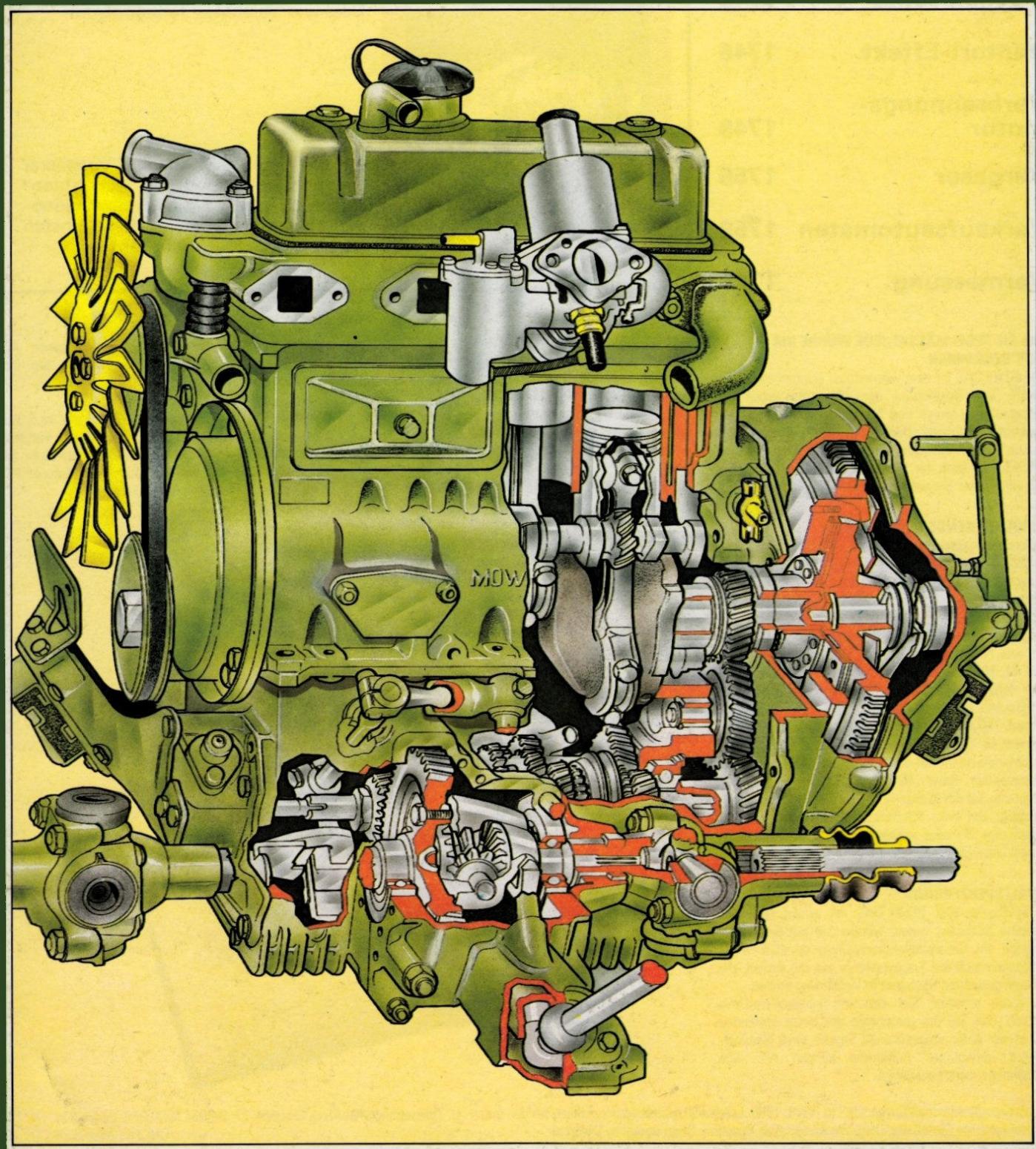


HEFT 63 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK OS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Uran	1737
Vakuum	1740
Ventil, mechanisches	1743
Venturi-Effekt	1746
Verbrennungs- motor	1749
Vergaser	1755
Verkaufautomaten	1759
Vermessung	1761

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDO 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.

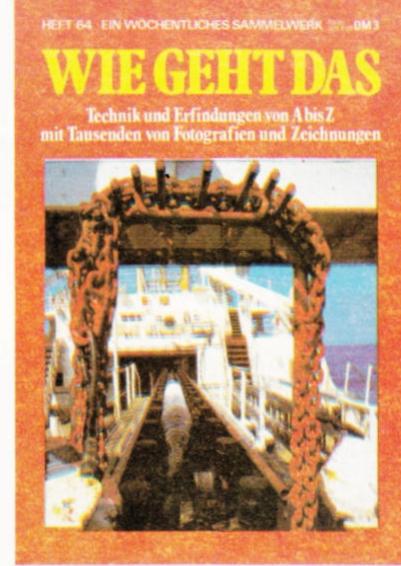
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

**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 64 von Wie Geht Das



Die wohl bekannteste Art von Verstärkern wird in HiFi-Anlagen verwendet. Es gibt jedoch viele andere Verwendungsmöglichkeiten, z.B. in Telefonnetzen und in Radargeräten. Erfahren Sie in Heft 64 von Wie Geht Das, wie Verstärker funktionieren.

Ein weiteres Gerät, in dem Verstärker Anwendung finden, ist der Video-Recorder. Lesen Sie alles über Video-Aufzeichnungsgeräte in der nächsten Ausgabe 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 Ordner verfügen, das Ihnen dauerhaft Freude bereitet und Wissen vermittelt.

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

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

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

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

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

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



## URAN

**Noch nahezu 150 Jahre nach seiner Entdeckung hatte Uran keine praktische Bedeutung für die Industrie. Erst nachdem man vor etwa 40 Jahren die Kernspaltung kennenlernte, wurde Uran eines der wichtigsten Rohstoffe.**

Uran wurde im Jahre 1789 von dem deutschen Chemiker M. H. Klaproth (1743 bis 1817) in Uranpechblende, die aus der Nähe von Joachimsthal (Tschechoslowakei) stammte, entdeckt. Man verwendete Uranverbindungen wegen ihrer tiefen und verschiedenartigen Farben bei der Herstellung keramischer Glasuren. Später wurde aus der Uranpechblende Radium gewonnen. Danach war Uran nur noch deswegen interessant, weil es das höchste Atomgewicht (238) und die höchste Atomnummer (92) aller natürlich vorkommenden Elemente hat. Im Jahre 1897 bemerkte H. Becquerel (1852 bis 1908), daß Uranverbindungen Fotoplatten selbst dann schwarz färben, wenn sie in Papier eingewickelt sind. Dies war die erste Beobachtung der Radioaktivität. Heute hat Uran als Kernbrennstoff elementare Bedeutung erlangt.

### Vorkommen und Gewinnung

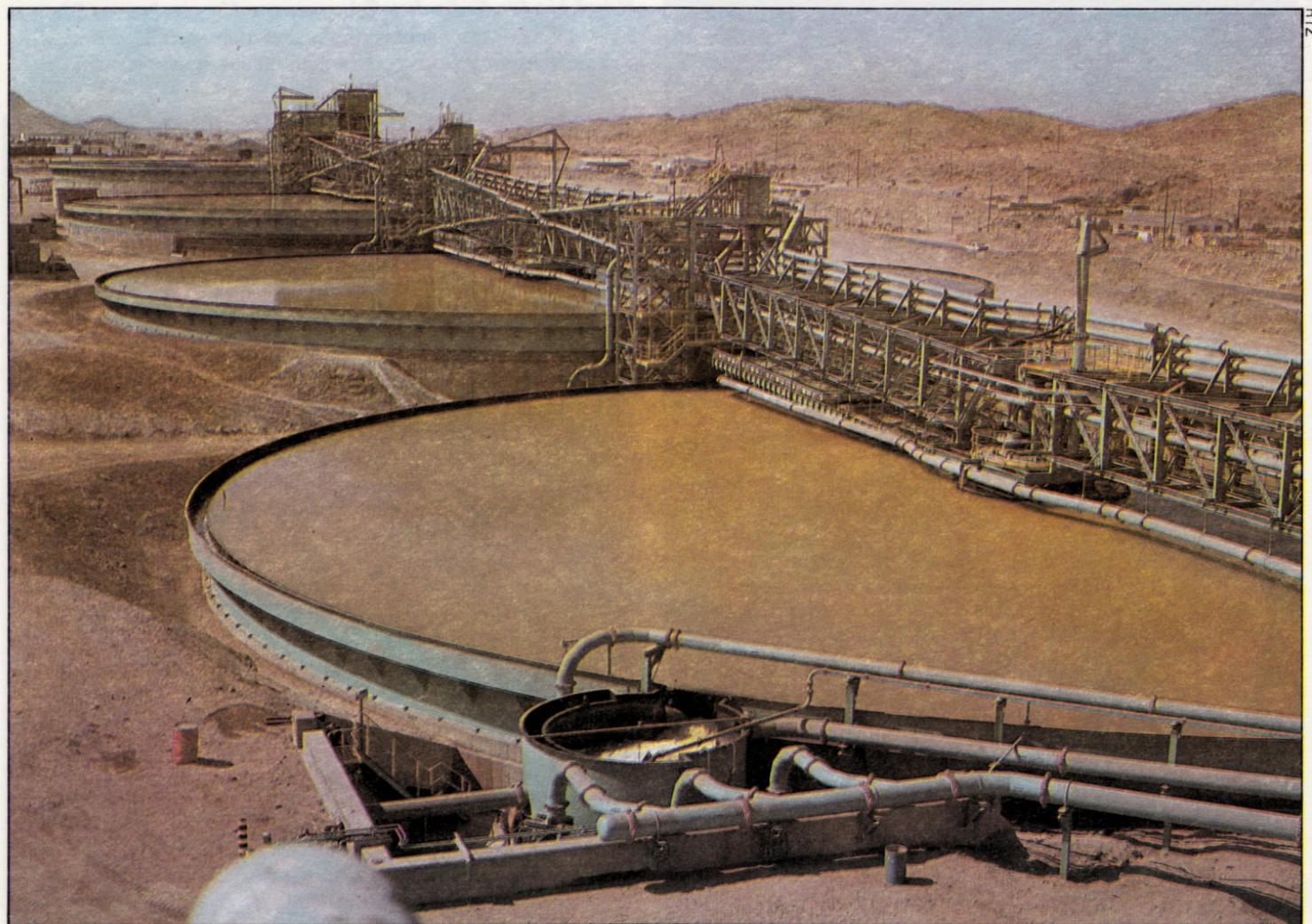
Die reichsten Uranerzvorkommen wurden in Zaire (Afrika) gefunden. Im Jahre 1939 wurde das Uranerz vorwiegend zur Gewinnung von Radium abgebaut. Weitere Länder, in denen Uranerze abgebaut werden, sind Kanada, Australien, einige südamerikanische Staaten und verschiedene europäische Länder. Uranreserven können auch in Sedimentgesteinen gefunden werden, die jedoch nur 0,02% bis 4% Uran enthalten. Große Lager dieser Sedimentgesteine findet man in

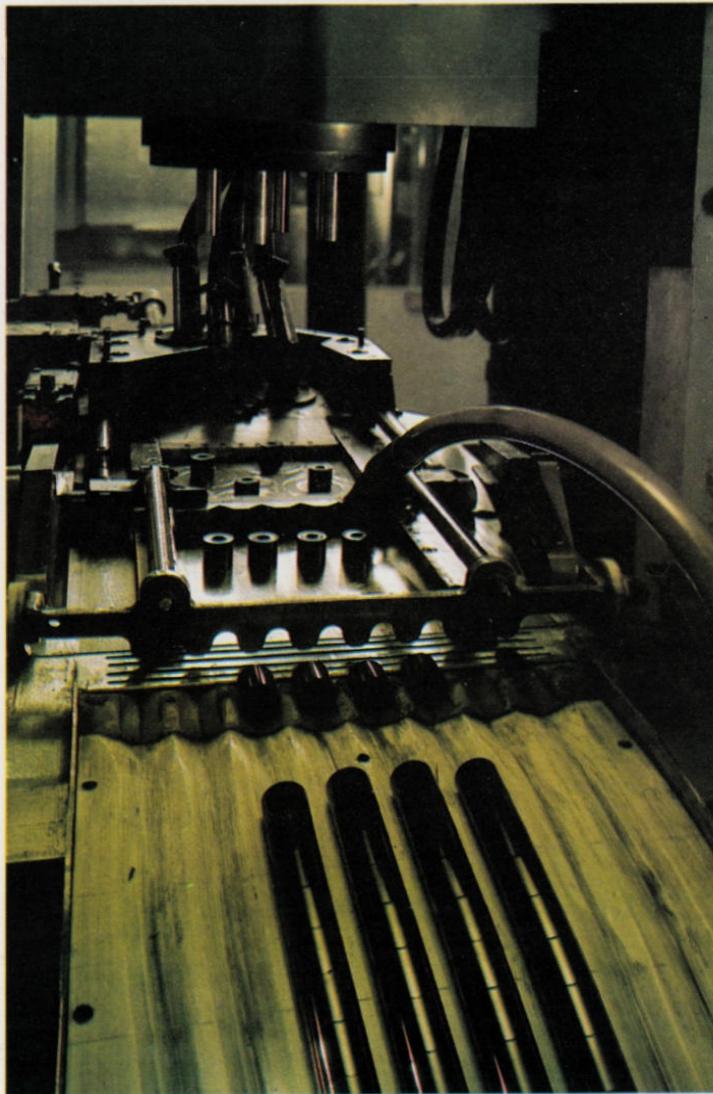
den USA und in Kanada. In Südafrika tritt Uran in Verbindung mit Gold auf. Es wird entweder aus dem Abraum oder durch unmittelbaren Abbau gewonnen.

Uran tritt immer in Verbindung mit seinen radioaktiven Tochterprodukten auf. Deshalb kann man mit Hilfe von Gammastrahlendetektoren (z.B. Geiger-Müller-Zählrohr) Uranfelder sowohl aus der Luft wie auch am Boden ausfindig machen.

Hat man ein Uranfeld entdeckt und seinen Urangehalt bestimmt, kann das Uranerz im Tage- oder Untertagebau gewonnen werden. Besonders beim Untertagebau müssen Vorröhungen getroffen werden, daß kein radioaktiver Staub oder radioaktive Gase von den Arbeitern eingeatmet werden. Die Radioaktivität von Uran selbst ist so gering, daß keine gesundheitlichen Schäden auftreten können. Das gewonnene Uranerz wird aussortiert und zerkleinert. Mit Hilfe starker Säuren oder Basen wird Uran aus seinem Erz herausgelöst, gefiltert und durch Fällung oder über Ionenaustauscher gewonnen. Der 'gelbe Kuchen' enthält bis zu 50% Uranoxid. Er wird an Raffinerien versendet, um dort zu Kernbrennstoff verarbeitet zu werden. Das dort gewonnene Uran muß extrem rein sein. Schon kleinste Verunreinigungen können bewirken, daß zu viele Neutronen absorbiert werden und somit der Kernreaktor nicht arbeiten kann. Der 'gelbe Kuchen' wird in Salpetersäure gelöst und wiederholt mit einem organischen Lösungsgemisch wie z.B. Tri-n-butylphosphat

**Unten:** Teilansicht der Uranabbauanlage des Rössing-Uranfeldes in Namibia. Diese Anlage produziert 'gelben Kuchen', indem oxidiertes Erz in Schwefelsäure aufgelöst und diese Lösung mit Ammoniakgas behandelt wird.





und Kerosin behandelt. Hierbei wird Uranylnitrat herausgelöst; Verunreinigungen bleiben in der sauren Lösung zurück. Das reine Uranylnitrat wird in Wasser gelöst und anschließend durch Ausfällen als Ammoniumdiuranat und durch Erhitzen oder durch direktes Erhitzen in Uran (VI)-oxid ( $\text{UO}_3$ ) übergeführt. Durch weiteres Erhitzen des Uran(VI)-oxids in Verbindung mit Wasserstoff erhält man schließlich reines Uran(IV)-oxid ( $\text{UO}_2$ ), das in Tablettenform und in Schutzbehälter aus Zirconlegierungen oder nichtrostendem Stahl verpackt wird. Für die englischen 'Mugnox'-Reaktoren, die derzeit 10% des elektrischen Energiebedarfes Englands decken, wird  $\text{UO}_2$  mit Hydrogenfluorid-Dampf (HF) in der Hitze in Uran(IV)-fluorid ( $\text{UF}_4$ , 'grünes Salz') überführt, das bei der Reaktion mit Calcium oder Magnesium in metallisches Uran übergeht. Von diesem Uran werden Stäbe hergestellt, die in Behältern aus Magnesiumlegierungen untergebracht werden. Die Behälter dienen als Schutz gegen Gase und Flüssigkeiten, die die entstandene Wärme zu den Turbinen befördern und verhindern, daß Spaltprodukte ins Freie gelangen können. Manchmal werden die Behälteroberflächen gerippt ausgeführt, um die Wärmeübertragung zu optimieren.

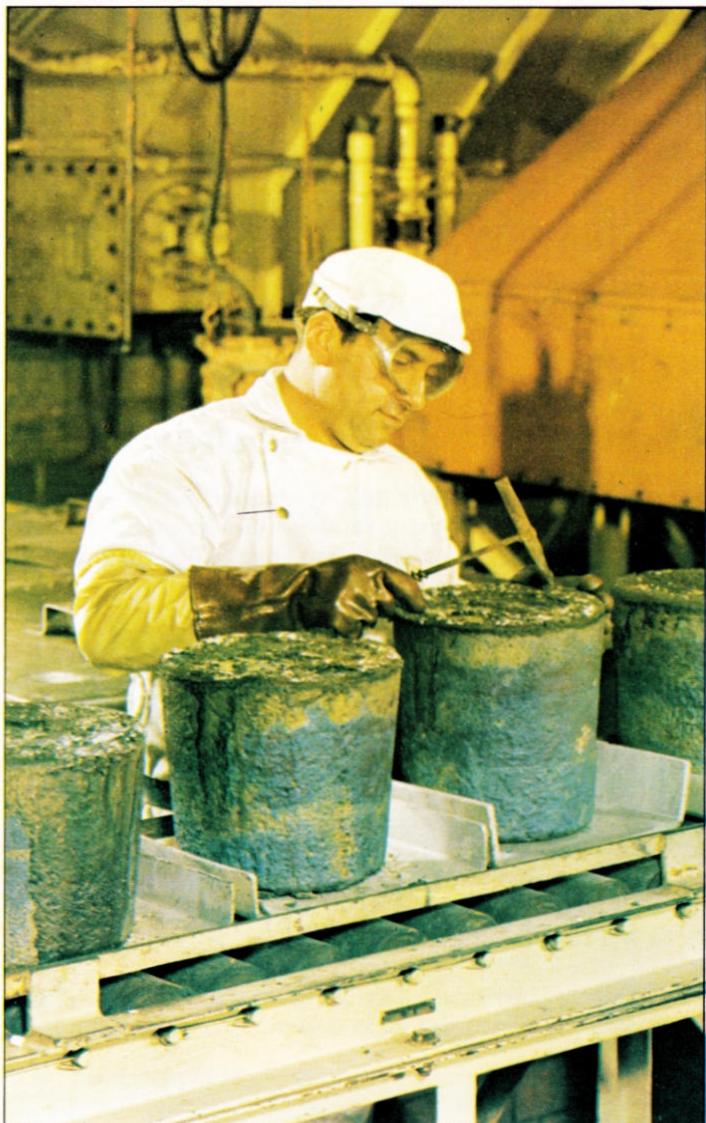
#### Kerneigenschaften

Uran kommt hauptsächlich in den Isotopen Uran-238 (99,27%) und Uran-235 (0,73%) vor. Beide Isotope haben sehr lange

**Links:** Die letzte Trocknungsstufe bei der Herstellung von reinem Uranylnitrat. Schutzkleidung und ein spezieller Kopfschutz schützen den Arbeiter vor feinen Teilchen oder Staub.

