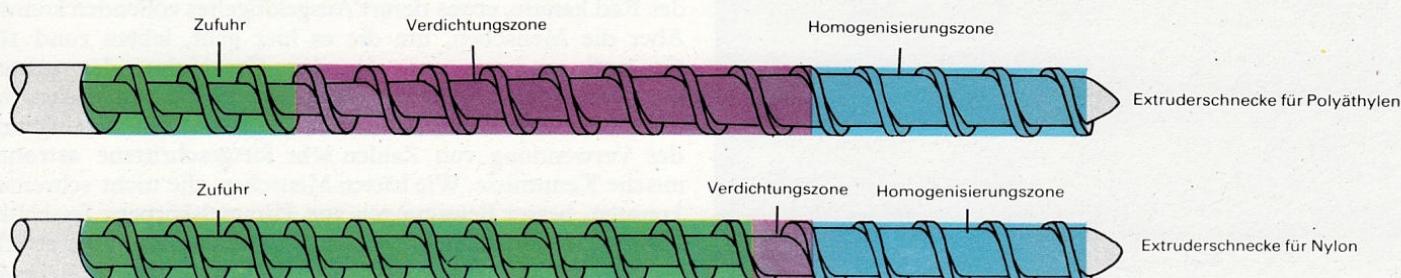
formmasse wird in der Regel als Granulat oder in Pulverform aus einem trichterförmigen Vorratsbehälter einer grob-gängigen Archimedischen Schraube zugeführt, die im Inneren eines elektrisch beheizten Zylinders permanent rotiert.

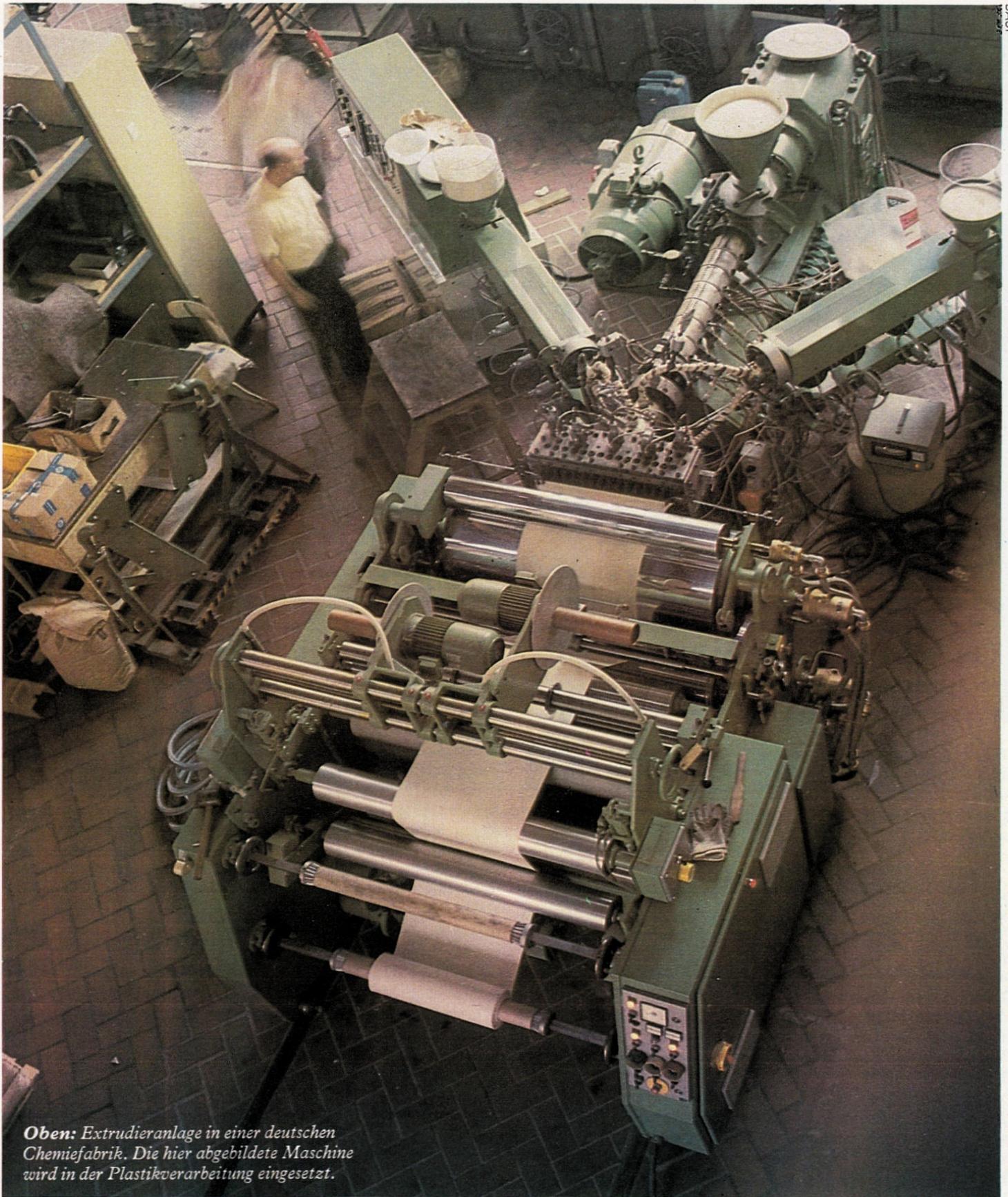
Diese Schnecke hat gewöhnlich drei Zonen mit unterschiedlicher Funktion. Im Bereich der Formmassenzufuhr, wo das noch feste Material aus dem Vorratstrichter transportiert wird, ist der Schneckenkanal relativ groß und gleichmäßig tief. Der darauffolgende Verdichtungsbereich weist eine gleichmäßig abnehmende Kanaltiefe auf und soll das Kunststoffmaterial zusammen- und gegen den beheizten Zylinder pressen, um so den Schmelzprozeß zu unterstützen. Der dritte Abschnitt schließlich, die sogenannte Homogenisierungszone, wo die Schneckenkanaltiefe gleichbleibend und relativ gering ist, dient zur Überwachung des Extrudats hinsichtlich Menge, Gleichmäßigkeit und Homogenität. Die relative Bewegung zwischen Schnecke und Zylinder sorgt für ein wirksames Mischen der nunmehr aufgeschmolzenen Kunststoffmasse und erzeugt zudem die zum eigentlichen Extrudieren erforderlichen Drücke.

Extruder-Schnecken haben Durchmesser zwischen 2 cm und 25 cm; ihr Ausstoß reicht von wenigen Kilogramm bis zu mehreren Tonnen pro Stunde. Zylinder und Schnecken bestehen aus gehärtetem Stahl, um den Verschleiß so gering wie möglich zu halten, da im Interesse eines hohen Wirkungsgrades die Abstände zwischen diesen beiden wesentlichen Teilen sehr klein sein müssen. Die Schnecken laufen normalerweise mit einer Geschwindigkeit von 100 U/min und werden von Elektromotoren über Zwischenvorgelege angetrieben. Eventuell mit der noch festen Formmasse eindringende Luft wird durch das nachfolgende Zusammenpressen ausgetrieben. Manche Kunststoffe enthalten aus dem Polymerisationsprozeß leichtflüchtige Verunreinigungen, wie z.B. nicht umgewandelte Monomere. In diesem Falle verwendet man einen etwas modifizierten Schneckentyp, der auf



Kunststoff-Extruder. Die Schnecke arbeitet nach dem Prinzip der Archimedischen Schraube in einem beheizten Zylinder. Das Polymer wird als Granulat zugeführt und erhält durch Aufschmelzen in der durch Reibung und Heizbänder erzeugten Wärme eine homogene Konsistenz. Es durchläuft drei verschiedene Zonen und wird dann durch die profilgebende Düse am hinteren Ende der Maschine ins Freie gefördert.