**Unten links:** Die Herstellung von Uranoxid-Brennstoff-Kügelchen für die Spaltstoffelemente von Kernreaktoren. Die kleinen Kugeln werden in rostfreie Stahlrohre gefüllt, die schließlich zu Brennstoffelementen zusammengesetzt werden.





**Oben:** Barren aus Uran werden gereinigt. Nach der chemischen Reinigung werden Rückstände von Hand entfernt. Das Metall wird zur Herstellung von Kernbrennstoffen verwendet oder in Uran(VI)-Fluorid zur Anreicherung von Uran-235 überführt.

**Links:** Uran-Minerale haben eine typische Grün- oder Gelbfärbung. Kupferuranit (ganz unten) ist ein Uran/Kupfer-Phosphat. Autunit (Mitte) ist ein Uran/Calcium-Phosphat.

**Rechts:** Durch Anwendung rotierender Trommelfilter wird 'gelber Kuchen' (Ammoniumdiuranat) gewonnen. Vor dem Verladen aus dem Uranbergwerk wird der gelbe Kuchen geröstet, um fest zu werden. In dieser Form enthält er einen hohen Prozenzatz an Uran-VI-oxid.

Halbwertzeiten (etwa 1 Milliarde Jahre) und emittieren  $\alpha$ -Teilchen (Heliumkerne). Dies führt zu radioaktiven Zerfallsreihen, die bei dem nichtradioaktiven Blei enden. Uran-235 ist das einzige natürlich vorkommende Element, das durch ein niederenergetisches Neutron gespalten werden kann. Hierbei werden weitere Neutronen freigesetzt, die zu einer Kernkettenreaktion führen, bei der extrem hohe Energie Mengen in Form von Wärmeenergie entstehen. Uran-238 wird durch ein Neutron nicht gespalten. Wird es aber von einem Neutron getroffen, können radioaktive Umwandlungen stattfinden, die zu dem synthetischen Element Plutonium führen, das wiederum durch Neutronen gespalten werden kann. Deshalb kann man neben Uran-235 auch Plutonium als Kernbrennstoff verwenden.

### Isotopenanreicherung

Die meisten Kernreaktoren auf der Erde benötigen eine größere Uran-235-Konzentration als die in der Natur vorkommenden 0,73% Uran-238. Um eine Uran-235-Anreicherung zu erhalten, lässt man gasförmiges Uran(VI)-fluorid ( $\text{UF}_6$ ) durch poröse Membranen so lange diffundieren, bis sich das leichtere Uranisotop auf etwa 1,5% bis 2,5% angereichert hat. Dieses Verfahren ist sehr teuer (teure Ausrüstung und hoher Stromverbrauch). Deshalb wurden zur Anreicherung von Uran-235 billigere Verfahren ersonnen: Man zentrifugiert das Gas. Nach der Anreicherung wird das Uran(VI)-fluorid durch Erhitzen mit HF-Dampf wieder in Uran(IV)-oxid übergeführt. Das Rückstandsmaterial enthält vorwiegend Uran-238, das in Plutonium überführt werden kann. Plutonium ist der Brennstoff für den sich in Entwicklung befindenden 'schnellen Brüter'. Das Uran-238-Metall ('industrielles Uran') wird wegen seiner hohen Dichte (es ist 19mal dichter als Wasser) manchmal als Gewicht für Gyroskop e und als Gegengewicht verwendet, oder man setzt es als Schutzschild bei hochenergetischen Röntgen- oder Gammastrahlen ein. Es wird auch zur Herstellung von einigen speziellen Legierungen herangezogen. Uranverbindungen sind wegen ihrer Farbeffekte Bestandteil von keramischen Glasuren.



# V

## VAKUUM

**Ein Vakuum trifft man in Fernsehröhren, Röntgenröhren, Thermosflaschen oder auch in wissenschaftlichen Geräten wie Teilchenbeschleunigern an.**

Von Vakuum spricht man, wenn der Gasdruck in einem Gefäß kleiner als der Atmosphärendruck ist. Der Bereich des Vakuums umfaßt Drucke von  $1/75$  bar bis zu mehreren Milliardstel bar. Man kennt verschiedene Vakuummeßgeräte. Das erste Meßgerät dürfte das Quecksilberbarometer gewesen sein, bei dem die Höhe der Quecksilbersäule über den entsprechenden Druck Auskunft gab. Als Einheit des Druckes verwendete man früher das 'Torr'. Der Normaldruck betrug 760 Torr; er entsprach genau der Höhe der Quecksilbersäule von 760 mm. In das moderne SI (Système International) hat

**Unten:** Das Versilbern von Reflektoren von Autolampen wird durch Vakumbeschichtung in Kammern wie dieser ausgeführt. Die Heizdrähte, auf denen sich das Beschichtungsmaterial befindet, sind in der Mitte zu sehen.

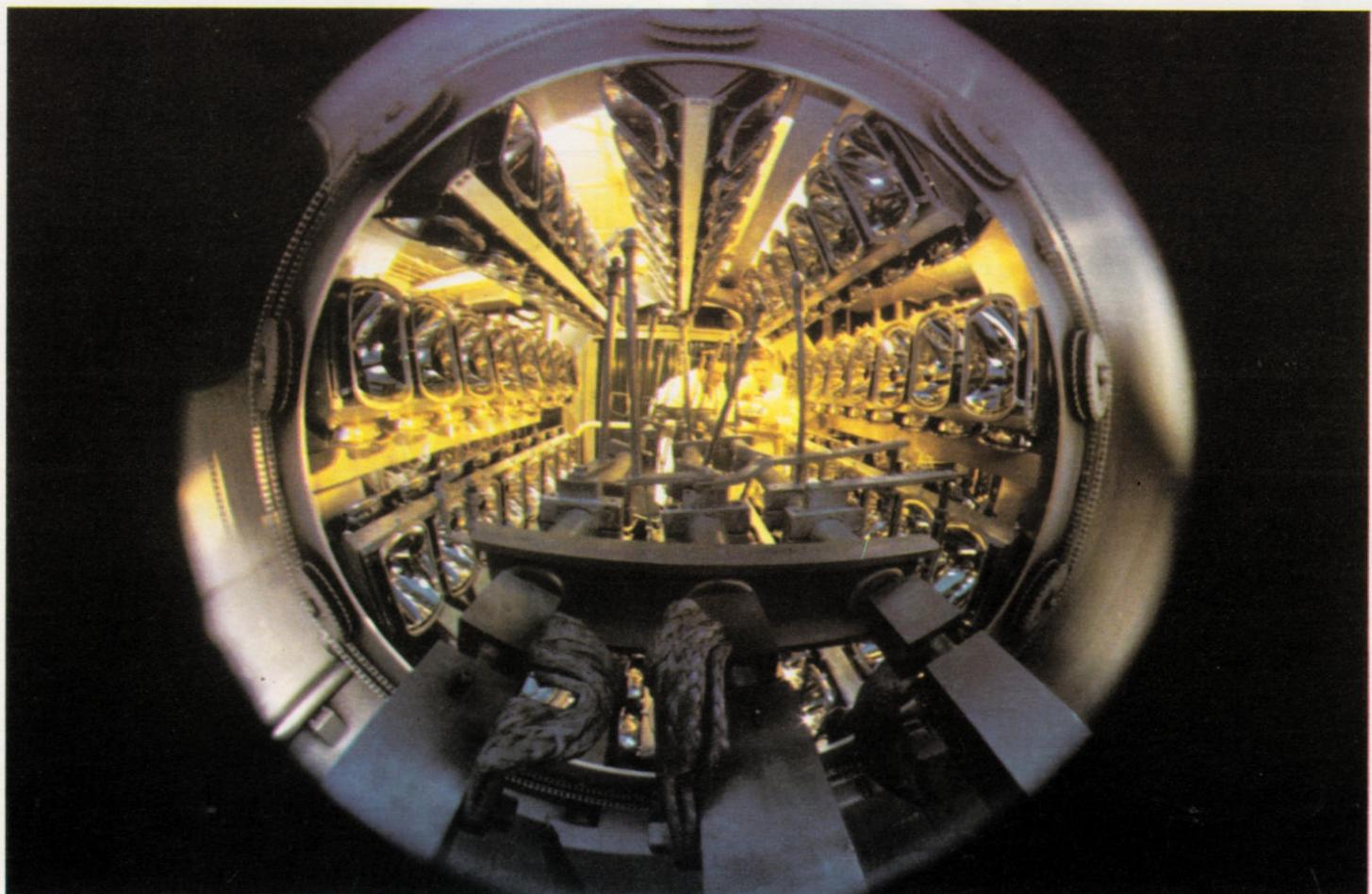
das 'Pascal' ( $\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ) oder das 'bar' als Druckeinheit Eingang gefunden. 1 Torr entspricht 133,32 Pa oder  $1,333 \cdot 10^{-3}$  bar.

Um ein Vakuum zu erhalten, verwendet man sogenannte Vakuumpumpen. Man kennt im wesentlichen zwei Pumpentypen: den Drehkolbenverdichter (Drehkolbenpumpe) und die Diffusionspumpe.

### Drehkolbenverdichter

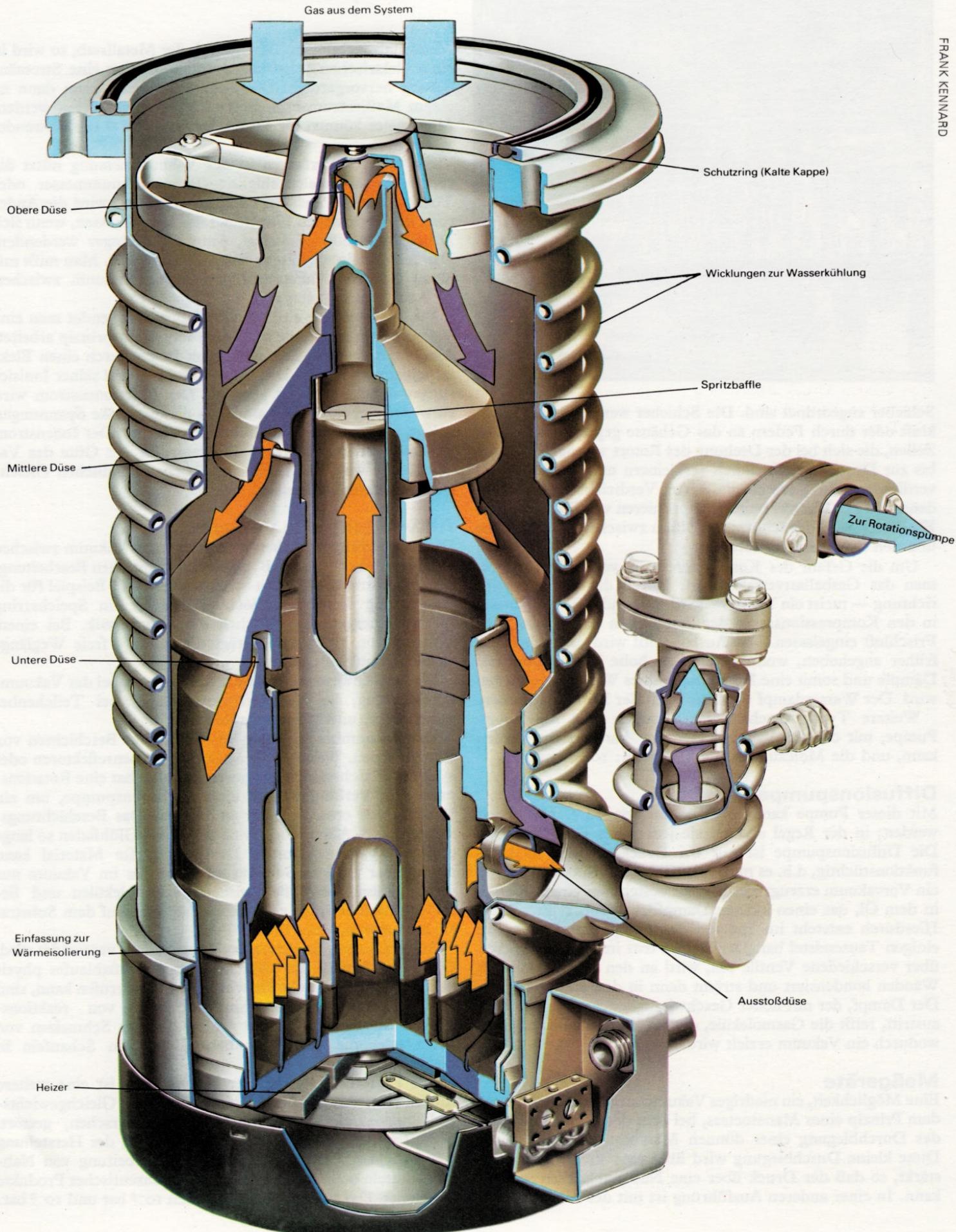
Die Pumpe wird zur Herstellung eines Zwischenvakuums herangezogen. Ihre Funktion beruht darauf, daß eine Luftmenge so lange zusammengedrückt wird, bis der Luftdruck so hoch geworden ist, daß ein Ausgangsventil geöffnet werden kann. Reicht der durch die erste Pumpe erzeugte Druck nicht aus, wird die Luft mit Hilfe einer zweiten Pumpe nachverdichtet, bis ein Druck erreicht wird, der etwas über dem Atmosphärendruck liegt. Mit einem Verdichter kann ein Vakuum von  $5 \cdot 10^{-5}$  bar ( $10^{-5} = 1$  Hunderttausendstel) erzielt werden. Mit einem zweistufigen Verdichter werden bis zu  $5 \cdot 10^{-6}$  bar ( $10^{-6} = 1$  Millionstel) erreicht.

Ein häufig benutzter Drehkolbenverdichter hat einen exzentrisch gelagerten Rotor, in dessen radialen Einschnitten



*Das Innere einer Diffusionspumpe. Die Diffusionspumpe arbeitet bei geringen Gasdrücken, bei denen die Gasmoleküle selten zusammenstoßen. Die Pumpenflüssigkeit (hier Öl) siedet bei niedrigen Temperaturen und tritt aus den unteren Düsen*

*als Dampfvorhang aus, wodurch alle Moleküle des Gases eingefangen werden. Der Dampfstrom drückt das Gas zusammen, das dann von einer Rotationspumpe abgesaugt wird. Der Dampfdruck des Öls erhöht sich bei jedem Absaugen.*





*Abdichten eines Vakuums in einer Röhre. Diese Ampullen, die ein radioaktives Material enthalten, sind an einen Vakuumverteiler angeschlossen. Läßt man auf den Ampullenhals eine Flamme einwirken, erwärmt das Glas; es wird zusammengedrückt und dichtet auf diese Weise ab.*

Metallstab verbunden. Bewegt sich der Metallstab, so wird in einer elektrischen Schaltung durch Induktion eine Stromänderung hervorgerufen. Diese Stromänderung kann dann an einem Meßinstrument analog oder digital abgelesen werden. Manometer können für Drücke bis etwa  $10^{-3}$  bar verwendet werden.

Ein anderes Verfahren in der Vakuummessung nützt die spezifische Wärmeleitfähigkeit (Pirani-Vakuummesser oder Thermoelement) aus. Bei diesen Meßgeräten wird die Änderung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit gemessen, wenn sich Druck im Meßkopf ändert, denn bei geringer werdendem Druck sinkt die spezifische Wärmeleitfähigkeit. Man mißt mit dieser Art von Vakuummeßgeräten ein Vakuum zwischen  $10^{-2}$  bar und  $10^{-6}$  bar aus.

Für die Messung eines Hochvakuums verwendet man eine Vakuum-Meßröhre, die nach dem Ionisationsprinzip arbeitet. Man weiß, daß die Erzeugung von Ionen durch einen Elektronenstrom von dem Druck des Restgases und seiner Ionisierungswahrscheinlichkeit abhängt. Der Elektronenstrom wird entweder von einer Kaltkatode, an die man hohe Spannungen anlegt, oder durch einen Glühdraht erhalten. Der Ionenstrom ist dann ein unmittelbarer Indikator für die Güte des Vakuums. Er wird mit Hilfe eines hochempfindlichen Gleichstromverstärkers gemessen.

### Anwendung des Vakuums

Die Anwendungen reichen vom schwachen Vakuum zwischen  $10^{-2}$  bar und  $10^{-1}$  bar (z.B. bei der mechanischen Bearbeitung) bis zum Ultrahochvakuum von  $10^{-13}$  bar. Ein Beispiel für die Anwendung dieses Ultrahochvakuums ist ein Speicherring für hochenergetische Teilchen der Kernphysik. Bei einem Vakuum von  $10^{-13}$  bar beträgt die mittlere freie Weglänge eines Luftmoleküls 500 km.

Weitere Anwendungen findet das Vakuum bei der Vakumbeschichtung, bei der Gefriertrocknung, bei Teilchenbeschleunigern und in Fernsehröhren.

Die Vakumbeschichtung wird z.B. zum Beschichten von Kameralinsen, Wasserhähnen, Deckenlampenreflektoren oder auch für Flaschendeckel angewendet. Man hat eine Rotationspumpe in Verbindung mit einer Diffusionspumpe, um ein Vakuum von etwa  $10^{-8}$  bar zu erhalten. Das Beschichtungsmaterial, z.B. Aluminium, wird auf einem Glühfaden so lange erhitzt, bis es verdampft. Das verdampfte Material kann unmittelbar zu dem Substrat wandern. Da im Vakuum nur wenige Zusammenstöße zwischen Luftmolekülen und Beschichtungsmolekülen auftreten, erhält man auf dem Substrat einen sauberen, einheitlichen Film.

Anwendungen, bei denen das Vakuum dazu verwendet wird, Gas zu entfernen, das während eines Prozeßablaufes physikalische oder chemische Einwirkungen hervorrufen kann, sind Hochtemperatur-Vakuumschmelzverfahren von reaktionsfähigen Materialien. Hierzu gehört z.B. das Schmelzen von Titan oder die Oberflächenbehandlung von Schaufeln in Strahltriebwerken.

Das Entfernen von Wasser aus Material ist eine weitere Anwendung des Vakuums; hierbei werden Gleichgewichtsverhältnisse, die bei Raumtemperatur herrschen, gestört. Diese sogenannte Gefriertrocknung wird bei der Herstellung von löslichem Pulverkaffee, bei der Verarbeitung von Nahrungsmitteln oder zur Herstellung pharmazeutischer Produkte verwendet. Das Vakuum liegt zwischen  $10^{-4}$  bar und  $10^{-2}$  bar.

Schieber angeordnet sind. Die Schieber werden durch Fliehkraft oder durch Federn an das Gehäuse gepreßt und bilden Zellen, die sich bei der Drehung des Rotors von der Langseite bis zur Druckseite allmählich verkleinern und somit das Gas verdichten. Ein Nachteil dieser Art Verdichter ist die Kondensation des Wassers beim Komprimieren von Wasserdampf. Hierdurch wird der schützende Ölfilm zwischen dem Gehäuse und den Schiebern zerstört.

Um die Gefahr des Kondensierens zu vermeiden, wendet man das Gasballastverfahren an. Durch die Gasballasteinrichtung — meist ein Ventil — wird während der Verdichtung in den Kompressionsraum der Pumpe von außen zusätzlich Frischluft eingelassen. Das Auslaßventil wird dadurch schon früher angehoben, wodurch eine zu hohe Verdichtung der Dämpfe und somit eine Kondensation des Wassers vermieden wird. Der Wasserdampf wird dann mit der Luft ausgestoßen.

Weitere Typen mechanischer Pumpen sind die Roots-Pumpe, mit der ein Vakuum von  $10^{-7}$  bar erreicht werden kann, und die Molekularpumpe (Vakuum:  $10^{-12}$  bar).