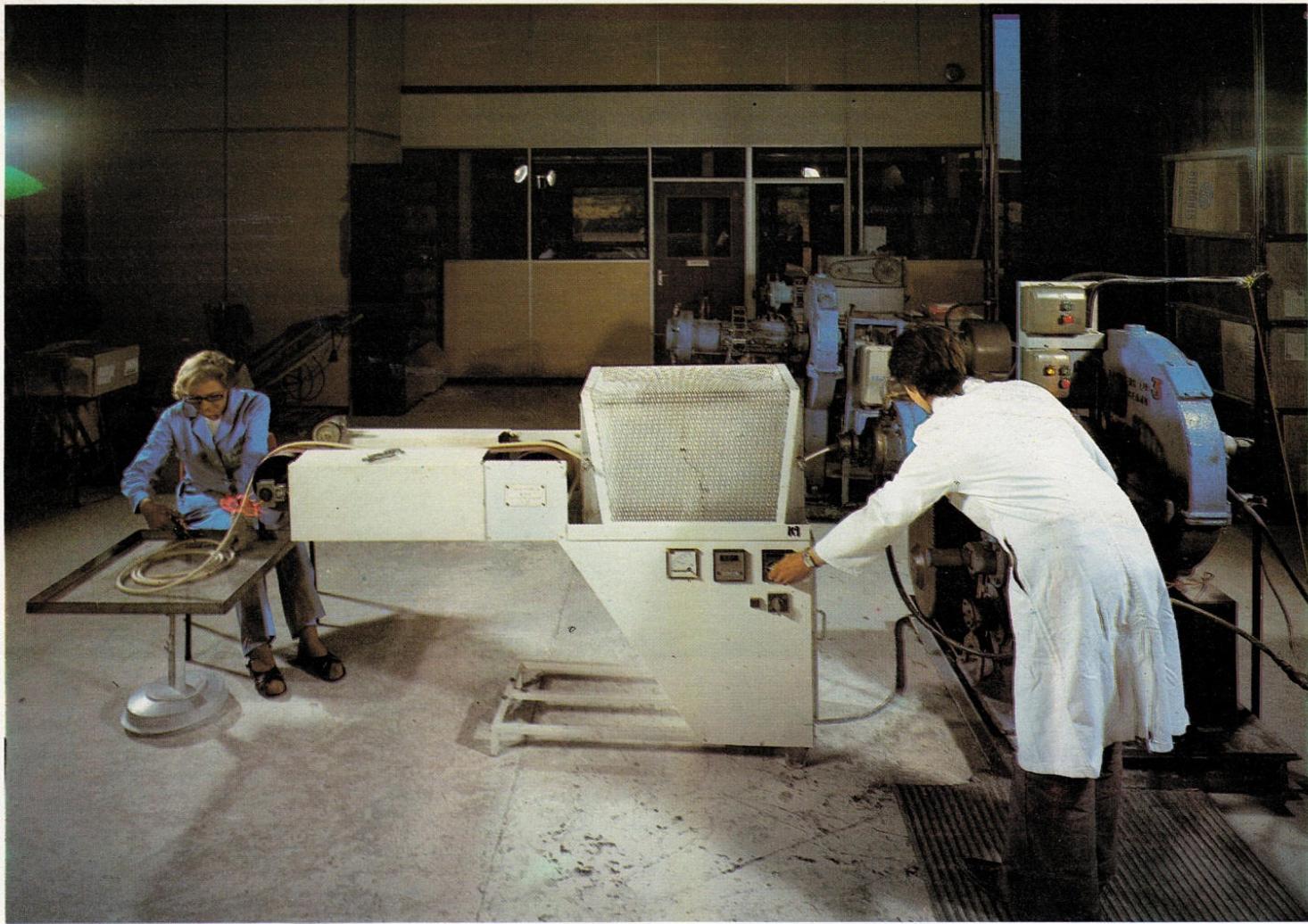
Oben: Extrudieranlage in einer deutschen Chemiefabrik. Die hier abgebildete Maschine wird in der Plastikverarbeitung eingesetzt.

halber Höhe des Zylinders eine Entlüftung aufweist. Feste Verunreinigungen werden normalerweise auf einem zwischen Schnecke und Düse angeordneten Filter abgeschieden.

Daneben bildet der Einschnecken-Extruder die Basis für verschiedene andere Kunststoffverarbeitungsmaschinen, man denke nur an Blasform- und Spritzgußverfahren. Damit wird er zum wichtigsten Einzelbestandteil jedes Maschinenparks in der kunststoffverarbeitenden Industrie.

Metall-Strangpressen

Bei diesem Verfahren wird ein Metallblock (Strangpreßrohling) unter Druck durch eine formgebende Werkzeugöffnung (Matrize) gepreßt, deren Querschnitt erheblich kleiner als der des Blockes ist. Aus dem ursprünglichen Strangpreßverfahren hat sich im Laufe der Zeit eine Vielzahl nur noch lose miteinander verbundener Methoden entwickelt, von denen manche dem Schmieden sehr nahekommen, obwohl



Oben: Siliconkautschuk hat in vielen Anwendungsbereichen den Naturkautschuk verdrängt. Um dem Silikonkautschuk beim Strangpressen die für viele moderne Produkte nötige Qualität zu geben, wird er in Heißluftanlagen (links im Bild zu sehen) ausgehärtet.

sie korrekterweise auch noch als Strangpressen bezeichnet werden müssen. Die wohl bekannteste Methode ist das 'direkte Strangpressen' (Vollstempelverfahren, Vorrwärtspressen). Der zylinderförmige Rohling wird in einen Stahlauflieger gegeben, der ihn fest umschließt. Am vorderen Ende dieses Aufnehmers befindet sich die formgebende Matrize mit einer oder mehreren Öffnungen, die die spätere Form des Extrudats bestimmt und beim konventionellen Vorrwärtsfließpressen in ihrer Lage zum Aufnehmer fixiert ist. Das hintere Ende des Aufnehmers wird von einem Stempel verschlossen, der nach vorne gedrückt wird und so auf den Metallblock den erforderlichen Preßdruck ausübt. Der Werkstoff wird somit nach vorn durch die Matrize gepreßt, während beim 'indirekten Strangpressen' (Rückwärtspressen, Hohlstempelverfahren) die Matrize nicht am Aufnehmer befestigt ist, sondern von dem Stempel in den Metallrohling gepreßt wird.

Das Strangpreßverfahren wurde zuerst zur Herstellung von Bleirohren verwendet. Als das Verfahren dann später auf Metalle mit höheren Schmelzpunkten ausgedehnt wurde, hat man es zu einem Warmumformungsverfahren weiterentwickelt, vermutlich deshalb, weil man der Meinung war, daß härtere Metalle bei Zimmertemperatur nicht ausreichend verformbar wären. So werden Kupferlegierungen heute bei Temperaturen von 700°C bis 900°C verarbeitet, Aluminium-

legierungen bei 400°C bis 550°C. Das Warmfließpressen von Stahl erfordert Temperaturen von 1100°C bis 1200°C, wobei dann die Werkzeuge besonders geschützt werden müssen. Später stellte man fest, daß auch die Kaltfließpreßtechnik bei vielen harten Metallen möglich ist, vorausgesetzt, daß eine geeignete Presse mit ausreichend großer Kapazität zur Verfügung steht. Die Kaltumformung schwierigerer Materialien wird durch hydrostatisches Fließpressen möglich. Bei diesem Verfahren wird der Rohling völlig von einer Flüssigkeit umgeben, die den Stempeldruck hydrostatisch überträgt und gleichzeitig als Gleitmittel dient.

Der erforderliche Preßdruck ergibt sich aus dem Querschnitt des Metallblocks, dem Verformungswiderstand des Werkstoffes und dem Formänderungsverhältnis. Häufig sind große Kräfte erforderlich, weshalb Pressen entwickelt wurden, deren Kapazität bei über 100 t liegt.

Das Formänderungsverhältnis, d.h. der Quotient aus dem Querschnitt des Rohlings und dem des Strangpreßprofils, ist von Werkstoff zu Werkstoff verschieden und kann zwischen 5 und 400 schwanken. Leider ist die bei diesem Verfahren erzielte Verformung nicht immer gleichmäßig auf das Strangpreßprodukt verteilt. Bei der konventionellen Warmumformung entsprechen die ersten 20 cm, die aus der Matrize kommen, in ihrer Beschaffenheit stets dem Rohling und sind somit nicht zu gebrauchen. Auch bei dem restlichen fertigen Formstück ist die Umformung nicht einheitlich, was sich auch auf Struktur und mechanische Eigenschaften auswirkt. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß sich mit seiner Hilfe eine Vielzahl von vollen und hohlen Profilen herstellen läßt — von einfachen runden und rechteckigen Stangen und Drähten bis hin zu komplizierten geometrischen Formen.

STRASSENBahn

Obgleich Straßenbahnen heute in immer stärkerem Maße von vielseitiger einsetzbaren öffentlichen Transportmitteln wie z.B. Nahverkehrsbussen abgelöst werden, waren sie doch in der Mitte dieses Jahrhunderts weit verbreitet.

Die ersten in Bergwerken benutzten Schienenbahnen mit vierrädrigen Karren (Hunde oder Hunde) und aus Holzbalken (Tramen) zusammengefügten Schienen wurden Trambahn genannt. Hieraus entstand das Wort Tram für ein vierrädriges Schienenfahrzeug. Die erste Straßen-Trambahn oder Straßenbahn wurde im Jahre 1832 in New York gebaut. Sie war

1,6 km lang und hieß 'New York and Harlem Railroad'. Bei den Schienenfahrzeugen handelte es sich um zwei von Pferden gezogene Wagen (Pferdebahn), die jeweils 30 Personen befördern konnten.

Der Vorteil der Pferdebahn gegenüber dem Pferdebus bestand darin, daß Stahlräder auf Stahlschienen angenehmere Fahreigenschaften und weniger Reibung bedeuteten. Bei einem auf Schienen rollenden Wagen konnte ein Pferd das Doppelte der auf normaler Fahrbahn gezogenen Last bewältigen. Darüber hinaus waren die Wagen der Pferdebahn mit Bremsen ausgerüstet, während Pferdebusse zum Anhalten des Fahrzeuges noch immer auf das Gewicht der Pferde angewiesen waren. In Europa folgte man dem amerikanischen Beispiel. Im Jahre 1853 wurde in Paris die erste Trambahn



PICTUREPOINT



Oben: Eine im Anhängerbetrieb gefahrene Straßenbahn in Zürich in der Schweiz.

Links: Eine der berühmten Seilbahnen von San Francisco. Ein ortsfest installierter Motor zieht die Wagen mit Hilfe eines Drahtseiles, das in einer unter dem Gleiskörper in der Fahrbahn verlegten Schlitzrohrführung verläuft. Der Bahnwagen wird an das Drahtseil angehängt. Die Straßenbahn von San Francisco ist eine Touristenattraktion.

mit der treffenden Bezeichnung 'die amerikanische Schienenbahn' dem Verkehr übergeben. In Deutschland wurde die erste Pferdebahn im Jahre 1865 in Berlin in Betrieb genommen.

Mit Selbstantrieb ausgerüstete Straßenbahnen

Eine mit Dampfkraft betriebene Straßenbahn wurde im Jahre 1859 in Cincinnati, Ohio, und im Jahre 1873 in London versuchsweise in Betrieb genommen. Die Dampfbahn erwies sich als nicht sehr erfolgreich, da die für Pferdebahnen aus-



PICTUREPOINT

Siemens gebaut und im Jahre 1881 in Lichterfelde bei Berlin in Betrieb genommen) wurde nach dem Prinzip der Stromzuführung durch die Fahrschienen betrieben. Eine in den USA gebaute Variante dieses Prinzips leitet sich von den für die ersten Seilbahnen benutzten Schlitzrohrführungen ab. Jedoch befinden sich statt eines zum Ziehen benutzten Seiles Stromzuführungsschienen in den Schlitzrohrführungen. Die Straßenbahn ist mit einer Unterflur-Stromabnehmer (Unterflaster-Stromabnehmer) genannten Vorrichtung ausgerüstet, die in die Schlitzrohrführung hineinragt. Auf jeder Seite des Unterflur-Stromabnehmers befindet sich ein Kontaktsschlitten, der auf die rechte bzw. linke Schiene drückt. Nach diesem System betriebene Straßenbahnen wurden in der Innenstadt von London, in New York, in Washington und in einigen europäischen Städten benutzt.

Auf der Pariser Weltausstellung von 1881 wurde die erste elektrische Straßenbahn mit Oberleitung (Schlitzrohrfahrleitung) gezeigt. Im Jahre 1882 wurde dann eine elektrische Straßenbahn mit zweidrähtiger Fahrleitung in Betrieb genommen. Elektrische Straßenbahnen mit eindrähtiger Oberleitung und Stromrückführung über die Fahrschienen (Schlitzrohrfahrleitung und Kontaktsschlitten) wurden im Jahre 1884 in Frankfurt (Main) gebaut.

Das Prinzip der Stromabnahme von der Oberleitung (Fahrdrähten) wurde auch bei der im Jahre 1886 in Montgomery, Alabama, in Betrieb genommenen Straßenbahnlinie für die Stromzuführung benutzt. Die umgebauten Pferdebahn-Wagen besaßen auf einer der beiden Plattformen einen Motor, der über einen Kettenantrieb mit einer Achse verbunden war. Zwischen dem Motorwagen und der Oberleitung befand sich ein Stromabnehmer, dessen beide Rollen (Rollenstromabnehmer) auf dem Fahrdrähten liefen. In den USA und in Deutschland wurden auch Versuche nach dem gleichen Prinzip unter Benutzung von vier wagenförmig angeordneten Rollen, die auf zwei Fahrdrähten liefen, durchgeführt.

Zu einem entscheidenden Durchbruch kam es, nachdem Frank J. Sprague, der im Jahre 1883 aus der US-Marine ausgetreten war, um sich eingehender mit dem Einsatz der Elektrizität als Antriebsmittel zu beschäftigen, die 'Union Passenger Railway' in Richmond, Virginia, auf den elektrischen Betrieb umstellte. Dort konstruierte er einen Rollenstromabnehmer, der anstatt auf dem Fahrdrähten unter dem Fahrdrähten geführt werden konnte.

Von diesem im Jahre 1888 erzielten Erfolg leiten sich die Stromabnehmer aller in der Folge gebauten Straßenbahnen der ganzen Welt ab. In Deutschland wurde die erste Straßenbahn mit Fahrdrähten und Rollenstromabnehmer im Jahre 1891 in Halle gebaut.