### Diffusionspumpe

Mit dieser Pumpe kann ein Vakuum von  $10^{-15}$  bar erzielt werden; in der Regel arbeitet sie jedoch bis etwa  $10^{-9}$  bar. Die Diffusionspumpe ist nur bei Drucken unter  $10^{-4}$  bar funktionstüchtig, d.h. es muß mit Hilfe einer Rotationspumpe ein Vakuum erzeugt werden. Sie besteht aus einem Kessel, in dem Öl, das einen kleinen Dampfdruck hat, erhitzt wird. Hierdurch entsteht im Inneren der Pumpe ein Druck von einigen Tausendstel bar. Der Dampf tritt im Pumpeninneren über verschiedene Ventile aus, wird an den wassergekühlten Wänden kondensiert und strömt dann in den Kessel zurück. Der Dampf, der mit hoher Geschwindigkeit aus den Ventilen austritt, reißt die Gasmoleküle, die am Eintritt anliegen, mit, wodurch ein Vakuum erzielt wird.

### Meßgeräte

Eine Möglichkeit, ein niedriges Vakuum zu messen, beruht auf dem Prinzip eines Manometers, bei dem der Druck mit Hilfe der Durchbiegung einer dünnen Membran bestimmt wird. Diese kleine Durchbiegung wird über eine Vorrichtung verstärkt, so daß der Druck über eine Nadel abgelesen werden kann. In einer anderen Ausführung ist mit der Membran ein

## VENTIL, MECHANISCHES

Ein allgemein bekanntes Beispiel für ein mechanisches Ventil ist der gewöhnliche Wasserhahn. Ventile findet man überall, wo Flüssigkeiten oder Gase durch Rohre fließen und auf ihrem Weg beeinflußt werden sollen.

Mechanische Ventile sind Absperr- und Regelorgane zur Kontrolle des Druckes oder der Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr oder zwischen verschiedenen Teilen einer Maschine. Es gibt selbsttätige Ventile, z.B. solche, die sich öffnen, wenn ein bestimmter Druck überschritten wird, wobei eine Feder nachgibt, und von Hand oder über eine äußere Steuerung bediente Ventile, z.B. Absperrhähne. Der Durchsatz einer Flüssigkeit oder eines Gases kann fest vorgegeben sein, wie z.B. in den Kapillarrohren eines Kühlenschrankes. Ein mechanisches Ventil mit beweglichen Teilen ist jedoch immer dann erforderlich, wenn man den Durchsatz beeinflussen will. Neben den einfachen Funktionen des Öffnens und Schließen erreicht man damit auch variable Durchflußmengen und wiederholbare Operationen (über einen Zeitschalter).

Streng genommen sind Ventile von 'Hähnen', 'Schiebern' und 'Klappen' zu unterscheiden, aber die Übergänge sind fließend.

Ein echtes Ventil besitzt einen beweglichen 'Absperrkörper', der beim Schließen auf einen festen, eingebauten 'Ventilsitz' aufsetzt. Nach dieser Definition ist der verbreitete Wasserhahn tatsächlich ein Ventil.

### Haupttypen

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Ventiltypen und fast ebenso viele Bezeichnungen — je nach Aufgabe, Strömungsmedium und mechanischem Konstruktionsprinzip. Ganz grob kann man Ventile in drei große Klassen unterteilen, die ihren Aufgaben entsprechen: Druckregelung, Stromregelung und logische Funktionen in der FLUIDIK.

Ventile zur Druckregelung sind Zweiwegeventile, die normalerweise entweder offen oder geschlossen sind. Dazwischen können sie je nach Durchsatz oder Druckunterschied verschiedene Positionen einnehmen. Ein gutes Beispiel ist ein Überdruckventil, das durch eine Feder oder ein Gewicht geschlossen gehalten wird. Wenn der Druck (z.B. in einem Dampfkessel oder einer hydraulischen Anlage) einen gegebenen festen Wert überschreitet, öffnet sich das Ventil, bis der Drucküberschuß abgebaut ist.

Ein anderes Beispiel aus dieser Gruppe ist das Nadelventil, bei dem eine kegelförmig zugespitzte Nadel genau in einen konischen Ventilsitz paßt. Je nach seiner Öffnung tritt mehr oder weniger Flüssigkeit oder Gas durch den Spalt zwischen Nadel und Ventilsitz. Nadelventile werden zur Feinregulierung benutzt, beispielsweise bei Heizkörpern von Zentralheizungssystemen.

Stromventile sind Mehrwegeventile mit einem Eingang und mehreren Ausgängen, die eine Strömung umlenken oder aufteilen. An einer Rohrverzweigung kann z.B. eine schwenkbare Klappe die Strömung in verschiedene Richtungen lenken.

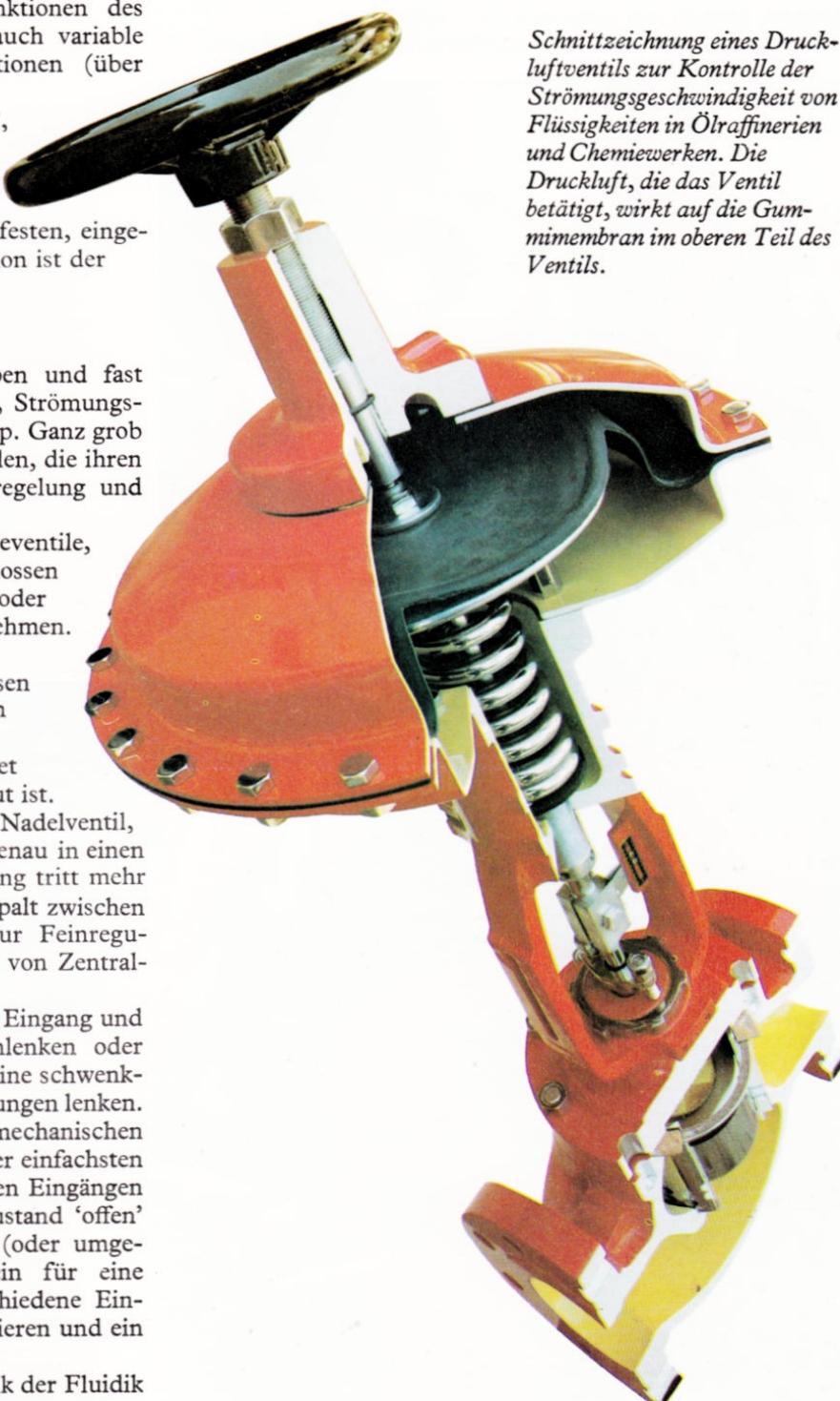
Ein 'Fluidelement' kann mit strömungsmechanischen Methoden logische Operationen ausführen. In der einfachsten Form handelt es sich um ein Ventil mit mehreren Eingängen und einem Ausgang, das von dem Funktionszustand 'offen' in den Zustand 'geschlossen' übergehen kann (oder umgekehrt), ähnlich einem elektronischen Baustein für eine Negation. Andere Fluidelemente können verschiedene Eingangszustände zu einem Ausgangssignal kombinieren und ein logisches 'UND' oder 'ODER' liefern.

Fluidelemente, die in der relativ neuen Technik der Fluidik

eine Rolle spielen und als Schaltelemente direkt vom strömenden Medium betätigt werden, sind von Ventilen in hydraulischen Anlagen zu unterscheiden. In hydraulischen Geräten wird ein von Pumpen komprimiertes Medium (Preßluft oder Öl) zum Verrichten von Arbeit benutzt.

### Trommelventile

Bei hydraulischen Anlagen können die logischen Funktionen von Trommelventilen übernommen werden. Eine 'Trommel' kann sich in einem sehr genau gefertigten Gehäuse hin- und herbewegen und dabei verschiedene Einlaß- und Auslaßöffnungen verschließen oder freigeben. Damit wird die unter Druck stehende hydraulische Flüssigkeit zu verschiedenen Teilen einer Maschine dirigiert (beispielsweise in einer WERKZEUGMASCHINE). Die Trommel ist mit Neopren-'O-Ringen' (Dichtungsringen) versehen, damit das Öl nicht an ihr vorbeifließt kann. Die Position der Trommel wird meist



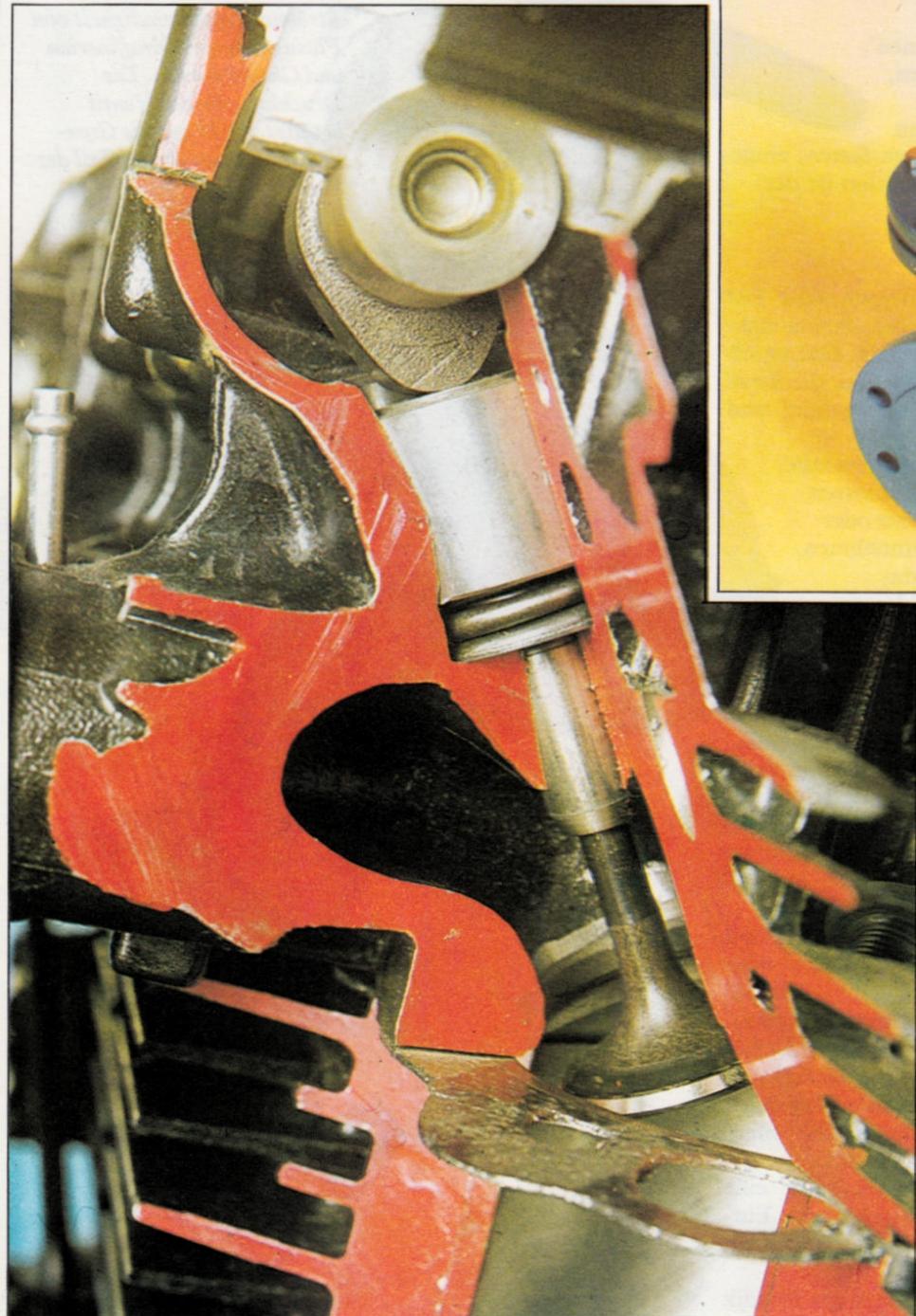
Schnittzeichnung eines Druckluftventils zur Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten in Ölraffinerien und Chemiewerken. Die Druckluft, die das Ventil betätigt, wirkt auf die Gummimembran im oberen Teil des Ventils.

über Magnetrelais gesteuert. Diese Schalter können durch Endabschalter der Maschine selbst, durch das Bedienungspersonal mit der Hand oder durch einen programmierbaren Prozeßrechner betätigt werden. Schmutz ist die größte Gefahr für solche Ventile. Deshalb werden Trommel und Gehäuse vor dem Zusammenbau sorgfältig gereinigt, manchmal mit Ultraschall. Ein Relaisventil in einer hydraulischen Schaltung muß etwa 100 Millionen Arbeitszyklen ohne Panne überstehen.

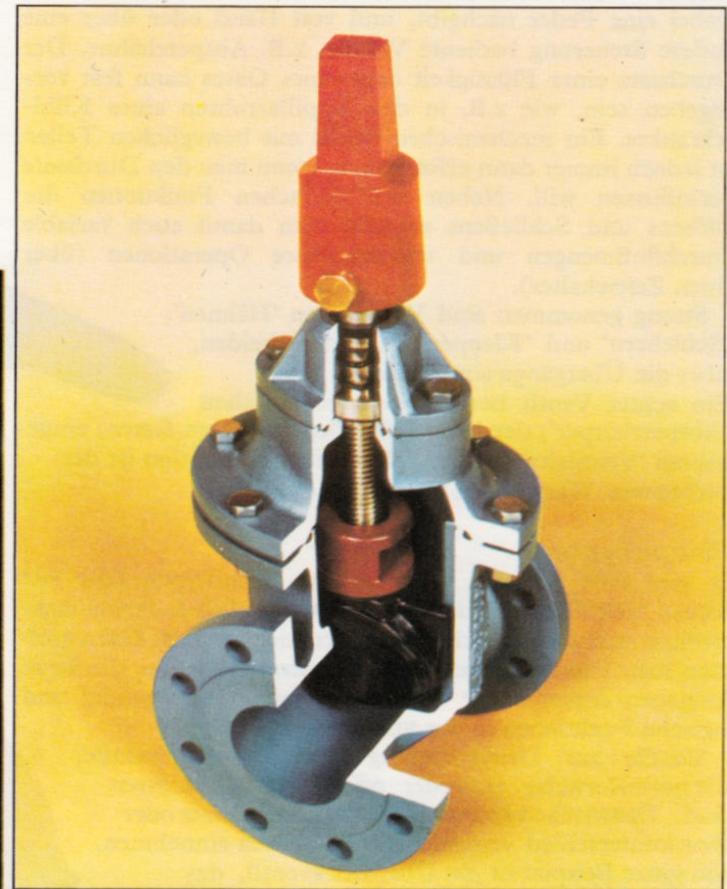
### Andere Ventile

'Rückschlag'- oder 'Sperrventile' werden in Pumpen, hydraulischen Anlagen und anderen Geräten benutzt, um eine unerwünschte Umkehrung der Strömungsrichtung zu verhindern. Das bewegliche Absperrelement kann ein schwenkbarer Teller oder eine verschiebbare Kugel sein, die auf einen entsprechend geformten Ventilsitz passen und durch Schwerkraft oder Federkraft betätigt werden. Die erwünschte Strömungsrichtung öffnet das Ventil, aber eine Änderung der Richtung wirkt ein automatisches Schließen.

Eine häufig anzutreffende Ventilform ist das 'Tellerventil',



bei dem der Absperrkörper durch Drehen einer Spindel gegen den Ventilsitz gepreßt wird. Ähnlich sind auch Schrägsitz- und Eckventile gebaut. Eckventile werden häufig im Heizungsbau und bei sanitären Anlagen eingesetzt. Man regelt mit ihnen den Durchsatz durch eine Leitung bei gleichzeitiger Änderung der Strömungsrichtung um 90°. In 'Absperrventilen' ist das Absperrelement eine einfache Platte oder Scheibe. Sie sind nur für die völlig geöffnete oder die geschlossene Position brauchbar, da bei Zwischenpositionen Turbulenzen auftreten, die den Strömungswiderstand erhöhen. Auch 'Absperrhähne' sind in Wirklichkeit meist Ventile mit rundem Ventilsitz. Der

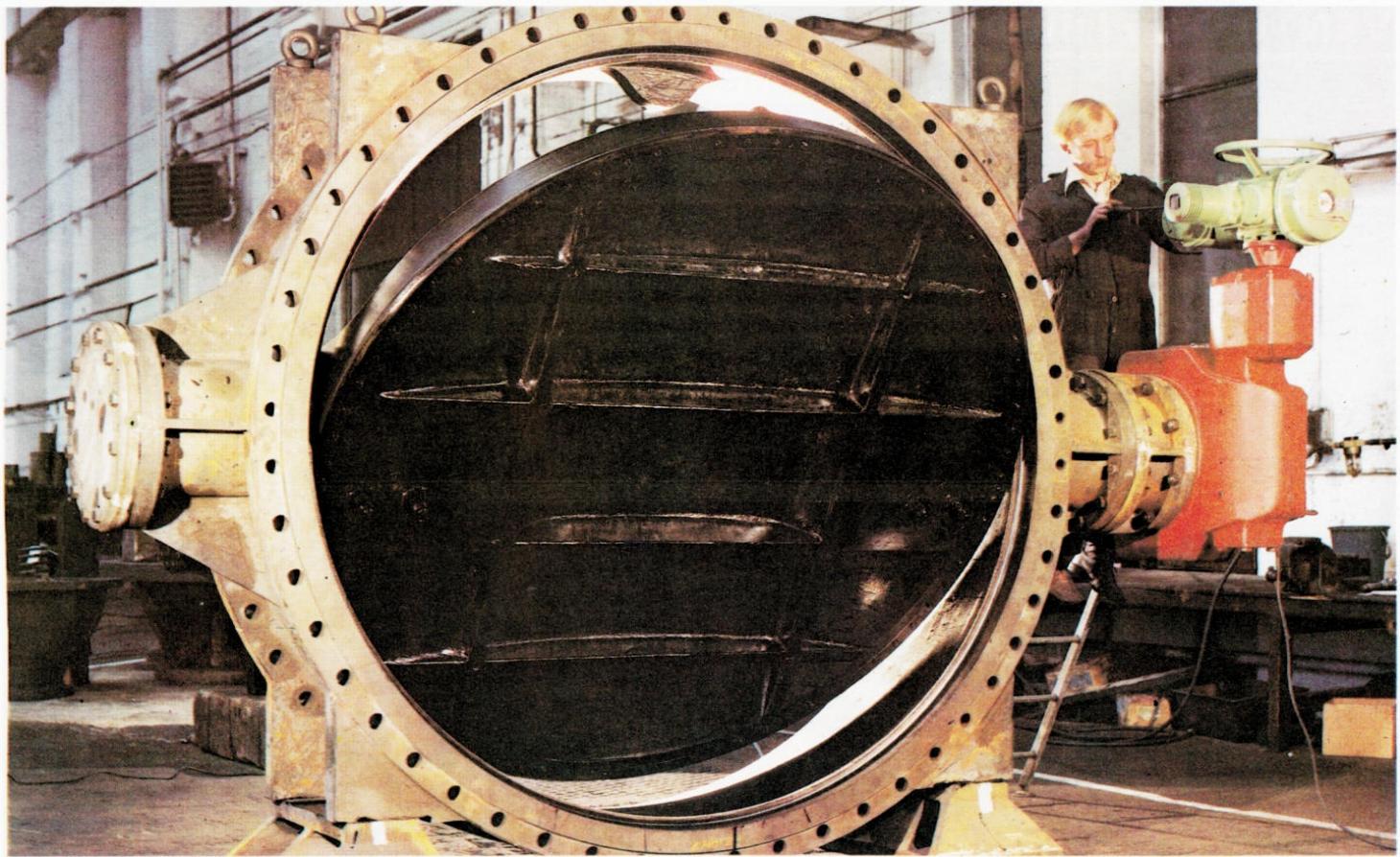


BLAKEBOROUGH

*Oben:* Ein Absperrventil für einen Arbeitsdruck von 16 bar zum Einsatz in einem Wasserwerk. Das Absperrelement, ein am Rand etwas abgeschrägter Teller, wird durch eine Spindel herauf- und herunterbewegt. Bei dieser Konstruktion kommt es bei nicht vollständiger Öffnung zu Turbulenzen.