Der Rollenstromabnehmer wurde von dem im Jahre 1889 von W. Reichel erfundenem Bügelstromabnehmer abgelöst, der in verbesserter Form seit 1895 weitgehend angewendet wird. Moderne Straßenbahnen sind mit einem vom Bügelstromabnehmer abgeleiteten Scherenstromabnehmer ausgerüstet, der durch Federkraft gegen die Unterseite des Fahrdrähtes gedrückt wird.

Straßenbahnen werden von einem sich auf jeder Plattform befindenden Führerplatz aus gefahren. Beim Anlassen der Motoren und Anfahren des Triebwagens wird durch allmähliches Abschalten der Vorwiderstände der Triebwagen beschleunigt. Eine weitere Geschwindigkeitserhöhung kann durch Parallelschaltung von vorwiegend induktiven Widerständen zur Hauptfeldwicklung (Feldschwächung) erreicht werden. Beim Bremsen werden die Motoren ab- und die Hauptfeldwicklung umgeschaltet. Hierdurch kehrt sich die Stromrichtung in den Motoren um; diese wirken als selbsterregte Generatoren auf die Bremswiderstände (Kurzschlußbremse). Das endgültige Abbremsen erfolgt durch eine Hand- oder Fußbremse.

Oben: Eine Doppeldeck-Straßenbahn in Hongkong. Die elektrische Antriebskraft ist umweltfreundlich und ermöglicht einen geräuscharmen Fahrbetrieb. Aus diesem Grunde wird die Straßenbahn trotz ihres Nachteiles, nicht sehr gut manövriertbar zu sein, noch immer in vielen Großstädten eingesetzt.

gelegten Schienen das Gewicht einer Lokomotive nicht tragen konnten.

Die Bemühungen um die Lösung des Gewichtsproblems führten zur Konstruktion von Seilbahnen. An den Endstationen der Betriebsstrecken wurden ortsfeste Dampfmaschinen installiert, die in einer Führung unter der Fahrbahn (Schlitzrohrführung) verlaufende Seile zogen. Von den Wagen der Seilbahn aus, deren Gewicht die Pferdebahnwagen nicht überstieg, wurde eine Anhängevorrichtung am Ende des Seiles, das durch die über die gesamte Strecke verlaufende Schlitzrohrführung gezogen ist, befestigt. Die bekannteste Anwendung von Seilen zum Ziehen von Trambahnwagen war die im Jahre 1873 von Andrew S. Hallidie auf den Hügeln von San Francisco gebaute Seilbahnlinie, die heute noch in Betrieb ist und eine große Attraktion für Touristen darstellt.

Die ideale Energiequelle zum Betrieb von Straßenbahnen war die elektrische Energie, deren Einsatz sich jedoch zu Anfang als problematisch erwies. Die erste elektrische Schienenbahn mit einer kleinen, von Werner Siemens (1816 bis 1892) gebauten Lokomotive wurde im Jahre 1879 auf der Berliner Gewerbeausstellung vorgeführt. Weiterführende Versuche unterblieben jedoch hauptsächlich deshalb, weil die zum Betrieb elektrischer Straßenbahnen erforderlichen Batterien als zu schwer erkannt wurden.

Schon früh experimentierte man mit der Möglichkeit, die vom Kraftwerk gelieferte Elektrizität in eine sich in Bewegung befindende Straßenbahn einzuleiten. Hierfür gab es zwei Möglichkeiten: die Stromzufuhr über die Schienen oder die Aufnahme von Oberleitungsstrom.

Die erste elektrische Straßenbahn der Welt (von Werner

STRASSENBAU

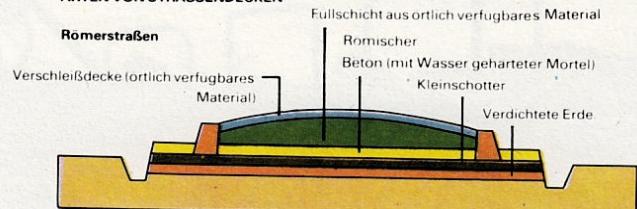
Heute ist ein gut ausgebautes und gut unterhaltenes Straßennetz Teil der Infrastruktur, die eine zivilierte Gesellschaft benötigt.

Die Römer waren erstklassige Baumeister und führten einen großen Teil der Elemente ein, die wir auch im heutigen Straßenbau finden: Eine wirksame Fahrbahnentwässerung, eine gute Gründung, eine gleichmäßige Fahrbahndecke, ein gut geplantes Netz mit günstig gelegenen 'Raststätten' sowie eine regelmäßige Wartung und Unterhaltung. Als Wartung und Unterhaltung in den turbulenten Jahren, die dem Untergang des Römischen Reiches vorangingen, unterblieben, verfielen die Straßen und wurden nicht mehr benutzt.

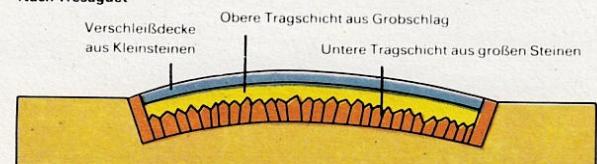
Im Mittelalter wurde der Straßenbau sehr vernachlässigt; während der Renaissance und der großen See- und Entdeckungsreisen erwachte die Reiselust und mit ihr der Wunsch nach besseren Straßen. In Frankreich betrieb Trésaguet (1716 bis 1796) erstmals den Straßenbau nach wissenschaftlichen Grundsätzen. In seine Fußstapfen traten gegen Ende des 18. Jahrhunderts in Großbritannien Telford (1757 bis 1834) und McAdam (1756 bis 1836). Nach letzterem ist übrigens der 'Makadambelag' benannt. Diese drei Ingenieure verbesserten den Stand der Technik erheblich.

ARTEN VON STRASSENDECKEN

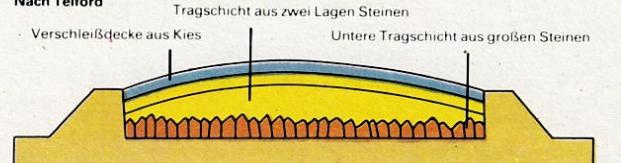
Römerstraßen



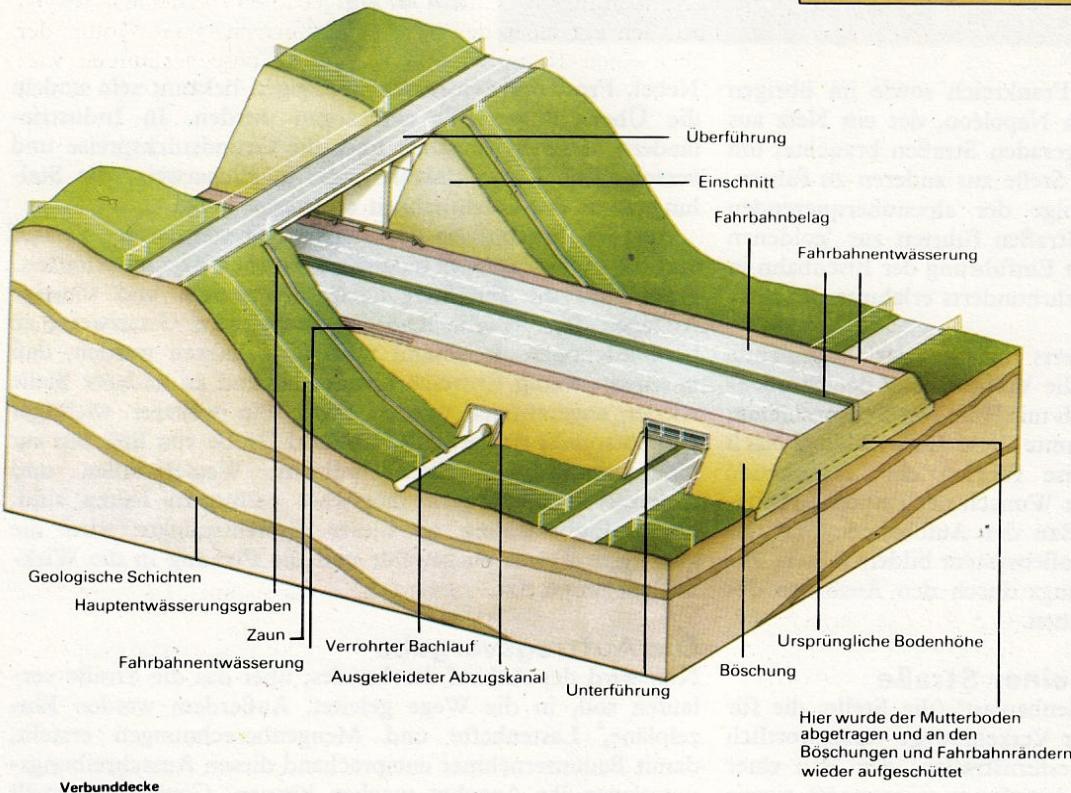
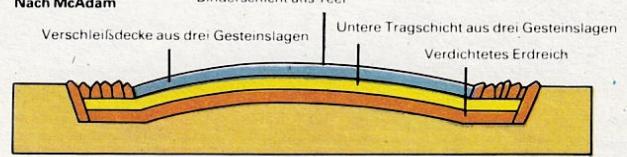
Nach Tresaguet



Nach Telford



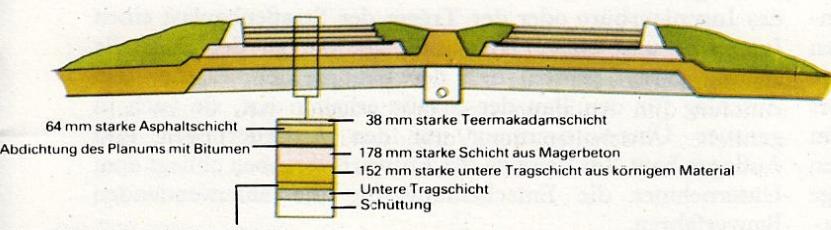
Nach McAdam



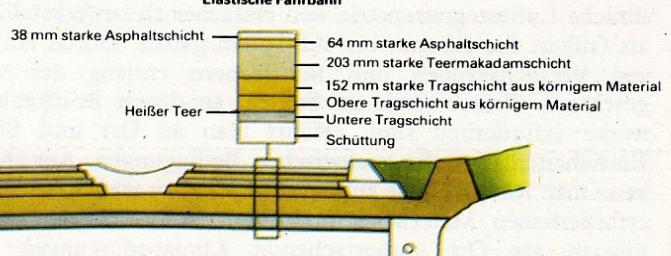
Oben: Diese Schnittbilder zeigen Fahrbahnaufbauten von den Römern bis zur Gegenwart.

Links: Schnitzzeichnung durch einen fertigen Straßenabschnitt mit Böschungen, Überführungen und Entwässerungseinrichtungen. Darunter Querschnitte zweier typischer Fahrbahnanordnungen — links eine Verbundfahrbahn, eine Bauart, die verwendet wird, wo der Untergrund einerseits nicht fest genug ist, um eine 'starre' Fahrbahn aufzunehmen, andererseits aber auch nicht besonderen Veränderungen unterworfen ist. Die Schwarzbelagfahrbahn (ganz unten) hat eine elastische Bauweise, wie sie z.B. in der Überflutungsebene eines Flusses verwendet wird, wo der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens schwankt.

Verbunddecke



Elastische Fahrbahn





Links: Das Aufschütteln von Schotter durch einen Fertiger beim Autobahnbau in der Bundesrepublik Deutschland. Der Fertiger verteilt das Material gleichmäßig.

Rechts: Ein Bulldozer und eine Anzahl von Radschrapfern. Dies sind nur einige der schweren Baumaschinen, die im Straßenbaueinsatz benötigt werden.

Unten rechts: Ein großer Schrapplader. Diese Maschine löst Erdreich und befördert es in dem zwischen den Achsen angebrachten großen Kübel. Beim Vorwärtsfahren wird die offene Schneidkante in das Erdreich gedrückt, wodurch es in den Kübel geschoben wird. Ursprünglich bestand ein Schrapp aus einem auf Rädern angebrachten Sellschrapperkasten, den ein Schlepper hinter sich her zog.

Der Straßenbau erfuhr in Frankreich sowie im übrigen Europa großen Auftrieb durch Napoléon, der ein Netz aus gut instandgehaltenen, schnurgeraden Straßen brauchte, um seine Armeen rasch von einer Stelle zur anderen zu führen. Aus jener Zeit stammen einige der alpenüberquerenden Straßen. Diese verbesserten Straßen führten zur 'goldenene Zeit der Postkutsche', doch mit Einführung der Eisenbahn in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts erlahmte der Eifer der Straßenbauer.

Anfang des 20. Jahrhunderts machte das beginnende Zeitalter des Kraftfahrzeugs die Verbesserung der Straßendecken notwendig. Dies geschah mit Hilfe von Teermakadam, doch der Erste Weltkrieg hemmte diese Entwicklung. Nach Weltkrieg und Wirtschaftskrise führten eine erstarkende Kraftfahrzeugindustrie und der Wunsch nach einem Arbeitsbeschaffungsprogramm zum Bau der Autobahnen, die das erste kreuzungsfreie Schnellstraßensystem bilden sollten. Ihr Weiterbau wurde dann allerdings durch den Ausbruch des Zweiten Weltkrieges unterbrochen.

Entwurf und Planung einer Straße

Sobald der Träger der 'Straßenbaulast' (die Stelle, die für Bau und Unterhalt öffentlicher Verkehrswege verantwortlich ist, z.B. der Bund bei Bundesfernstraßen) den Bau einer neuen Straße beschlossen hat, beauftragt er entweder eigene Ingenieure oder ein Ingenieurbüro, verschiedene Trassenführungen zu vermessen und die Straßenform zu erarbeiten (siehe VERMESSUNGSEWESEN). Für jede der vorgesehenen Trassen müssen Angaben über die jeweilige Höhe des Geländes ermittelt werden; dies ist durch die inzwischen übliche Luftfotogrammetrie weit einfacher zu bewerkstelligen als früher. Sie arbeitet bis auf 15 cm genau. Durch Anlage von Versuchsgruben und Bohrlöchern entlang der vorgesehenen Trasse sowie an Stellen, an denen Brückenbauwerke erforderlich sind, erfährt man an Ort und Stelle Einzelheiten über die geologischen Bedingungen. Aus ihnen kann man Rückschlüsse auf die für Unterbau und Straßenbett erforderlichen Materialien und Bautechniken ziehen. Auch müssen am Ort vorherrschende Klimabedingungen wie

Nebel, Frost und Niederschlagsmengen bekannt sein und in die Überlegungen mit einbezogen werden. In Industrieländern kommen Angaben über die Grundstückspreise und verschiedene Umweltfaktoren, die möglicherweise die Stellungnahme der Öffentlichkeit erfordern, hinzu.