*Links:* Aufriß der Ventilanordnung eines Motors mit zweifacher obenliegender Nockenwelle, hier am Modell des Yamaha XS750. Das Ventil befindet sich in geöffnetem Zustand.

*Rechts oben:* Eine Drosselklappe mit elektrischem Antrieb für einen Wasserbehälter in Swasiland. Der Durchmesser des Rohres beträgt 2,20 m. Drosselklappen sind sehr einfache Vorrichtungen zur Regelung der Strömungsgeschwindigkeit. In wesentlich kleineren Abmessungen findet man sie in den Vergasern von Verbrennungsmotoren.



in sanitären Installationen übliche 'Wasserhahn' hat einen runden Absperrkörper, der in einen runden, konisch geformten Ventilsitz passt. Zur Vermeidung von Undichtigkeiten in der geschlossenen Position preßt das Absperrelement gegen eine flache Gummi- oder Lederdichtung. Der Dichtungsring muß nach Abnutzung erneuert werden, um ein Tropfen des Hahnes zu verhindern und den Ventilsitz vor Beschädigungen zu schützen, die durch den metallischen Kontakt mit dem Absperrkörper unvermeidlich wären. Im Gegensatz dazu werden Absperrventile für Dampf sehr sorgfältig hergestellt und poliert, damit sie ohne Dichtungsring durch metallischen Kontakt zwischen Ventilsitz und Absperrelement schließen. Absperrventile in kleineren Anlagen und für geringe Druckunterschiede kommen ohne Druckausgleichsleitung aus. Bei größeren Ventilen wird zunächst durch eine kleine Umgehungsleitung auf beiden Seiten des Ventils derselbe Druck hergestellt, ehe es geöffnet wird. Große Tellerventile müssen zudem ausgewuchtet werden, damit die Strömung allseitig gleichmäßig verteilt ist.

In Kolbenmaschinen werden kegelförmige Absperrventile benutzt, die den Arbeitsablauf durch Öffnen und Schließen in bestimmten Phasen des Zyklus steuern. Einlaß- und Auslaßventile in Verbrennungsmotoren sind bekannte Beispiele. Ventilkörper und Ventilsitz sind mechanische Präzisionssteile, die nach der Fertigung gehärtet und geschliffen werden. Die Absperrelemente werden durch Federn gegen den Ventilsitz gedrückt und über Stößel, Nocken und Hebel von einem Ventilschaft betätigt, der von der Kurbelwelle angetrieben wird.

Bei der Konstruktion von Ventilen zur Strom- und Druckkontrolle muß man darauf achten, daß die Durchlaßposition dem strömenden Medium einen bestimmten Querschnitt zur Verfügung stellt. Der Querschnitt des Ventils muß mit dem Querschnitt des Einlaßstutzens übereinstimmen, da es sonst zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit kommt. Bei Teller- und Kegelventilen muß deshalb die nutzbare Querschnittsfläche gleich dem Produkt aus Durchmesser

des abgesperrten Weges multipliziert mit dem Hub des Tellers oder Kegels sein. Bei vielen Motorventilen ist der Hub etwa ein Viertel so groß wie der Durchmesser des kegelförmigen Absperrkörpers.

Auch Schieber finden in Kolbenmaschinen Verwendung. Die gegeneinander verschiebbaren Oberflächen sind sehr genau flach gearbeitet und poliert. Die Arbeitssubstanz (z.B. Dampf) drückt von der einen Seite, und Federn wirken dieser Kraft entgegen. Der Schieber öffnet und schließt verschiedene Öffnungen entsprechend dem Arbeitszyklus der Maschine. Bei der Dampflokomotive wird so, abhängig von der Stellung eines Regulierventils, in variablen periodischen Abständen Dampf in den Zylinder gedrückt. Schieber können nur bei kleinen Druckunterschieden benutzt werden, da die ganze Druckdifferenz auf den verschiebbaren Dichtungsflächen lastet. Ein Kollenschieber ist ein Schieber in zylindrischer Form. Er ist leistungsfähiger, weil ein Kolben, der in einem Zylinder gleitet, gleichmäßigeren Verschleißbedingungen unterliegt. Kollenschieber sind daher für die hohen Drücke in hydraulischen Anlagen (Kran, Aufzug) besonders geeignet.

Ein anderes Schieberventil ist der 'Rohrschieber', bei dem eine dünne Stahlmanschette zwischen Zylinder und Kolben eines Verbrennungsmotors eingebaut wird. Diese Manschette kann sich auf- und abbewegen und auch Drehbewegungen ausführen. An der Zylinderwand befindliche Einlaß- und Auslaßöffnungen werden so nacheinander freigegeben. Diese Konstruktion wurde in Flugzeugmotoren anstelle der schwereren Kegelventile benutzt, die außerdem eine größere Zahl beweglicher Teile mit sich bringen. Hochentwickelte 'Hülsenschiebermotoren' hatten zwei Überschiebrohre pro Zylinder.

Schließlich sei als einfaches Regelorgan noch die Sperr- oder Drosselklappe erwähnt, eine runde Scheibe, die durch Drehung verschiedene Winkelpositionen gegenüber der Strömungsrichtung einnehmen kann. Sie wird durch einen Hebel verstellt. Man findet Drosselklappen vor allem in Vergasern und Heißlufttheizungen.

## VENTURI-EFFEKT

In vielen technischen Anwendungen wird der Venturi-Effekt ausgenutzt. Beispiele hierfür sind in Vergasern von Verbrennungsmotoren, Pumpen und Strömungsmeßgeräten für Gase Flüssigkeiten zu finden.

Eine ruhende Flüssigkeit übt auf jeden Punkt einer ebenen Begrenzungsfläche denselben Druck aus. Dieses Phänomen ist die Grundlage der Hydrostatik.

Für bewegte Flüssigkeiten ist dieser Effekt nicht dominant; bedeutender ist hier der Abfall des Flüssigkeitsdruckes bei steigender Strömungsgeschwindigkeit. Nach dem italienischen Physiker G. Venturi (1746 bis 1822), der als erster das Strömungsverhalten durch Rohre mit sich ändernder Querschnittsfläche untersuchte, wird dies Venturi-Effekt genannt.

Dieses Verhalten lässt sich an zwei zueinander parallelen Blättern Papier gut zeigen: Vergrößert man, zum Beispiel durch Blasen, die Strömungsgeschwindigkeit der dazwischenliegenden Luftsicht, so wird dort der Luftdruck geringer als der Atmosphärendruck der Umgebung, und die Blätter bewegen sich aufeinander zu.

### Das Prinzip

Die Erklärung dieser Beobachtung fand im Jahre 1738 der schweizerische Mathematiker und Physiker Daniel Bernoulli (1700 bis 1782). Er wendete den Satz von der Erhaltung der Energie auf die Strömung von Flüssigkeiten an. Aufgrund seiner Bewegung besitzt jedes Fluid (Flüssigkeit oder Gas) Bewegungsenergie — 'kinetische Energie' — und wegen ihrer Tendenz, sich unter dem Einfluß des Schwerefeldes der Erde zu bewegen, auch Lageenergie — 'potentielle Energie'. An jedem Punkt in einem Fluid wirkt ein statischer Druck, der proportional zur Höhe der darüber liegenden Fluidsäule ist; dies ist ein Maß der potentiellen Energie an dieser Stelle. Die kinetische Energie der Flüssigkeit ist eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit und äußert sich durch einen dynamischen Druck, den 'Staudruck'. Wird der Strömung weder Energie zu- noch abgeführt, so bleibt deren Gesamtenergie und Gesamtdruck erhalten. Steigt die Strömungsgeschwindigkeit an, so nimmt die kinetische Energie (und damit der dynamische Druck) zu; als Folge muß dann die potentielle Energie (und der statische Druck) absinken.

Die Arbeiten Bernoullis sind die Grundlage der Hydro- und Aerodynamik; in diesen Disziplinen wird das Strömungs-



**Oben:** Die Venturi-Düse einer Feststoffrakete der NASA.

PHOTRI



**Rechts:** Eine bedeutende Folge des Venturi-Effekts ist die Verringerung des Luftdrucks über einer Flugzeugtragfläche. Dadurch wird Aufwind erzeugt.

verhalten von Fluiden, wie Wasser und Luft, untersucht. Die einfachste Theorie vernachlässigt Viskosität oder Reibungskräfte im Fluid; da Luft und Wasser eine niedrige Viskosität haben, kann ihr Strömungsverhalten durch diese Theorie gut angenähert werden. Zur Vereinfachung wird hierbei auch wirbelfreie ('laminare') Strömung angenommen; bildet eine Strömung Wirbel (turbulente Strömung), so wird die theoretische Beschreibung sehr schwierig.

Die Anwendung des Energieerhaltungssatzes in der Form nach Bernoulli ist nur für inkompressible Flüssigkeiten möglich; das Verhalten von Flüssigkeiten, die nicht oder nur wenig komprimiert werden können, etwa von Wasser, wird dadurch befriedigend wiedergegeben. Im Fall der Strömung von kompressiblen Flüssigkeiten und Gasen, die stets komprimierbar sind, muß die Theorie um die Auswirkungen von Druckänderungen auf die Dichte erweitert werden.

## Anwendungen

Zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit wird in verschiedenen Geräten die durch die Bewegung des Fluids hervorgerufene Druckänderung benutzt.

Venturi-STRÖMUNGSMESSEER bestehen im Prinzip aus einem Rohr, dessen Querschnittsfläche eine sanft geformte Einschnürung, eine 'Taille', besitzt. Diese Verengung bedingt eine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich, wodurch der statische Druck abfällt. Mißt man diesen Druckunterschied, so kann daraus die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden, deren Quadrat dem Druckabfall proportional ist. Dieser Typ von Strömungsmesser kann für Gase und Flüssigkeiten benutzt werden. Damit die Strömung im Rohr laminar bleibt, muß die Röhrenform sorgfältig konstruiert werden; eine turbulente Strömung würde Fehler verursachen.

Ein anderes wichtiges Strömungsmeßgerät ist das Rotameter, ein vertikal angebrachtes, sich nach unten verengendes Rohr, das einen kegelförmigen Schwimmer enthält. Ist das Fluid in Ruhe, sinkt der Schwimmer auf den Grund des Rohres; strömt das Fluid am Kopf des Schwimmers durch die ringförmige Öffnung zwischen dem Schwimmer und der Rohrwand vorbei, fällt der Druck danach ab. Als Folge wirkt auf den Schwimmer eine nach oben gerichtete Kraft.

Die Größe dieser Kraft hängt von der Kreisringfläche und der Strömungsgeschwindigkeit ab. Da das Rohr nach oben weiter wird, nimmt die Fläche des Kreisringes mit der Höhe zu; bei einer festen Strömungsgeschwindigkeit gibt es somit

eine Lage, in welcher der Schwimmer im Gleichgewicht ist. Aus dieser Position kann die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids bestimmt werden.

Die in Flugzeugen zur Anzeige der Windgeschwindigkeit üblichen Geräte nutzen ebenfalls den Venturi-Effekt. Im allgemeinen bestehen sie aus zwei ineinanderliegenden Rohren, deren Längsachse der Strömungsrichtung parallel ist. Das innere Rohr, ein PITOT-ROHR, ist an der Stirnseite offen und mit einem Druckmesser (einem U-Rohr etwa) verbunden. Damit wird der Gesamtdruck (also die Summe aus statischem Druck und Staudruck) gemessen. Zur Bestimmung des statischen Druckes ist das Pitot-Rohr von einem konzentrischen Rohr umgeben, das an der Stirnseite geschlossen ist, aber Öffnungen an der Längsseite besitzt. Durch diese Öffnungen wird der statische Druck meßbar. Die Differenz zwischen dem Gesamtdruck und dem statischen Druck, der Staudruck, ist ein Maß der Strömungsgeschwindigkeit. Je größer die Fluggeschwindigkeit, um so größer ist dieser Druckunterschied. Dieses Meßgerät wird Prandtlsches Staurohr genannt.

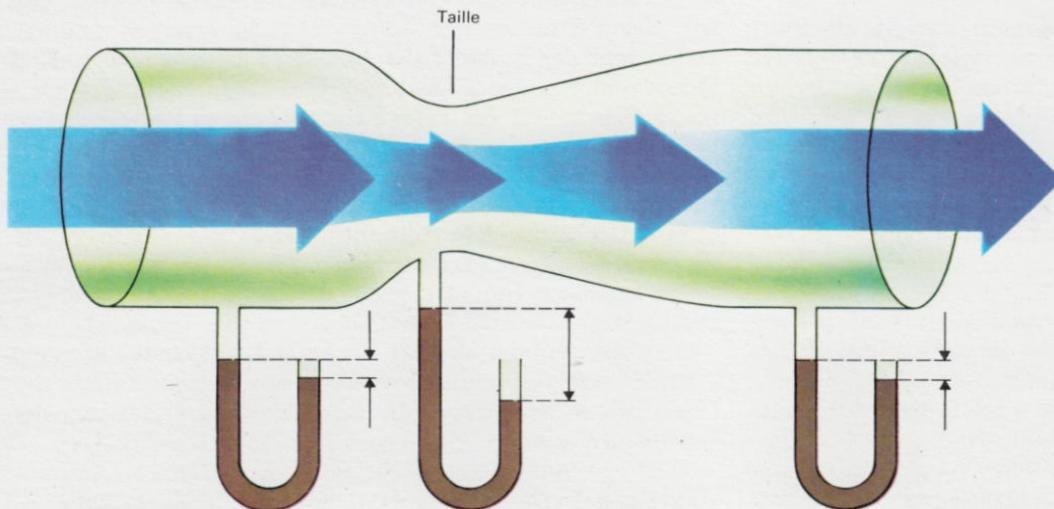
Daneben wird der Venturi-Effekt auch in Geräten wie dem Vergaser von Verbrennungsmotoren benutzt; sinkt darin der Druck ab, so wird durch die entstehende Kraftwirkung der Brennstoff angesaugt.

## Weitere Folgerungen

Kann die Strömungsgeschwindigkeit beim Umströmen eines



Ein frühes Vergasermodell wurde so aufgeschnitten, daß das Luft-Ansaugrohr und die Kraftstoffdüse sichtbar sind. Die Luft strömt durch eine 'Taille', wodurch die Strömungsgeschwindigkeit ansteigt und der statische Druck abfällt (Venturi-Effekt). Dadurch wird der Kraftstoff vom Luftstrom mitgerissen und darin vermischt.



Venturi-Rohr. Der von den Manometern angezeigte Druckabfall ist ein Maß der Strömungsgeschwindigkeit.



Rotameter-Strömungsmesser. Die Höhe des Schwimmers gibt die Strömungsgeschwindigkeit an.



JEREMY COULTER

Objektes so gesteuert werden, daß sie auf der einen Seite größer ist als auf der anderen, erfährt dieser Gegenstand durch den Druckunterschied eine Kraft in Richtung der größeren Strömungsgeschwindigkeit.

Die Querschnittsfläche einer Flugzeugtragfläche ist an der Oberseite stärker gekrümmpt als auf der Unterseite; bewegt sich zum Beispiel Luft relativ zu einem solchen Objekt, so wird die Strömungsgeschwindigkeit an der stärker gekrümmten Seite größer. Der Druckunterschied zwischen den Strömungen entlang der Ober- und Unterseite bewirkt eine Kraft, die man im allgemeinen Auftrieb nennt.

Ein anderes Beispiel ist ein sich drehender Ball. Fliegt der Ball in horizontaler Richtung und dreht sich dabei um eine

**Oben:** Flexible Dichtungen unten an den Seiten des Saudia/Williams-Rennwagens sowie die spezielle Form des Unterbodens der Karosserie erzeugen einen Niederdruck, der den Wagen auf der Bahn hält.

vertikale Achse, so wirkt aufgrund der unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten eine seitwärts gerichtete Kraft. Dadurch entsteht die für 'angeschnittene' Bälle so typische, gekrümmte Bahnkurve.

In gleicher Weise führt ein 'Topspin' oder ein 'Backspin' bei einem Tennisball dazu, daß dieser steiler oder flacher fällt als ein sich nicht drehender Ball.

## VERBRENNUNGSMOTOR

Der Verbrennungsmotor hat zu weitreichenden Auswirkungen in der ganzen Welt geführt. Sein Einsatz hat das Transportwesen völlig umgestaltet, seine Herstellung gewaltige Industriezweige hervorgebracht und seine Technologie auf vielen Gebieten Anregungen zur Entwicklung gegeben.

Die Entwicklung des Verbrennungsmotors wurde durch die vorausgegangene Entwicklung der DAMPFMASCHINE möglich. Beide 'Motoren' werden mit Brennstoff betrieben, dem sie Energie in Form von Wärme entnehmen, die dann zur Leistung von Arbeit genutzt wird.

Bei der Dampfmaschine handelt es sich jedoch um einen Motor mit äußerer Verbrennung, weil der Betriebsstoff (Brennstoff) in einem von dem den Kolben umschließenden Zylinder getrennten Teil des Motors verbrannt wird. Bei der Dampfmaschine kann jeder brennbare Stoff wie Holz, Kohle oder Erdölerzeugnisse als Betriebsstoff benutzt werden, die freigesetzte Energie wird zur Erhitzung einer Flüssigkeit — normalerweise Wasser — benutzt. Die aus dem kochenden Wasser aufsteigenden Dämpfe dehnen sich in einem begrenzten Behälter (dem Zylinder) aus und bewegen den Kolben.

Bei Motoren mit innerer Verbrennung (Verbrennungsmotor) findet das Verbrennen des Betriebsstoffes im Verbrennungsraum (dem oberen Zylinderbereich und mitunter auch einer Vertiefung im Kolbenboden) statt. Die Verbrennung geht explosionsartig vor sich, und die entstehenden Gase drücken den Kolben nach unten.