Aus den Ergebnissen der Trassierung werden der Verlauf und die Höhenlage der möglichen Straßenführung ermittelt. Dazu sind die für Steigungen, Sichtweiten und sonstige Auflagen der Verkehrsbehörden festgelegten Grenzwerte zu berücksichtigen. Insgesamt muß so verfahren werden, daß möglichst wenig Erdreich abgetragen und an anderer Stelle wieder angeschüttet werden muß. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist der, daß Zahl und Größe von Brücken zur Überquerung von Eisenbahnlinien, Wasserstraßen und anderen Verkehrswegen möglichst gering zu halten sind. Unter Einbeziehung all dieser Gesichtspunkte wird die günstigste Trasse ausgewählt und die Planung in die Wirklichkeit umgesetzt.

Die Auftragsvergabe

Nun wird der Ankauf des Landes, über das die Straße verlaufen soll, in die Wege geleitet. Außerdem werden Einzelpläne, Lastenhefte und Mengenberechnungen erstellt, damit Bauunternehmer entsprechend diesen Ausschreibungsunterlagen ihr Angebot machen können. Gewöhnlich stellt das Ingenieurbüro oder der Träger der Straßenbaulast einen Ingenieur und einige Hilfskräfte ab, die an der Baustelle ständig darauf achten, daß der Bauunternehmer, der den Zuschlag für den Bau der Straße erhalten hat, sie auch in genauer Übereinstimmung mit den Anforderungen und Auflagen baut. Im Rahmen der Entwurfsvorgaben obliegt dem Unternehmer die Entscheidung für die anzuwendenden Bauverfahren.

Einzäunen und Herrichten der Baustelle

Wenn die Straßenbaukolonne anrückt, muß als erstes das vorgesehene Gelände von allen Hindernissen befreit und überall dort, wo Tiere freien Zugang zur Baustelle haben, eingezäunt werden. Bäume werden gefällt, Felsen und Baum-



stümpfe mit Bulldozern geräumt oder, wenn nötig, gesprengt. Es kann auch erforderlich sein, Behelfstransportstraßen (z.B. Stichstraßen) bzw. dort, wo Brückenbauten vorgesehen sind, Behelfsbrücken zu bauen oder Furten anzulegen.

Entwässerung bei den Erdarbeiten

Böschungen und Straßenuntergrund müssen vor der Einwirkung des Grundwassers, unter der sie einbrechen könnten, geschützt werden. Daher wird vor Beginn der Erdarbeiten ein Entwässerungssystem über die gesamte Länge der neuen Straße angelegt, damit das durch natürliche Bodenentwässerung anfallende Wasser nicht in das Erdreich dringt, auf dem die Arbeiten vonstatten gehen. Gewöhnlich legt man dazu mit Hilfe eines hydraulischen Baggers mit einem entsprechend geformten Schürfkübel Sammelgräben an. Am tiefsten Punkt des natürlichen Gefälles wird das in ihnen

fließende Wasser durch Abzüge abgeleitet, die in Betonröhren die Straße unterqueren. Auf der gegenüberliegenden Seite kann das Wasser dann durch bestehende Gräben oder Bäche abfließen.

Erdarbeiten

Als erstes wird der Mutterboden abgehoben und aufbewahrt. Er dient später als Deck- und Humusschicht bei Einschnitten und Böschungen. Diese Arbeit wird im Normalfalle von einer Schürffraupe durchgeführt. Darauf folgt die Hauptarbeit: Das Erdreich muß abgetragen und der Unterbau hergestellt werden. Diese Arbeit führen gummibereifte Schürfkübelwagen oder Radschranner aus. Sie verfügen über einen oder auch zwei Antriebsmotoren und haben eine waagerecht angeordnete Schaufel, die jeweils etwas Erdreich löst und es in einen an der Maschine angebrachten Behälter lädt. Ist dieser Behälter voll, — er kann bei einigen Maschinen bis zu 40 m^3 aufnehmen — wird die Schaufel gehoben, und die Maschine fährt an die Abladestelle. Vor allem beim Abtragen von hartem Untergrund muß eine Schürgang-Schubmaschine den Radschranner unterstützen. Sie schiebt ihn bei der Schürfgutaufnahme, um den Vorgang zu beschleunigen. Bei bestimmten Materialien wie z.B. Kreide, die unter der Einwirkung von Regen aufweichen können, oder wenn der Aushub über Entfernungen von mehr als 3 km transportiert werden muß, werden auch Hochbagger für die Erdarbeiten eingesetzt. Sie laden den Aushub auf Lastwagen, die mit einer Kippeinrichtung ausgerüstet sind (Baustellenkipper). Trifft man auf Felsformationen, müssen sie gesprengt werden. Anschließend laden Hochbagger das Gestein auf Kipper.

Auf der Fläche des späteren Straßenbettes verteilen Schranner die Erde in einer dünnen Schicht von etwa 30 cm. Sie wird von Bulldozern eingeebnet und anschließend von Raupenschleppern mit angehängten Walzen oder auch von selbstfahrenden Walzen, die rascher arbeiten, verdichtet. Es ist von wesentlicher Bedeutung, daß die übereinanderliegenden Schichten des Straßenuntergrundes gleichmäßig verdichtet sind, damit die Straße einen tragfähigen Unterbau bekommt. Auch das unvermeidliche 'Setzen' des Untergrundes wird auf ein Mindestmaß verringert, was Schäden verhindert und einem zu hohen Wartungsaufwand an der fertigen Straße vorbeugt.

Entwässerung der Straße

Nach Beendigung der Erdarbeiten werden weitere flache Gräben von etwa einem Meter Tiefe gezogen, damit die oberste Schicht des Unterbaus oder von Böschungen nicht dem Einfluß von Wasser ausgesetzt wird, was sie schwächen würde. In diese Gräben werden Leitungsrohre gelegt, dann werden sie mit Kies aufgefüllt. In oder nahe den Gräben werden weitere Leitungen verlegt, die das Wasser aufnehmen sollen, das später durch Regeneinläufe (Gullies) von der Oberfläche der fertigen Straße abfließt.

Bau der Fahrbahn

Die Fertigstellung der Brückenbauten muß so geplant werden, daß über sie fahrende oder unter ihnen bestehende Straßen umgeleitet werden können, bevor die Fahrbahndecke auf die neue Straße aufgebracht wird. Bei der Herstellung der Fahrbahndecke wird zuerst die oberste Erdschicht, das Planum, mit einem Schranner oder einem Straßenplanierer auf 5 cm genau nivelliert. Der Straßenplanierer ist eine auf Rädern fahrende Baumaschine mit einem Planierschild, der waagerecht zwischen den vier Rädern angebracht ist. Der Fahrer kann ihn mit großer Genauigkeit heben, senken und kippen, womit sich eine 'feinbearbeitete' Oberfläche erzielen läßt.

Nun wird das Planum mit einer im allgemeinen etwa 30 cm

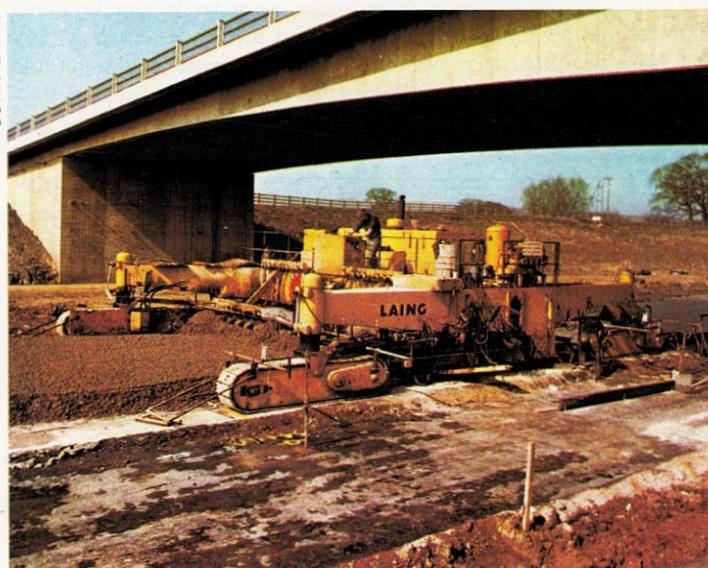


Unten: Einbau einer Beton-Fahrbahndecke mit einer Gleitschalung. Die (hier nicht zu sehende) erste Maschine im Einbauzug verteilt den Beton auf der oberen Tragschicht; die zweite (in diesem Bild zu sehende) Maschine verdichtet ihn dann zu einer festen Betonplatte.

Rechts: Aufbringen der Verschleißdecke aus Rollsplitt auf die Decke einer elastischen Fahrbahn. Die Verschleißdecke stellt zugleich die eigentliche Fahrbahnoberfläche dar.

Rechts unten: Aufbringen einer rutschfesten Straßendecke. Zuerst wird die Straße mit einer Binderschicht aus Bitumen und Epoxydharz bedeckt. Wenn der Binder sich auf die Temperatur der Straßenoberfläche abgekühlt hat, kommt ein Zuschlag aus gebranntem Bauxit darauf.

JOHN LAING



starken oberen Tragschicht bedeckt, die die Tragfähigkeit der Straße verbessern soll. Wenn der Boden sich dafür eignet und andere Materialien schwer erhältlich sind, kann man auch in die oberste Erdschicht eine bestimmte Menge Trockenzement geben. Das Ganze wird dann mit Wasser befeuchtet, so daß die Schicht aushärten kann. Man spricht bei diesem Verfahren von Bodenvermörtelung.

Im Anschluß an die obere Tragschicht wird die Decke aufgebracht. Sie besteht entweder aus Beton oder aus Schwarzbelagmaterial wie z.B. Teer-Bitumen.

Straßen mit Schwarzbelag

Bitumen und Gesteinsmaterial werden erhitzt und in einer Baustellen-Mischlanze gemischt. Im heißen Zustand transportiert sie dann ein Lkw an Ort und Stelle. Die Mischung wird in eine Schwarzbelageinbaumaschine gegossen, die daraus eine völlig ebene Schicht von 6 cm bis 7 cm Dicke macht. Sie wird mit Straßenwalzen verdichtet, damit eine feste Oberfläche entsteht. Von der Genauigkeit, mit der die einzelnen Schichten — bis hin zur Verschleißschicht oder Decklage (meist aus Asphalt) — hergestellt werden, hängt die Gleichmäßigkeit der Straßenoberfläche ab. Die Gesamtstärke des Schwarzbelages beträgt etwa 30 cm. Zur Verbesserung der Rutschfestigkeit wird Rollsplitt über die Decklage verteilt und in noch heißem Zustand eingewalzt.

Betonstraßen

Soll die Decke aus Beton bestehen, handelt es sich im Normalfalle um eine Betonplatte von etwa 25 cm Stärke. Das genaue Maß hängt davon ab, ob es sich um Stahlbeton handelt oder nicht. Damit der Beton sich ausdehnen und zusammenziehen kann, sind in Abständen von jeweils 5 m Dehnfugen vorgesehen. Gewöhnlich wird der Beton in eine Straßenbau- oder Seitenschalung gegossen, die ihm bis zum Erstarren seitlichen



ASPHALT & COATED MACADAM ASS



REDLAND

Halt verleiht. Dies geschieht durch einen Betondecken-Einbauzug. Er besteht aus einer Reihe von Maschinen, die auf Schienen laufen, welche ihrerseits auf der Schalung angebracht sind. Die Schalung und damit die Schienen liegen genau ausgerichtet bis weit vor dem Zug und bestimmen damit die Ebenheit der Straßenoberfläche. Die erste Maschine des Zuges ist ein pneumatischer Betonförderer. Er übernimmt den Beton von einem Spezial-Lkw, bringt ihn in die Schalung und verteilt ihn darin. In der Schalung wird die Masse verdichtet und durch aufeinanderfolgende Maschinen (Nivellierglätter) lagegenau geglättet. Um dem Beton eine rutschfeste Oberfläche zu verleihen, bearbeitet man ihn in nassem Zustand mit Bürsten oder rauht ihn auf andere Weise auf. In diesem Stadium werden auch Aussparungen für Fahrbahnreflektoren (KATZENAUGEN) angebracht.

Gleitschalungsbau

Seit einigen Jahren arbeitet man auch mit dem Gleitschalungsbau. Hier 'wandert' die Schalung, die Bestandteil der Deckeneinbaumaschine ist, mit der Maschine über die Länge der Baustelle. Auf diese Weise erspart man sich das lästige Anbringen und Abnehmen von Schalungen über große Strecken. Bei diesem Verfahren wird der Frischbeton mit einer weit stärkeren Vibration als beim herkömmlichen Deckeneinbauzug verdichtet. Er behält daher seine Form ohne zusätzliche Unterstützung auch dann, wenn die etwa 5 m lange Gleitschalung bereits weitergezogen ist. Mit Hilfe elektronischer oder hydraulischer Fühler sorgt diese Maschine auch für die Lagegenauigkeit der Oberfläche. Die Fühler folgen Schnurmarkierungen, die zu beiden Seiten entlang der Fahrbahn angebracht sind; auf diese Weise können sie höhen- und richtungsgenau arbeiten. Mit dieser Art von Deckeneinbaumaschine lassen sich 2 m Betondecke pro Minute herstellen.

Erfindungen 51: DIE DAMPF-MASCHINE VON JAMES WATT

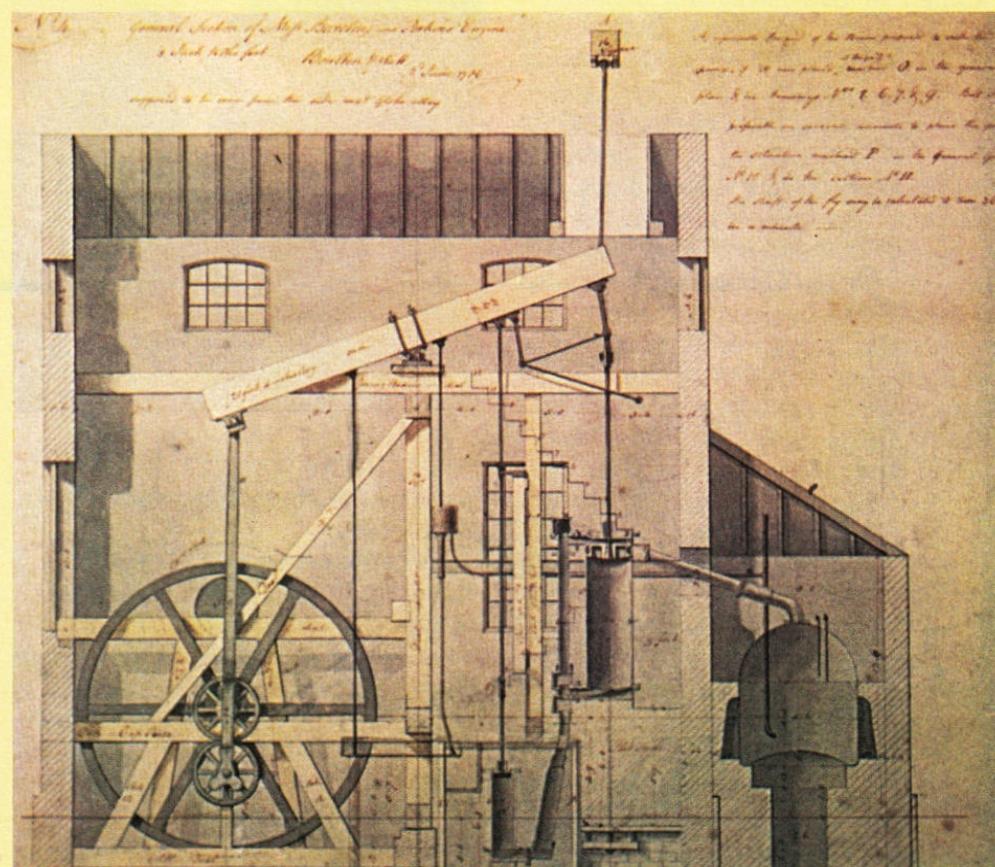
Von James Watt (1736 bis 1819) wird die Anekdote erzählt, daß ihm die Idee zu einer Dampfmaschine kam, als er das Abheben des Deckels in einem brodelnden Wasserkessel sah. Er ist aber nicht der Erfinder der Dampfmaschine. Hingegen kam Watt während eines Sonntagnachmittagspaziergangs auf dem 'Glasgow Green' im Mai 1765 die Idee, wie man die Dampfmaschine verbessern könnte. Kurz zuvor hatte Watt an der Universität Glasgow eine Newcomensche Dampfmaschine reparieren müssen.