### Geschichte

Während des 18. und 19. Jahrhunderts, als leistungsstärkere Dampfmaschinen entwickelt wurden, konnten auch Fortschritte in den Bereichen des Ingenieurwesens und der Metallurgie erzielt werden, die die ersten erfolgreichen Verbrennungsmotoren ermöglichten. Zu Beginn besaß man noch keine vollständige Kenntnis über die Wirkungsweise. Erst die von dem französischen Physiker Sadi Carnot (1796 bis 1832) im Jahre 1824 veröffentlichten Theorien gaben den Anstoß zur modernen THERMODYNAMIK, den Erscheinungen aus Physik und Chemie, bei denen Arbeits- und Wärme-

wirkungen auftreten. Fünfzig Jahre vorher hatte James Watt bereits mit der Entwicklung von Dichtungen und Kolbenringen zur Verhinderung eines Entweichens von Energie zwischen Kolben und Zylinderwandung begonnen. Um das Jahr 1800 verbesserte der britische Ingenieur Henry Maudslay die DREHBANK (Drehmaschine), wodurch es möglich wurde, Maschinen zur Herstellung von Präzisionsteilen für Motoren zu bauen. In den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurden leichtflüchtige Brennstoffe (Kraftstoffe) aus Erdöl raffiniert.

Im Jahre 1860 baute der französische Ingenieur J. J. E. Lenoir (1822 bis 1900) einen erfolgreichen Motor, bei dem es sich im wesentlichen um eine modifizierte Dampfmaschine handelte, für deren Betrieb er Leuchtgas benutzte. Auf der Pariser Weltausstellung von 1867 erhielt die von Otto und Eugen Langen gegründete Firma 'Gasmotorenfabrik Deutz und Co.' eine Goldmedaille für ihren Motor, der ein großes Schwungrad über dem stehenden Zylinder besaß, aber weder eine Kurbelwelle noch Pleuel hatte. Der Kolben trug eine lange Zahnstange, die in ein Zahnrad einging, das über eine Freilaufkupplung mit dem Schwungrad in Verbindung stand.

*Die Arbeitsweise eines Viertakters. Zum besseren Verständnis wurde ein Doppelnockenwellen-Motor gewählt. Die Nockenwellen drehen sich jeweils mit halber Kurbelwellendrehzahl (Drehzahl des Motors), d.h. jedes Ventil wird während eines Arbeitsspieles einmal geöffnet.*

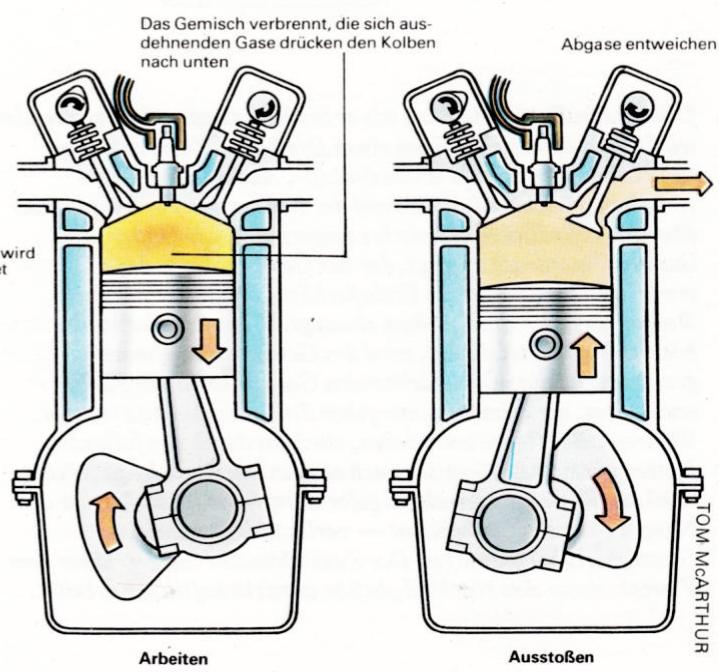
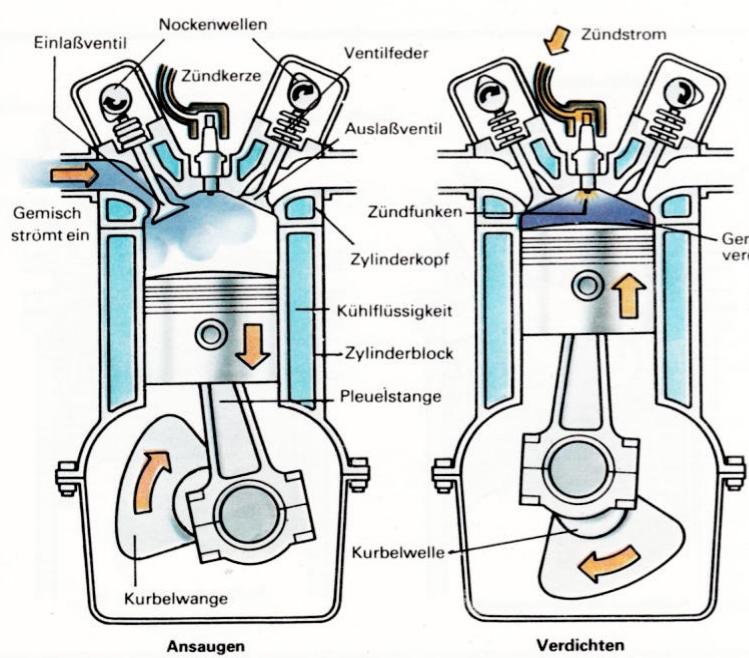
**Ansaugen:** Während der Drehbewegung zieht die Kurbelwelle den Kolben nach unten, wodurch im Zylinder ein bestimmter Unterdruck entsteht. Das Einlaßventil wird geöffnet; das Gemisch strömt ein.

**Verdichten:** Durch die Bewegung der Kurbelwelle wird der Kolben im Zylinder nach oben geschoben und das Gemisch zusammengedrückt (verdichtet). Hat der Kolben seine höchste Stellung erreicht, gibt die Zündkerze einen Zündfunken ab.

**Arbeiten:** Das von dem Zündfunken gezündete Gemisch verbrennt, dehnt sich aus und drückt den Kolben nach unten. Hierdurch wird die Kurbelwelle gedreht und Arbeitsleistung erzielt.

**Ausstoßen:** Der Kolben zeigt im Zylinder wieder nach oben. Das Auslaßventil wird geöffnet, und die verbrannten Gase werden aus dem Zylinder herausgedrückt.

### DAS VIERTAKT-PRINZIP



Das Zahnrad konnte sich demzufolge in eine Richtung unbehindert drehen und die Kraft in die andere Richtung übertragen.

Mittlerweile hatte Alphonse Beau de Rochas im Jahre 1862 in Paris seine Theorie über einen Viertaktmotor der Art, wie er in Personenkraftwagen unserer Zeit benutzt wird, veröffentlicht. Obgleich de Rochas niemals einen Motor nach seinen Vorstellungen baute, schloß seine Theorie nicht nur die Verdichtung des Kraftstoff/Luft-Gemisches zur Erhöhung seiner Temperatur, sondern auch die Erkenntnis ein, daß ein Viertaktmotor einen vollständigeren Gaswechsel (Ansaugung des Kraftstoff/Luft-Gemisches und Auspuffen (Ausstoßen) der verbrannten Gase) als der Zweitaktmotor gewährleisten würde.

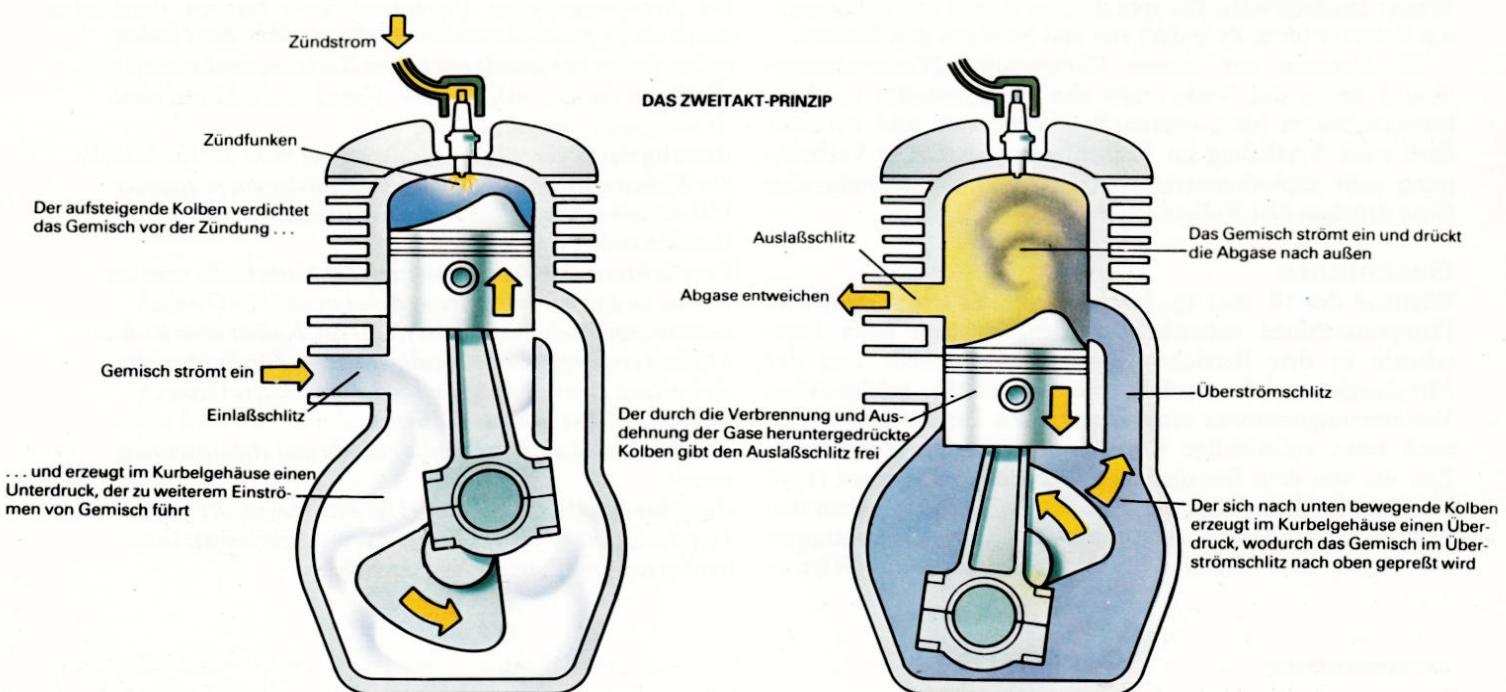
Beim Zweitaktmotor läuft ein Arbeitsspiel (Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen) während einer einzigen Kurbelwellenumdrehung, d.h. während einer einmaligen Bewegung des Kolbens nach oben und unten (was 2 Takte entspricht) ab. Beim Viertaktmotor dagegen sind vier Takte, d.h. zwei vollständige Aufwärts- und Abwärtsbewegungen des Kolbens (zwei Kurbelwellenumdrehungen), erforderlich.

Beim Zweitaktmotor wirken auf die Kurbelwelle doppelt so viele Arbeitsimpulse ein, als es beim Viertaktmotor der Fall ist; aber der Viertaktmotor bietet, selbst wenn alle anderen Eigenschaften gleich sind, einen wesentlich wirkungsvolleren Gaswechsel. Der Zweitaktmotor arbeitet überdies unwirtschaftlicher, weil mit den verbrannten Gasen auch unverbrannter Kraftstoff ausgestoßen wird.

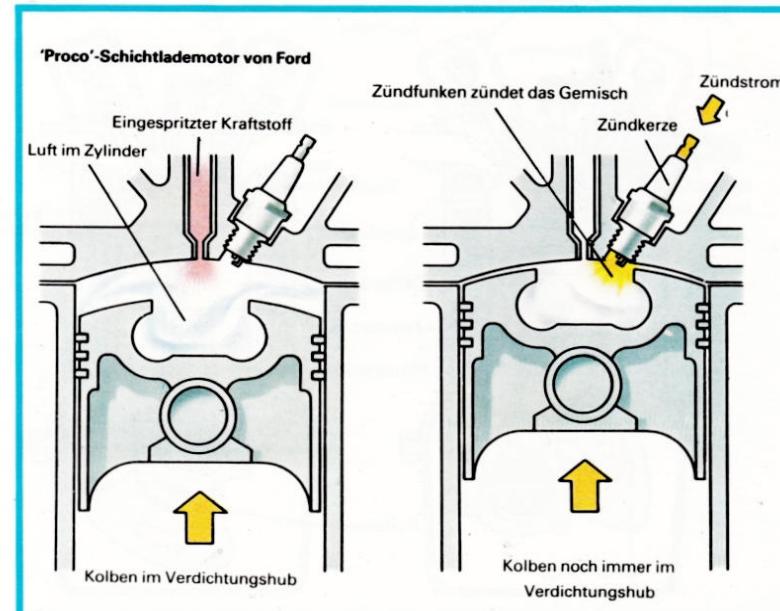
Im Jahre 1876 begannen Otto und Langen den 'geräuschenlosen' Ottomotor zu bauen, der mit erheblich geringerer Geräuschentwicklung als das frühere Modell arbeitete. Es war der erste moderne Viertaktmotor, in dem das Kraftstoff/Luft-Gemisch vor dem Verbrennen verdichtet wurde. Nach 1878 wurde dieser Motor auch in den Vereinigten Staaten hergestellt, wo er Henry Ford (1863 bis 1947) zum Bau seiner Fahrzeuge anregte.

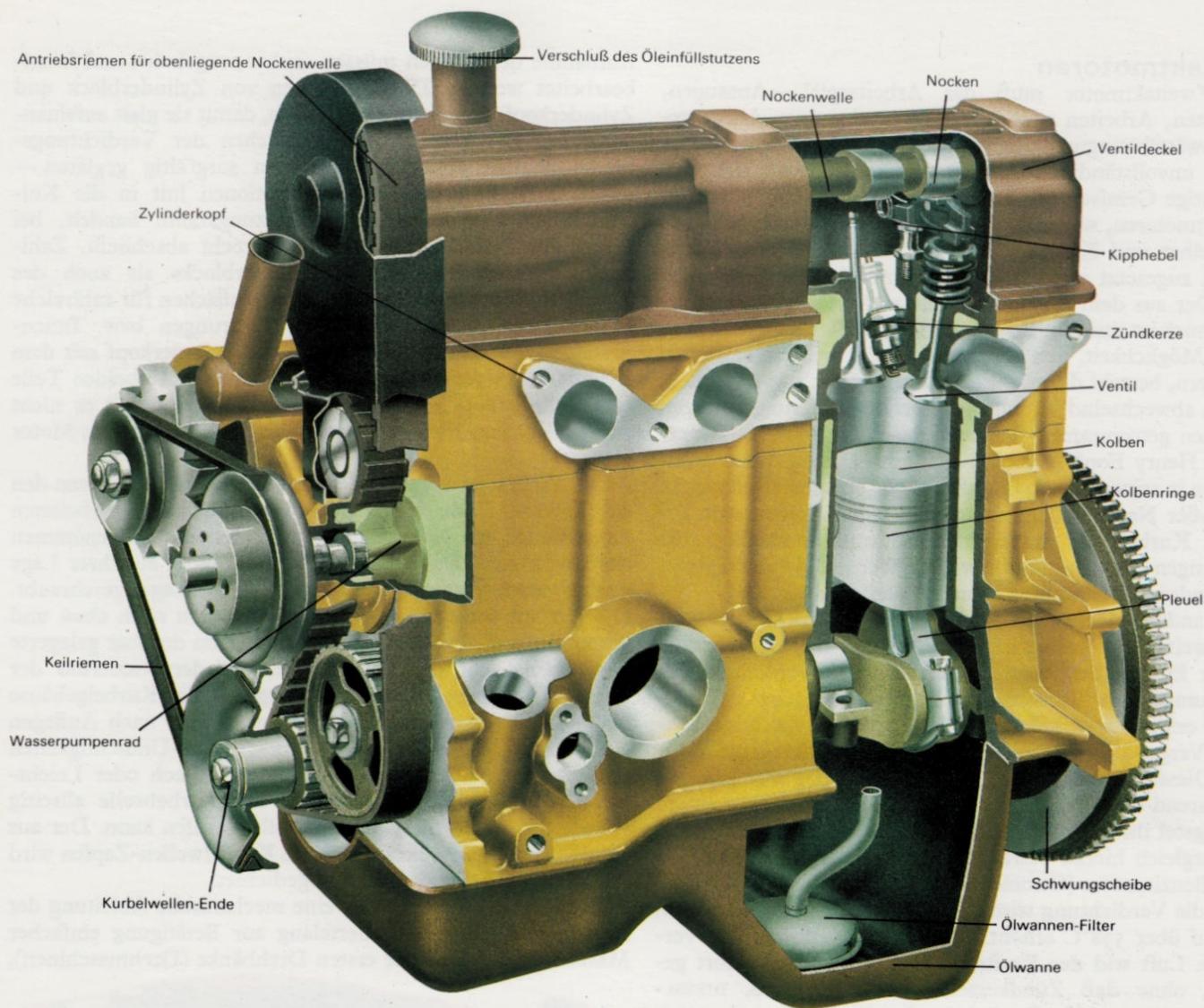
### Viertaktmotoren

Die Betriebsvorgänge eines Viertaktmotors verlaufen wie folgt: Beim Abwärtsgehen des Kolbens (1. Takt) öffnet sich das Einlaßventil und das Kraftstoff/Luft-Gemisch wird in den Verbrennungsraum hineingesaugt. Beim darauffolgenden



**Oben:** Ein Zweitaktmotor, wie er bei Kleinkrafträder verwendet wird. Es handelt sich hier um einen Dreikanal-Zweitaktmotor mit Nasenkolben und je einem Einlaß-, Auslaß- und Überströmkanal (Schlitze). Während der Kolben zur Verdichtung des über ihm befindlichen Gemisches emporsteigt, wird unter ihm ein Unterdruck erzeugt, der das Gemisch durch den vom Kolben freigegebenen Einlaßschlitz (der Motor hat keine Ventile) in das Kurbelgehäuse einsaugt. Wenn der Kolben die höchste Stelle erreicht hat, wird das Gemisch im Zylinder geziündet und die sich ausdehnenden Gase drücken den Kolben nach unten, der beim Hinuntergehen den Auslaßschlitz freigibt. Während die Abgase entweichen, wird das durch den fallenden Kolben verdichtete Gemisch nach oben in den Zylinder gedrückt. Weil der Kolben entsprechend geformt ist — er ist auch unter dem Namen Nasenkolben bekannt — verläuft der beschriebene Gaswechsel gleichförmiger. Der Zweitaktmotor hat gegenüber dem Viertaktmotor den Nachteil, daß er unwirtschaftlicher arbeitet.



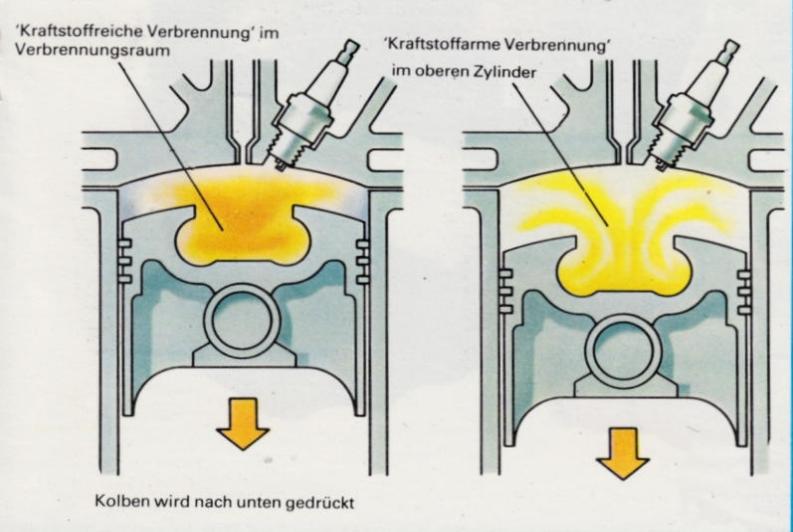


**Unten:** Teil des Funktionsablaufes in einem zu Versuchs- zwecken gebauten Schichtlademotor mit Kraftstoffeinspritzung. Das Gemisch wird in zwei Stufen verbrannt: Zuerst in einem in den Kolbenboden eingearbeiteten Verbrennungsraum; danach erfolgt die vollständige Verbrennung im Verbrennungsraum des Zylinders. Die Folge sind saubere Abgase und eine geringfügig verbesserte Kraftstoff-Einsparung.

**Oben:** Schnitt durch einen kleinen Vierzylinder-Motor mit obenliegender Nockenwelle. Die Ventile werden über Stößelstangen, Stößel und Kipphebel betätigt.

Aufwärtsgehen (2. Takt) werden alle Ventile geschlossen und das Kraftstoff/Luft-Gemisch wird verdichtet. Zu Beginn des zweiten Abwärtsgehens des Kolbens (3. Takt) findet die Verbrennung statt — das Gemisch wird durch einen von der ZÜNDKERZE abgegebenen Zündfunken gezündet und die sich ausdehnenden Gase drücken den Kolben nach unten. Beim zweiten Aufwärtsgehen (4. Takt) öffnet sich das Auslaßventil und die verbrannten Gase werden ausgestoßen. Folglich sind die vier Takte des Arbeitsspieles Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen.

Bei dem zur Verbrennung gelangenden Gemisch handelt es sich um ein vom VERGASER aufbereitetes gasförmiges Gemisch aus Kraftstoff und Luft. Normalerweise ist der Kraftstoff Benzin; aber es ist auch möglich, verschiedene Verbrennungsmotor-Typen zu konstruieren, die sich mit verschiedenartigen Kraftstoffen, vom Rohöl bis zum Flugbenzin, betreiben lassen. Der Vergaser muß vorschriftsmäßig eingestellt sein. Ist das Gemisch zu mager (enthält es nicht genug Kraftstoff), arbeitet der Motor nicht einwandfrei. Ist das Gemisch zu fett (enthält es zu viel Kraftstoff), lagern sich Verbrennungsrückstände in Form von Ölkarke auf den Zündkerzen und den Ventilen sowie in den Verbrennungsräumen ab und bewirken nicht nur eine Verschwendungen von Kraftstoff, sondern auch eine Verringerung der Motorleistung.



## Zweitaktmotoren

Beim Zweitaktmotor muß das Arbeitsspiel — Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen — in einer Aufwärts- und Abwärtsbewegung des Kolbens erfolgen. Da der Gaswechsel unvollständig und nicht optimal verläuft, läßt sich das richtige Gemisch nur schwer finden. Bei kleinvolumigen Zweitaktmotoren, wie sie noch immer für einige Motorräder, Rasenmäher und Kleinwagen üblich sind, muß dem Kraftstoff Öl zugesetzt werden, was zu Umweltschutzproblemen führt. Der aus dem Auspuffrohr dieser Motoren austretende blaue Rauch ist eines der Erkennungsmerkmale dieser Motoren.

Eine Möglichkeit, den Gaswechsel bei Zweitaktmotoren zu verbessern, besteht darin, gegenläufige Kolben zu verwenden, die sich abwechselnd in entgegengesetzter Richtung bewegen und einen gemeinsamen Verbrennungsraum besitzen (Boxermotor). Henry Ford entschloß sich zum Einbau dieser Konstruktion in seinen ersten, im Jahre 1896 gebauten Kraftwagen. Ein großer Nachteil liegt darin, daß jeder Kolben eine getrennte Kurbelwelle antreiben muß und demzufolge die Bewegungen der zwei Kurbelwellen über ein Zahnradsystem miteinander in Verbindung gebracht werden müssen.

Eine andere Möglichkeit der Verbesserung des Gaswechsels eines Zweitaktmotors liegt im Einsatz eines Turboladers, einem von der Energie der Abgase betriebenen Vorverdichter, der einer Pumpe zum Einblasen von Luft in den Zylinder ähnelt. Hierbei erfolgt die Kraftstoffzufuhr statt durch den herkömmlichen Vergaser durch eine Kraftstoff-Einspritzanlage. Moderne Dieselmotoren saugen im Ansaugvorgang nur Luft an, die während des Kolbenhubes auf ein Zwölftel bis zu einem Zwanzigstel ihres ursprünglichen Volumens verdichtet wird. (Im Vergleich hierzu beträgt das Verdichtungsverhältnis bei einem Benzinmotor (Ottomotor) ein Sechstel bis ein Zehntel.) Durch die Verdichtung wird die Temperatur der angesaugten Luft auf über 538°C erhöht. In die derart erhitze und verdichtete Luft wird der Kraftstoff eingespritzt und sofort gezündet, ohne daß Zündkerzen erforderlich sind. DIESEMOTOREN können als Zweitakt- oder Viertaktmotoren (mit oder ohne Turbolader) gebaut werden, obgleich die meisten für Straßenfahrzeuge benutzten Dieselmotoren nach dem Viertakt-Prinzip konstruiert sind.

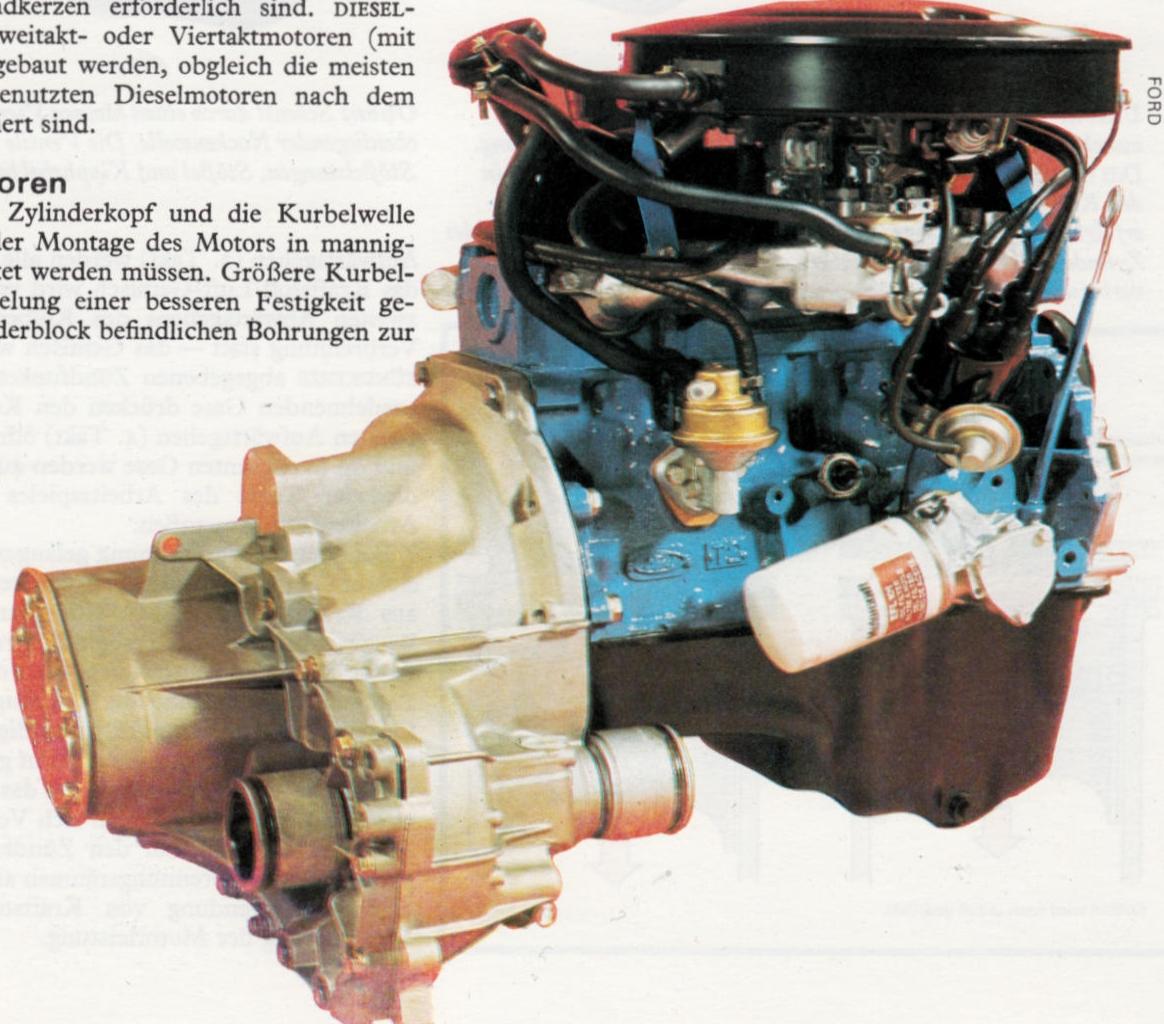
## Bauteile von Motoren

Der Zylinderblock, der Zylinderkopf und die Kurbelwelle sind Gußteile, die vor der Montage des Motors in mannigfaltiger Hinsicht bearbeitet werden müssen. Größere Kurbelwellen werden zur Erzielung einer besseren Festigkeit geschmiedet. Die im Zylinderblock befindlichen Bohrungen zur

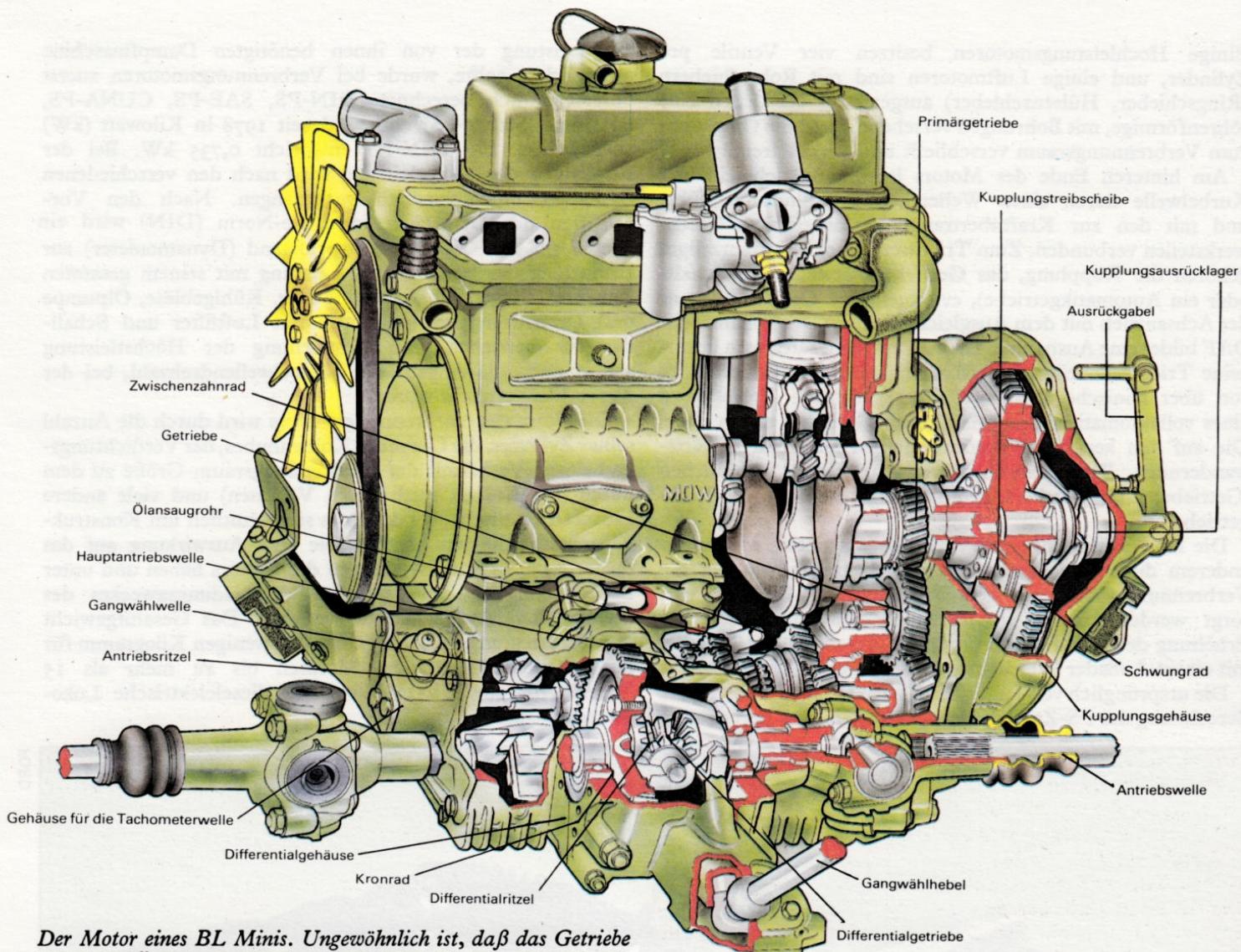
Aufnahme der Kolben müssen sauber ausgebohrt und feinstbearbeitet werden. Die Paßflächen von Zylinderblock und Zylinderkopf werden plangeschliffen, damit sie glatt aufeinanderliegen. Die abschließenden Flächen der Verdichtungsräume werden ebenfalls von innen sorgfältig geglättet — sofern es sich nicht um Konstruktionen mit in die Kolbenbodenmulde verlegtem Verdichtungsraum handelt, bei denen der Zylinderkopf oben waagerecht abschließt. Zahlreiche Flächen sowohl des Zylinderblocks als auch des Zylinderkopfes müssen an den Montageflächen für zahlreiche Bauteile nachgearbeitet und mit Bohrungen bzw. Innen gewinden versehen werden. Wird der Zylinderkopf mit dem Zylinderblock verschraubt, muß zwischen diese beiden Teile eine Zylinderkopfdichtung eingelegt werden, damit es nicht zu Verdichtungsdruck-Verlusten beim fertigmontierten Motor kommt.

Die Unterseite des Zylinderblocks ist offen, so daß von den am unteren Ende jeder Zylinderwandung eingearbeiteten Lagerflächen die Hauptlager der Kurbelwelle aufgenommen werden können. Damit die Kurbelwelle nicht aus ihrer Lage gerückt wird, werden Lagerdeckel über die Lager geschraubt. Die Kolben bewegen sich in den Zylindern nach oben und unten. Jeder Kolben steht über eine in ihm drehbar gelagerte Pleuelstange mit der Kurbelwelle, auf der wiederum der Pleuelfuß gelagert ist, in Verbindung. Die das Kurbelgehäuse bildende Unterseite des Zylinderblocks wird nach Auflegen einer Flachdichtung zur Verhinderung von Öl-Undichtigkeiten mit einer aufgeschraubten Ölwanne aus Blech oder Leichtmetall-Guß verschlossen, so daß die Kurbelwelle allseitig vollständig geschützt ist und im Ölbad laufen kann. Der aus dem Kurbelgehäuse herausragende Kurbelwellen-Zapfen wird durch einen Wellendichtring abgedichtet.

Die Kurbelwelle selbst ist eine mechanische Ableitung der Handkurbel, die jahrhundertelang zur Betätigung einfacher Maschinen, wie z.B. der ersten Drehbänke (Drehmaschinen),



Der Motor des Ford Fiesta hat 1300 cm<sup>3</sup> und vier Zylinder. Der Fiesta ist ein typischer moderner Kleinwagen.



*Der Motor eines BL Minis. Ungewöhnlich ist, daß das Getriebe sich in der Ölwanne des Motors befindet.*

benutzt wurde. Für jeden Zylinder des Motors ist ein eigener Kurbelzapfen (versetzt angeordnetes, kurbelförmiges Teilstück der Kurbelwelle) vorhanden, der sich durch die Bewegung des Kolbens bei in Betrieb befindlichem Motor um die Achse der Kurbelwelle dreht. Jedem Kurbelzapfen gegenüber ist als Gewichtsausgleich eine Kurbelwange (Ausgleichsgewicht aus Metall) angebracht. Die Kurbelzapfen eines Mehrzylindermotors sind in gleichförmigen Abständen um den durch die Umdrehung der Kurbelwelle beschriebenen Kreis angeordnet. Die Zündfolge in den einzelnen Verbrennungsräumen, die von der jeweiligen Kurbelstellung (Kurbelwinkel) abhängt, ist so gelegt, daß der Motor ausgeglichen und ein gleichförmiger Rundlauf gewährleistet ist. Verbrennungsmotoren wurden und werden mit mehr als sechzehn Zylindern in unterschiedlichen Anordnungen gebaut: gegenläufig (Boxer-Reihenmotor), sternförmig (Sternmotor, siehe FLUGMOTOR), V-förmig (V-Motor) und in einer Reihe (Reihenmotor). Die heute am häufigsten für Personenkraftwagen verwendete Motor-Bauart ist der Vierzylinder- oder Sechszylinder-Reihenmotor. Achtzylinder-V-Motoren werden insbesondere in amerikanischen Personenkraftwagen verwendet.

Auf dem stirnseitigen, aus dem Kurbelgehäuse hervorstehenden Ende der Kurbelwelle befindet sich eine Riemscheibe, die über einen Keilriemen die sogenannte Lichtmaschine (Generator) und, falls es sich um einen wassergekühlten Motor handelt, auch die Kühlmittelpumpe (Wasserpumpe, siehe KÜHLANLAGEN) antreibt. Außerdem treibt die Kurbelwelle über ein schrägverzahntes Zahnrad

die Ölpumpe (zur Schmierung des Motors) an.

Das ebenfalls auf dem vorderen Kurbelwellenzapfen verkeilte Kurbelwellenrad (Steuerrad I) treibt — meistens über eine Kette, einen Zahnriemen oder im direkten Eingriff — das kleinere, auf dem vorderen Nockenwellenzapfen sich befindende Nockenwellenrad (Steuerrad II) mit halber Kurwellendrehzahl an. Die auf diese Weise angetriebene Nockenwelle betätigt ihrerseits die Ventile (Ventilsteuerung) und besitzt gleichzeitig einen Abtrieb für den Zündverteiler, damit das Kraftstoff/Luft-Gemisch im richtigen Augenblick gezündet werden kann. Liegen die Ventile im Zylinderblock, handelt es sich um einen unten- oder seitengesteuerten Motor (sv-Motor; sv = side valve) dessen Ventile mit dem Schaft unmittelbar auf den Nocken der Nockenwelle aufliegen. Bei obengesteuerten Motoren (ohv-Motoren; ohv = overhead valve) werden die Ventile über eine Anordnung von Stößelstangen und Kipphebeln von der Nockenwelle aus betätigt. Im Reparaturfalle sind die Ventile leichter zugänglich, da anstatt einer Demontage des vollständigen Zylinderkopfes lediglich der aus Blech oder Leichtmetall gefertigte haubenartige Ventildeckel vom Zylinderkopf abgenommen zu werden braucht. Bei der dritten dieser klassischen Bauarten, dem ohc-Motor, (ohc = overhead cam) liegt die Nockenwelle über dem Zylinderkopf und bewegt die Ventile über Schwinghebel.

Bei jeder der genannten Bauarten werden die Ventile gegen einen Federdruck betätigt, und jeder Zylinder besitzt mindestens zwei Ventile (ein Einlaß- und ein Auslaßventil), weshalb die Einstellung der Ventilsteuerung ein wesentlicher Beitrag zur Erzielung der betreffenden Motorleistung ist.

Einige Hochleistungsmotoren besitzen vier Ventile pro Zylinder, und einige Luftpumpe sind mit Rohrschiebern (Ringschieber, Hülsenschieber) ausgerüstet, bei denen eine röhrenförmige, mit Bohrungen versehene Hülse die Öffnungen zum Verbrennungsraum verschließt und wieder freigibt.