Getrenntes Kondensationsgefäß

Die Dampfmaschinen von Newcomen (1663 bis 1729) dienten seit etwa 50 Jahren dazu, Wasser aus Kohlebergwerken zu pumpen. Wasserdampf, der in einem Zylinder einen Kolben hochtrieb, wurde kondensiert. Durch das entstehende Teilvakuum fiel der Kolben durch den von außen wirkenden Luftdruck wieder herunter. Die mit dem Kolben verbundene Pumpenstange wurde beim Herabfallen des Kolbens hochgezogen. Watt erkannte, daß viel Energie vergeudet wurde, indem man dem Zylinder Wärme in Form von Wasserdampf, den man anschließend kondensierte, zuführte. Seine Idee war, den Dampf in einem getrennten, geschlossenen Gefäß, das über ein Ventil mit dem Zylinder verbunden war, kondensieren zu lassen. Dies war der Gedanke, der Watt während seines Spaziergangs gekommen war. Er baute ein Modell und ließ sich das vom Zylinder unabhängige Kondensationsgefäß im Jahre 1769 patentieren. Es vergingen jedoch noch einige Jahre, bis eine verwertbare Dampfmaschine verkauft werden konnte.

Watt und Boulton

Watts erste Dampfmaschine wurde in Schottland im 'Kinneil House' bei Bo'ness gebaut. Sie zeigte noch nicht den erwarteten Erfolg. Im Jahre 1773 erwarb der Kaufmann M. Boulton einen Anteil an Watts Patent, womit eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Watt und Boulton begann. Watt siedelte mit seiner bisher gebauten Dampfmaschine nach Birmingham über. Hier löste er verschiedene



Oben: Watts doppelwirkende Dampfmaschine von 1786. Sie hatte Planetengetriebe und einen getrennten Kondensationsbehälter.

Unten: Diese von Watt entwickelte Dampfmaschine wurde 1777 bei Birmingham aufgestellt. Sie blieb 121 Jahre in Betrieb.

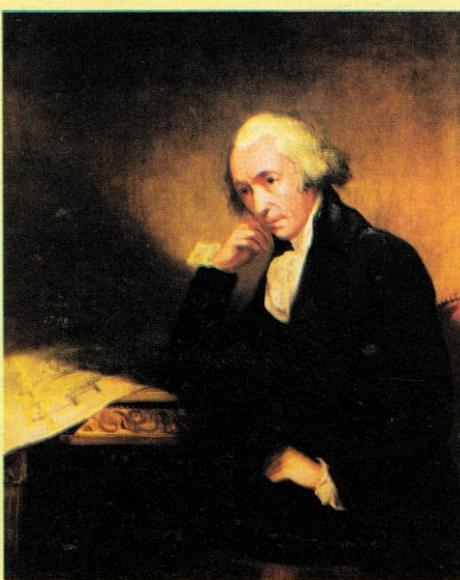


Probleme, die seine Dampfmaschine noch aufwarf. Im Jahre 1776 konnten die ersten Dampfmaschinen an Kunden geliefert werden.

Diese Dampfmaschinen ähnelten den Newcomenschen Dampfmaschinen und wurden ebenfalls zum Antrieb von Pumpen eingesetzt. Der Kolben in dem senkrecht stehenden Zylinder war über eine Stange mit einem schwingenden Balken, der in der Mitte gestützt wurde, verbunden. Bei einem Arbeitshub wurde ein Ende des Balkens nach unten gezogen. Hierdurch ging das andere Ende des Balkens, das über Stangen mit der Pumpe verbunden war, nach oben. Da das Gewicht der Stangen größer als das Gewicht des Kolbens war, kehrte der Kolben nach einem Arbeitshub wieder in seine Ausgangsstellung zurück. Die von Watt entworfenen Maschinen wiesen gegenüber den Newcomenschen Dampfmaschinen zwei wesentliche Verbesserungen auf. Sie hatten ein getrenntes Kondensiergefäß, d.h. der Dampf wurde nicht mehr im Zylinder selbst kondensiert. Auch schloß Watt den Zylinder oben ab und benutzte Niederdruckdampf statt kalter Luft, um den Kolben nach unten zu treiben. Eine der ersten von Boulton und Watt installierten Dampfmaschinen hatte im Gegensatz zu der Austauschmaschine mit zwei Dampfkesseln nur noch einen Dampfkessel.

Rotierende Dampfmaschine

In den achtziger Jahren des 18. Jahrhunderts nahm die industrielle Revolu-



tion ihren Aufschwung. Viele Betriebe verlangten von den Dampfmaschinen größere Leistung. Boulton erkannte die Zeichen der Zeit und veranlaßte Watt, eine Vorrichtung zu konstruieren, die die Linearbewegung des Schwinghebels in eine Drehbewegung umwandeln konnte. Die von Watt längst erkannte naheliegende Lösung, eine Kurbel zu verwenden, konnte nicht realisiert werden; ein konkurrierendes Unternehmen hatte sich diese Idee bereits patentieren lassen. Watt hatte den genialen Gedanken, ein sogenanntes Planetengetriebe zu verwenden. Hierdurch konnte gegenüber dem Kurbelprinzip die Antriebsgeschwindigkeit verdoppelt werden. Die mit Planetengetrieben ausgestatteten Maschinen waren damals ein großer Erfolg; sie liefen jedoch unrund.

Oben: James Watt (1736–1819) gilt als einer der größten britischen Ingenieure.

Unten: Während seiner schöpferischen Erholungspausen arbeitete Watt in der Dachkammer seines Betriebes in Heathfield, Birmingham. Neben anderen Dingen hatte er Interesse am Modellieren von Maschinen. Unterhalb der Büsten auf dem Tisch ist das Originalmodell des getrennten Kondensationsbehälters zu sehen.

Doppelwirkende Dampfmaschine

Watt entschloß sich, zwei sich auf- und abwärts bewegende Kolben zu benutzen.

Seine erste doppelwirkende Dampfmaschine wurde im Jahre 1783 vorgestellt. Sie lief weicher als ihre Vorgängermodelle und entwickelte die doppelte Leistung. Da ein aufwärtswirkender Arbeitshub es unmöglich machte, eine Kette zwischen Kolbenstange und Balken anzubringen, verwendete Watt eine dem Pantographen entlehnte Konstruktion.