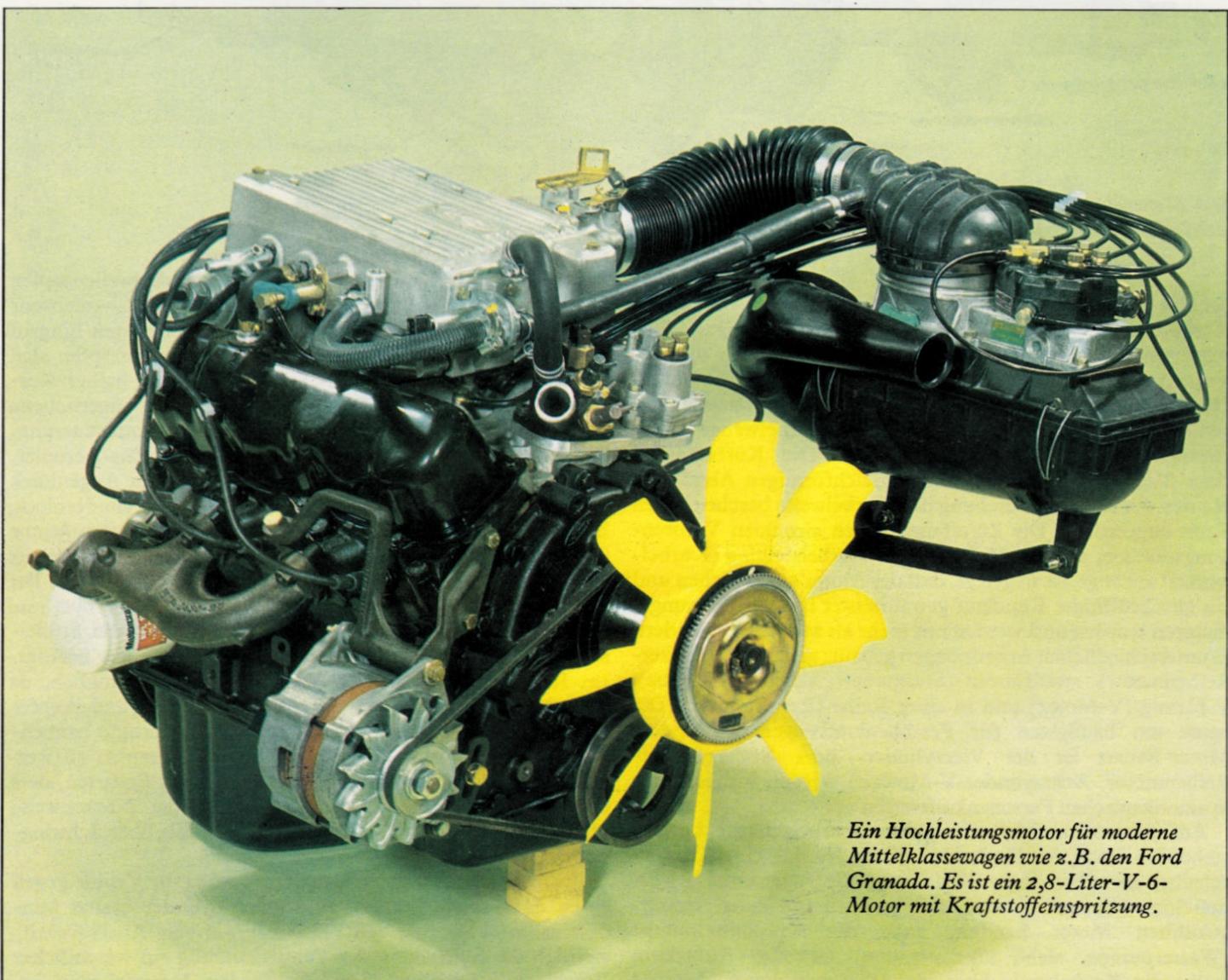
Am hinteren Ende des Motors ist die Abtriebsseite der Kurbelwelle durch einen Wellendichtring hindurchgeführt und mit den zur Kraftübertragung erforderlichen Triebwerksteilen verbunden. Zum Triebwerk eines Kraftfahrzeugs gehören die Kupplung, das Getriebe (entweder ein Schalt- oder ein Automatikgetriebe), eventuell eine Gelenkrolle und der Achsantrieb mit dem Ausgleichsgetriebe. (Der holländische DAF bildet eine Ausnahme. Dieser Personenkarrenwagen besitzt keine Triebwerksteile im herkömmlichen Sinn, sondern wird von über konischen Riemenscheiben geführten Treibriemen eines vollautomatischen mechanischen Getriebes angetrieben. Die auf den konischen Riemenscheiben auf- und abwärts-wandernden Treibriemen führen zu einer unendlichen 'Getriebestufung' und erfüllen die Aufgaben eines Ausgleichsgetriebes.)

Die Höchstdrehzahl eines Verbrennungsmotors wird unter anderem durch die Geschwindigkeit begrenzt, mit der die Verbrennungsräume mit dem Kraftstoff/Luft-Gemisch versorgt werden können. Hochleistungsmotoren können zur Erhöhung des dem Motor zur Verfügung stehenden Druckes mit einem Auflader (Verdichter) ausgerüstet werden.

Die ursprünglich von James Watt (1736 bis 1819) eingeführte Berechnung der PS-Zahl, die seinen Kunden eine Berechnung

der Leistung der von ihnen benötigten Dampfmaschine ermöglichen sollte, wurde bei Verbrennungsmotoren zuerst unterschiedlich berechnet (DIN-PS, SAE-PS, CUNA-PS, BHP und Steuer-PS) und wird seit 1978 in Kilowatt (kW) ausgedrückt. Ein DIN-PS entspricht 0,735 kW. Bei der Ermittlung der Motorleistung wird nach den verschiedenen Systemen unterschiedlich vorgegangen. Nach den Vorschriften der Deutschen Industrie-Norm (DIN) wird ein Motor auf dem Fahrleistungsprüfstand (Dynamometer) zur Ermittlung der tatsächlichen Leistung mit seinem gesamten Zubehör (Lüfter, Wasserpumpe bzw. Kühlgebläse, Ölzpumpe und Drehstromgenerator) sowie mit Luftfilter und Schalldämpfer betrieben. Zur Feststellung der Höchstleistung gehört auch die Angabe der Kurbelwellendrehzahl, bei der dieser Wert erreicht wurde.

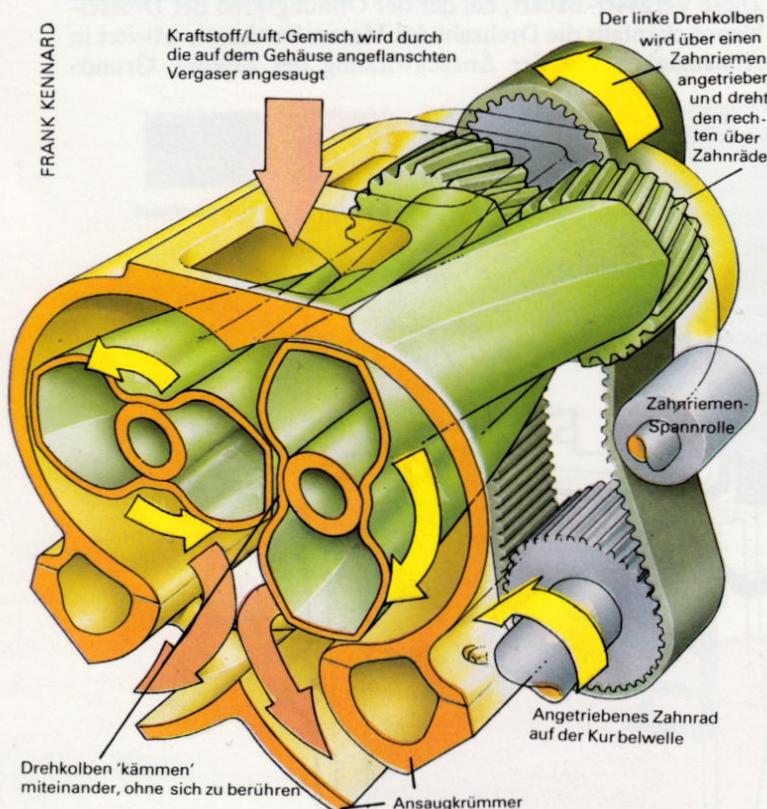
Die Form des Verbrennungsmotors wird durch die Anzahl seiner Zylinder, die Länge des Kolbenhubes, das Verdichtungsverhältnis (Verhältnis der Verbrennungsraum-Größe zu dem durch den Kolben verdrängten Volumen) und viele andere Faktoren bestimmt, bei denen es sich sämtlich um Konstruktionsentscheidungen handelt, die eine Auswirkung auf das theoretische Leistungsvermögen des Motors haben und unter Berücksichtigung des geplanten Verwendungszweckes des betreffenden Motors getroffen werden. Das Gesamtgewicht von Verbrennungsmotoren reicht von wenigen Kilogramm für beispielsweise Rasenmäher-Motoren bis zu mehr als 15 Tonnen für einen V-16-Motor für dieselelektrische Lokomotiven.



## VERGASER

Damit ein Verbrennungsmotor mit den unterschiedlichsten Drehzahlen und unter den verschiedensten Belastungszuständen einwandfrei arbeiten kann, müssen das Volumen und das Mischungsverhältnis des in die Verbrennungsräume eingeleiteten Kraftstoff/Luft-Gemisches fortlaufend geändert werden. Diese Aufgabe wird durch den Vergaser vorgenommen.

FRANK KENNARD



Die üblichen Lader-Typen. Oben das Roots-Gebläse: In ihm kämmen zwei Drehkolben miteinander, ohne sich dabei zu berühren, weshalb auch keine Schmierung erforderlich ist. Sie verdichten die Luft und drücken sie in die zwei Einlaßkrümmer eines V8-Motors. Rechts unten ein Turbolader: Die Abgase (braune Pfeile) drehen die Welle und drücken die Luft — nach dem Prinzip einer Kreiselpumpe — durch ein Spiralgehäuse.

Der Vergaser ist ein wichtiger Teil des Verbrennungsmotors. Im Vergaser wird der zerstäubte Kraftstoff mit Luft gemischt. Das entstandene Kraftstoff/Luft-Gemisch wird dann in den Verbrennungsraum des Motors geleitet und gezündet. Die bei der hierdurch bewirkten Explosion entstehende Kraft treibt den Motor unter den verschiedensten Betriebsbedingungen vom Kaltstart bei niedrigen Außentemperaturen bis zur schnellen Beschleunigung des betriebswarmen Motors an.

An der Entwicklung des Vergasers ist der englische Ingenieur William Barnett wesentlich mitbeteiligt gewesen, der bereits im Jahre 1838 ein Patent auf einen Vergaser erhielt. Der zweite Vergaser wurde von dem Mecklenburger Mechaniker Siegfried Marcus (1831 bis 1898) gebaut und soll 1876 auf der Weltausstellung gezeigt worden sein. Es handelte sich hierbei um einen Bürstenvergaser, eine Konstruktion, bei der ein Riemen eine Bürste antrieb, die in den Kraftstoff eintauchte und die Kraftstofftröpfchen in das Ansaugrohr schleuderte. Bei verbesserten Ausführungen wurde der Kraftstoff mit einer Abstreifvorrichtung von der Bürste abgenommen, worauf sich Luft und Kraftstoff zu einem feinen Sprühnebel vereinigten, der mit weiterem, durch Vorwärmung

verdunstetem Kraftstoff zusätzlich angereichert und nun als Kraftstoff/Luft-Gemisch dem Motor zugeführt wurde. Andere Vergaser der damaligen Zeit waren reine Oberflächenvergaser, bei denen die Kraftstoffdämpfe durch einen über eine größere Kraftstofffläche geführten Luftstrom erzeugt wurden. In der Folge wurden weitere Vergasertypen wie z.B. Schwimmervergaser und Spritzdüsenvergaser entwickelt, mit denen die Grundlage der modernen Vergasertechnik geschaffen wurde.

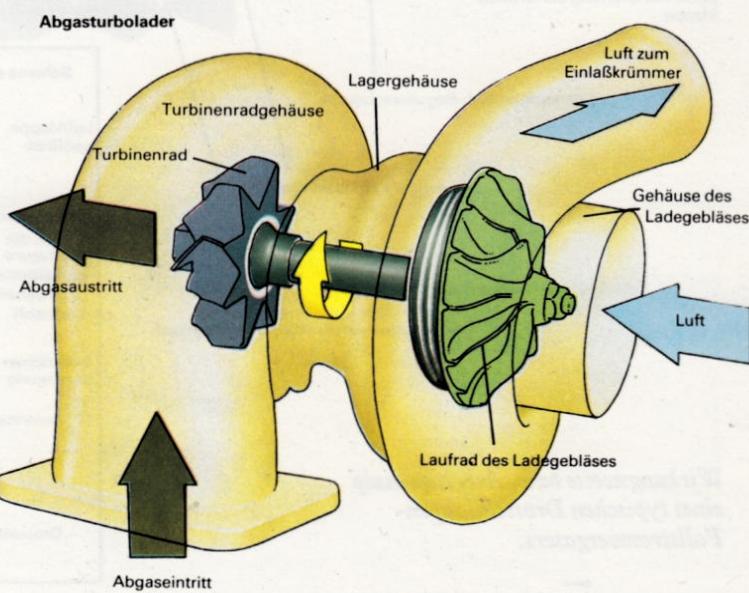
Der Vergaser arbeitet durch einen vom Motor ausgehenden Ansaugvorgang, der zur Versprühung und Verdunstung des Kraftstoffes beiträgt. Die zur Erzielung des erforderlichen Kraftstoff/Luft-Gemisches benötigte und in den Luftstrom im Inneren des Vergasers hineingezogene Kraftstoffmenge wird durch einen engen, als Lufttrichter bezeichneten Durchgang im Vergaser bestimmt. Bei ihrem Durchtritt durch den Lufttrichter wird die Luftströmung beschleunigt. Der aufgebauten Druck fällt ab und bewirkt, daß Kraftstoff durch eine im Bereich des Lufttrichters angebrachte Bohrung oder Düse in den Luftstrom hineingesaugt wird.

Der Kraftstoff wird zerstäubt und mit Luft gemischt, wobei das Mischungsverhältnis in der Regel 15 Gewichtsteile Luft auf 1 Gewichtsteil Kraftstoff beträgt. Bei Kaltstart kann jedoch ein wesentlich 'fetteres' Gemisch, d. h. ein Verhältnis von ungefähr 2 Teilen Luft zu 1 Teil Kraftstoff, erforderlich werden.

Die Menge des in die Verbrennungsräume eintretenden Kraftstoff/Luft-Gemisches wird von einem hinter dem Lufttrichter angeordneten Klappenventil (Drosselklappe) gesteuert. Bei der Drosselklappe handelt es sich um eine einfache Vorrichtung, die in geöffnetem Zustand (wenn das Gaspedal hinuntergetreten ist) große Gemischmengen durchströmen läßt und in geschlossenem Zustand den Zustrom von Gemisch unterbindet. Demzufolge wird mit der Drosselklappe die Betriebsgeschwindigkeit des Motors gesteuert. Das Kraftstoff/Luft-Gemisch wird in einen Zylinder des Motors eingesaugt, worauf sich ein Ventil schließt, um ein Entweichen des Gemisches zu verhindern. Danach hebt sich der Kolben, um das Gemisch zu verdichten, ehe es durch den von der Zündkerze abgegebenen Funken gezündet wird. Die Kraft des explodierenden Gemisches stößt den Kolben nach unten, das Ventil wird geöffnet, und der Vorgang wird wiederholt.

### Drosselklappenvergaser

Bei dieser Konstruktion werden verschiedene Düsen bestimmter Größe und eine Beschleunigungspumpe eingesetzt, deren

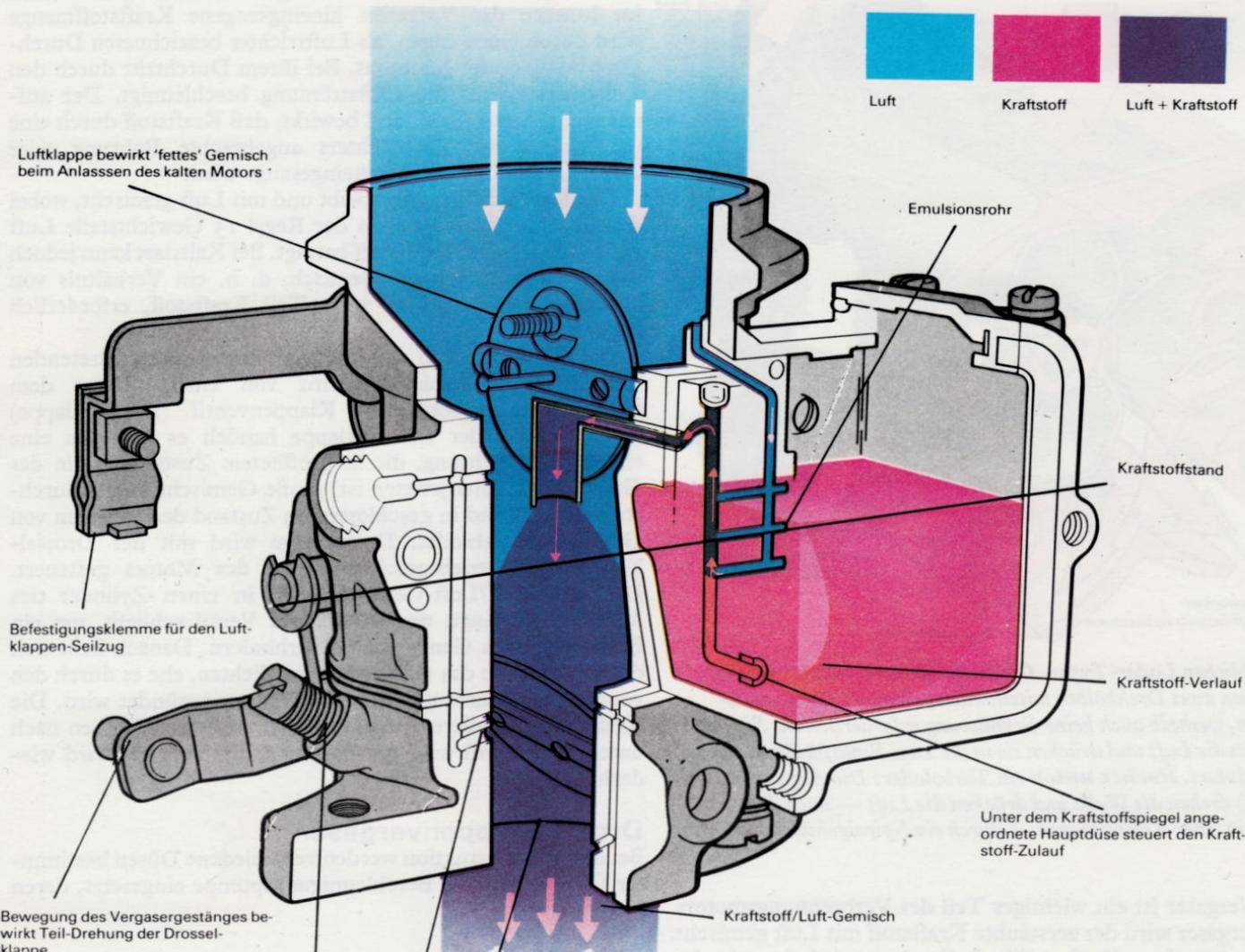


Aufgabe die verstärkte Zufuhr von Kraftstoff, z.B. bei abrupter Beschleunigung, ist. Jede Düse hat eine bestimmte Aufgabe — so umgeht die Leerlaufdüse alle anderen Düsen und läßt unaufhörlich eine kleine Kraftstoffmenge in den Luftstrom eintreten. Sie ist erforderlich, um den Motor bei niedrigen Drehzahlen mit Kraftstoff zu versorgen. Die übrigen Düsen sind so konstruiert, daß sie zur Verhinderung einer Überfettung (ein zu hoher Kraftstoffanteil im Verhältnis zur Luft) dem Kraftstoff eine bestimmte Menge Luft beimischen, ehe er in den Luftrichter eintritt. Zu ihnen gehört die Hauptdüse, die nach dem Öffnen der Drosselklappe Kraftstoff für hohe Dauerfahrleistungen abgibt, und die

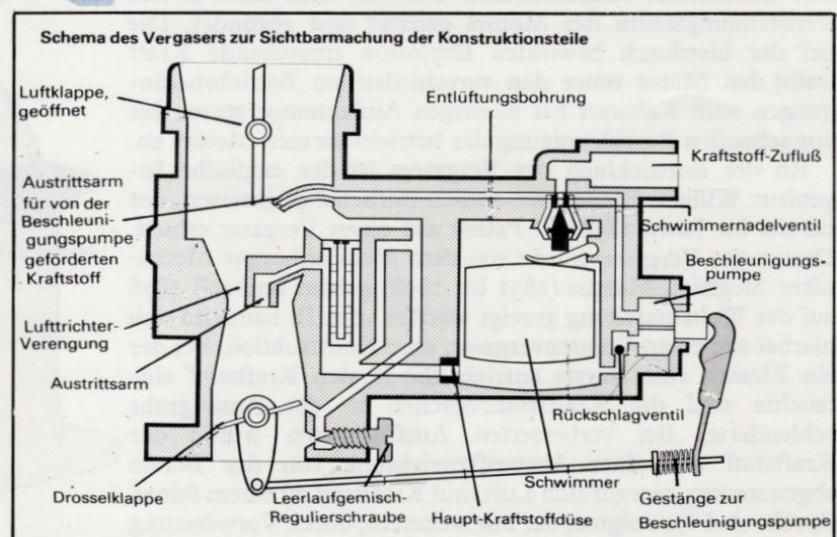
Ausgleichdüse. Diese Düse arbeitet während des Öffnungs vorganges der Drosselklappe, um die zur Beschleunigung auf hohe Drehzahlen zusätzlich erforderliche Kraftstoffmenge bereitzustellen, bis die Kraftstoff-Versorgung von der Hauptdüse übernommen wird. Häufig sind Drosselklappenvergaser mit weiteren Düsen ausgerüstet, die jedoch nur die drei bereits erwähnten Düsen unterstützen.

### Schiebervergaser

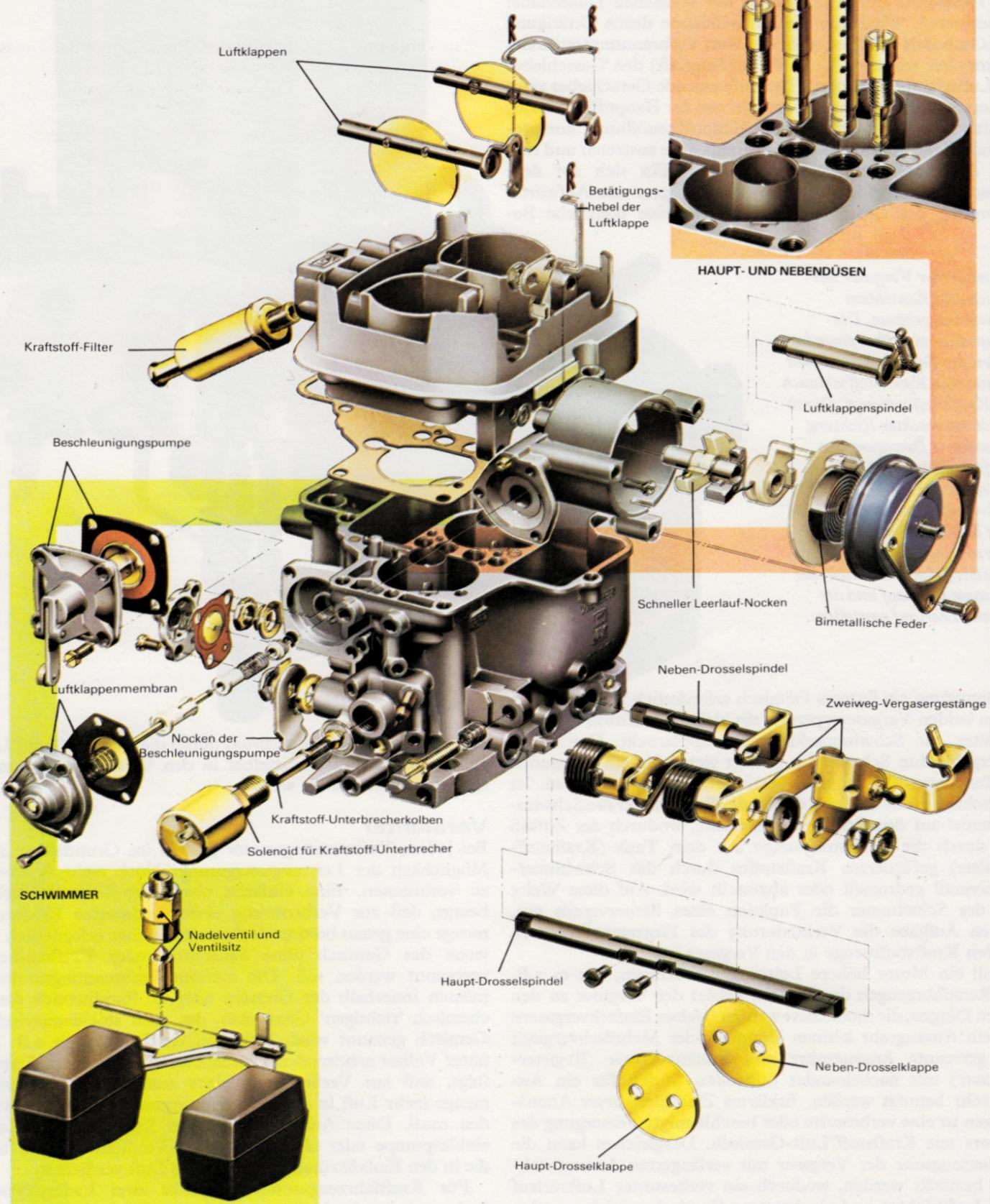
Diese Vergaser-Bauart, bei der der Öffnungsgrad der Drosselklappe ebenfalls die Drehzahl des Motors bestimmt, arbeitet in Abhängigkeit von der Ansaugwirkung des Motors. Grund-



*Wirkungsweise bzw. Arbeitsprinzip eines typischen Drosselklappen-Fallstromvergasers.*



Ein Doppel-Luftklappen-Vergaser, wie man ihn häufig in den Autos von Ford und Fiat antrifft. Die einzelnen Ausführungen weichen nur leicht voneinander ab.



sätzlich besteht der Schiebervergaser aus einer Hauptdüse und einer an einem Luftkolben (Rundschieber, Gasschieber) befestigten konischen Düsenneedle. Bei dieser Vergaser-Bauart wird die Luft immer von der Seite her angesaugt, da der mit der Düsenneedle bestückte Gasschieber zur Gewährleistung einer einwandfreien Funktion in senkrechter Lage im Lufttrichter bewegt werden muß. Bei stehendem Motor wird die Hauptdüse durch die Spitze der konischen Düsenneedle verschlossen. Wird nun die Drosselklappe durch Betätigung des Gaspedals geöffnet, zieht der vom Verbrennungsraum des Motors her wirkende Unterdruck (Saugluft) den Gasschieber im Lufttrichter nach oben. Der aufsteigende Gasschieber zieht seinerseits die konische Düsenneedle aus der Hauptdüse heraus, so daß eine der freigegebenen Hauptdüsenöffnung entsprechende Kraftstoffmenge aus der Hauptdüse austreten und sich mit der Ansaugluft vermischen kann. Ein sich auf dem Gasschieber befindender Dämpfer verzögert die Aufwärtsbewegung des Gasschiebers, wenn für eine plötzliche Be-

*Ein moderner Vergaser mit seitlich angeflanschtem Schwimmergehäuse. Die Hauptdüse wird über einen im Boden der Schwimmerkammer angesetzten Kunststoffschlauch mit Kraftstoff versorgt. Durch eine in senkrechter Richtung verlaufende Bewegung der Kraftstoffdüse wird eine Anreicherung des Kraftstoff/Luft-Gemisches für den Kaltstart bewirkt. Durch diese Vorrichtung lassen sich das Kraftstoff/Luft-Gemisch, der langsame Leerlauf und der schnelle Leerlauf einstellen.*



schleunigung ein fetteres Gemisch erforderlich ist.

An beiden Vergasertypen ist ein kleiner Kraftstoff-Vorratsbehälter, die Schwimmerkammer, angeflanscht. Der in ihr untergebrachte Schwimmer bewegt sich mit dem steigenden Kraftstoffstand bis zu einer bestimmten Höhe nach oben. Ist die richtige Höhe erreicht, drückt der Schwimmer die Schwimmernadel auf den Schwimmernadelsitz, wodurch der Zufluß des durch die Kraftstoffpumpe aus dem Tank (Kraftstoffbehälter) geförderten Kraftstoffes durch das Schwimmernadelventil gedrosselt oder abgestellt wird. Auf diese Weise übt der Schwimmer die Funktion eines Steuerventils aus, dessen Aufgabe die Verhinderung des Eintretens einer zu großen Kraftstoffmenge in den Vergaser ist.

Soll ein Motor höhere Leistungen erbringen, wie es z.B. bei Rennfahrzeugen der Fall ist, gehört der Vergaser zu den ersten Dingen, die modifiziert werden. Neben Einfachvergasern für ein Ansaugrohr können Doppel- oder Mehrfachvergasern für getrennte Ansaugrohre und Stufenvergaser (Registervergaser) mit nacheinander öffnenden Stufen für ein Ansaugrohr benutzt werden. Erklärtes Ziel aller dieser Anordnungen ist eine verbesserte oder beschleunigte Versorgung des Motors mit Kraftstoff/Luft-Gemisch. Desgleichen kann die Luftpansaugseite der Vergaser mit verlängerten Ansaugtrichtern bestückt werden, wodurch ein verbesserter Luftverlauf zum Lufttrichter und ein besseres Gemisch erreicht werden sollen. Manchmal werden Düsen mit größerem Durchmesser eingesetzt, um mehr Kraftstoff austreten zu lassen. Andere Hochleistungsmotoren sind mit einer Kraftstoff-Einspritzan-

lage (fuel injection) ausgerüstet, durch die Kraftstoff und Luft genau dosiert und unmittelbar in den Verbrennungsräumen miteinander vermisch werden.

### Verdichter

Bei jedem Verbrennungsmotor gibt es im Grunde nur eine Möglichkeit der Leistungssteigerung: Noch mehr Kraftstoff zu verbrennen. Eine einfache chemische Gesetzmäßigkeit besagt, daß zur Verbrennung einer bestimmten Kraftstoffmenge eine genau bestimmte Sauerstoffmenge erforderlich ist, wenn das Gemisch ohne Sauerstoff- oder Kraftstoffreste verbrannt werden soll. Die meisten Verbrennungsmotoren müssen innerhalb der Grenzen oder im Randbereich dieses chemisch 'richtigen' Gemisches, das auch stöchiometrisches Gemisch genannt wird, betrieben werden, wie es z.B. bei unter Vollast arbeitenden Dieselmotoren der Fall ist. Daraus folgt, daß zur Verbrennung einer zusätzlichen Kraftstoffmenge mehr Luft in den Verbrennungsraum eingeleitet werden muß. Diese Aufgabe erfüllt der Lader, der als Lufeinblaspumpe oder als Kompressor (Verdichter) wirkt und die in den Einlaßkrümmer eintretende Luft verdichtet.

Für Kraftfahrzeugmotoren gibt es zwei Lader-Typen: Lader mit mechanischem Antrieb, zu denen die Rotationskolbenverdichter, die Radialverdichter und das Roots-Gebläse gehören, sowie Abgasturbolader, die durch die Restenergie der Abgase angetrieben werden.

# VERKAUFAUTOMATEN

**Verkaufautomaten bieten rund um die Uhr heiße und kalte Getränke, Zigaretten, Schokolade und gelegentlich sogar warme Mahlzeiten an.**

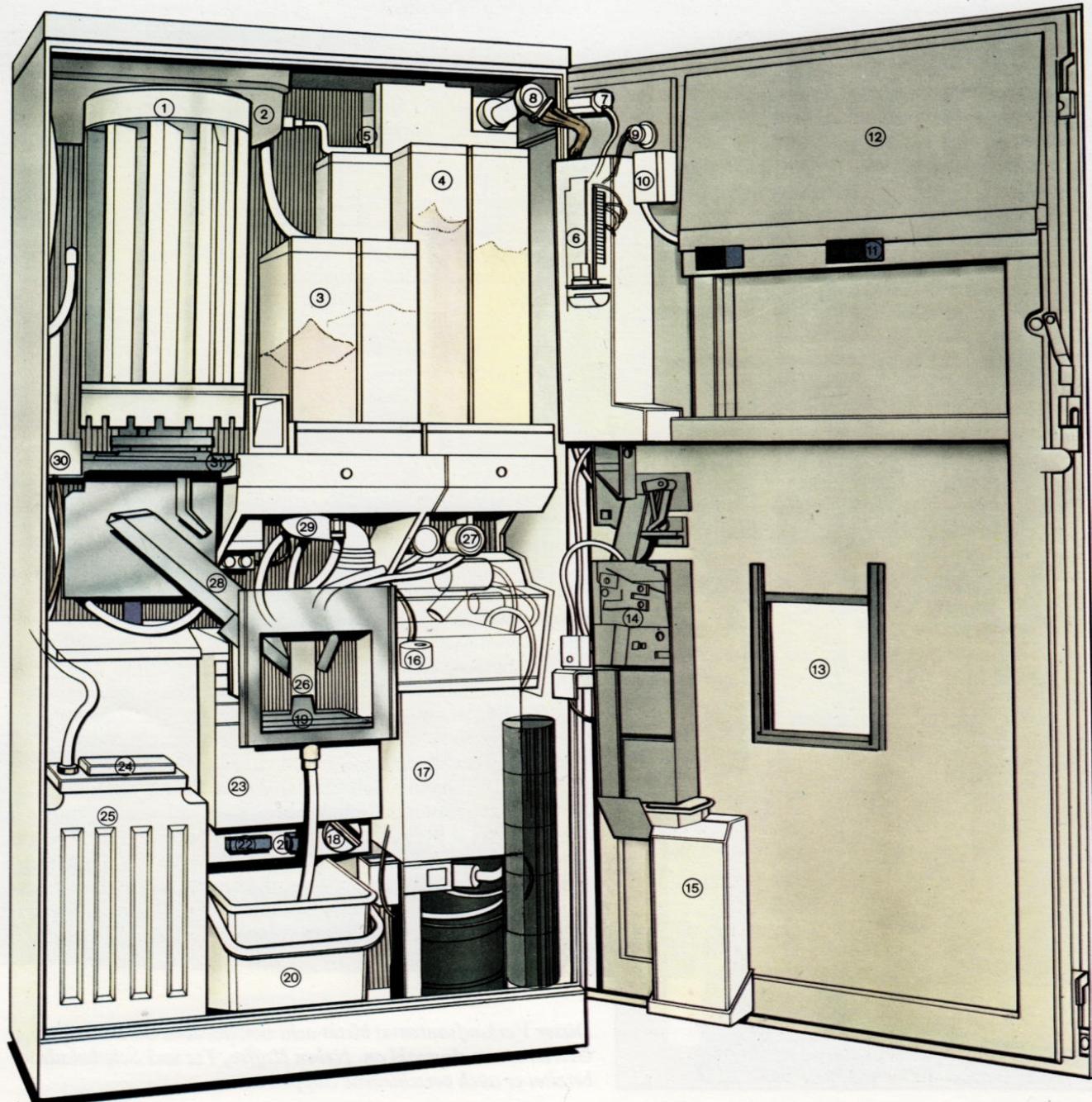
Allen Verkaufautomaten sind zwei wesentliche Bauelemente gemeinsam: Die Kassivorrichtung mit dem Münzprüfer, die die eingenommenen Geldstücke prüft und sammelt, und der eigentliche Warenautomat, der das gewünschte Produkt auswählt und ausgibt.

## Kassivorrichtung

Beim einfachsten System benötigt man nur eine Münze, um den Automaten in Gang zu setzen. Nach diesem System arbeiten in der Regel kleinere Getränkeautomaten oder auch an die Wand montierte, säulenförmige Gefachautomaten für belegte Brötchen u.ä. Größere Warenautomaten hingegen verfügen über eine kompliziertere Kassier- und Münzprüvorrichtung, die 3, 4 oder sogar 5 Geldstücke verschiedenen Wertes aufnehmen und zum geforderten Preis addieren kann. Häufig ist das Zählwerk auch in der Lage, verschiedene

- |  |   |
|--|---|
| 1 Becherausgabegerät                           | 17 Kühlvorrichtung                            |
| 2 Wasserbehälter                               | 18 Thermostat—Heißwasserbehälter              |
| 3 Behälter für Zutaten (klein)                 | 19 Gitterrost                                 |
| 4 Behälter für Zutaten (groß)                  | 20 Abfalleimer                                |
| 5 Wasserfilter                                 | 21 Abfalleimer-Überlauf-Sicherheitsabschalter |
| 6 Getränkewähler                               | 22 Heizstab                                   |
| 7 Gesamtumsatzzähler                           | 23 Heißwasserbehälter                         |
| 8 Mengenvorwähler—verquirte Schokolade         | 24 Sicherungskästen                           |
| 9 Optische Anzeige—Starter                     | 25 Elektronische Steuerung                    |
| 10 Zähler—kalte Getränke                       | 26 Becher in Füllstellung                     |
| 11 Optische Anzeige—Betätigungsstäbe           | 27 Vorrichtung zum Verquirlen von Schokolade  |
| 12 Schwenkbare Halterung für optische Anzeigen | 28 Becher-Rutsche                             |
| 13 Getränkeausgabe mit Sichtfenster            |   |
| 14 Geldeinwurf                                 |   |
| 15 Münzbehälter                                |   |
| 16 Wassereinfallverschluß—Kühler               |   |

*Verkaufautomat für heiße Getränke. Bei kalten Getränken tritt eine Kühlvorrichtung an die Stelle des Heißwasserbehälters. Dieser Automat verwendet Trockenpulver; andere stellen frischen Kaffee her, indem sie Löcher in eine Dose stanzen und diese als Kaffeefilteraufsatz verwenden. Die Wahl des Getränkes erfolgt vor oder nach dem Geldeinwurf.*



Preise zu verarbeiten, so daß die unterschiedlichen Füllwaren auch zu unterschiedlichen Preisen angeboten werden können.

Alle Kassivorrichtungen haben einen Münzprüfer, der den Wert der eingeworfenen Geldstücke prüft, bevor die Warenausgabe erfolgt. Dabei handelt es sich normalerweise um eine mechanische Einrichtung, die Durchmesser, Stärke und Gewicht der Münzen mißt. Münzen, die diese Vorprüfung bestanden haben, laufen eine geneigte Laufschiene hinab, durch das Magnetfeld eines starken Permanentmagneten. Der Magnet verursacht die Bildung von Wirbelströmen in der Münze, die durch den so entstehenden Luftwiderstand abgebremst wird. Das Ausmaß dieser Abbremsung hängt von den metallischen Eigenschaften der jeweiligen Münze ab. Münzen, die den Permanentmagneten passiert haben und die Laufschiene verlassen, müssen nun einer bestimmten Münzbahn folgen. Nur wenn sie die richtige Masse (abhängig von der Legierung) und die richtige Rollgeschwindigkeit (abhängig von der Verzögerung durch das Magnetfeld) besitzen, können sie über einen Abweisstift hinweg in den Auslösekanal rollen. Falsche Münzen werden ausgeschieden. Manche Geräte sind zusätzlich mit einem Lochmarkenfänger ausgerüstet, der mit einer in die Münzbahn ragenden Nase derartige Münzen zurückhält.

Wenn auch zur Zeit der mechanische Münzprüfer noch weitaus am häufigsten ist, ist doch die Tendenz, in zunehmendem Maße auch elektronische Prüfmethoden einzusetzen.

## Heiße Getränke

Verkaufsautomaten für heiße Getränke zählen zu den größten Teilbereichen des Warenautomatengeschäfts. Leicht lösliche

Zutaten, wie sie auch im Haushalt üblich sind, werden zur Herstellung von Kaffee, Tee, Schokolade oder auch Suppendrinks verwendet, die alle von derselben Maschine ausgegeben werden können.

Zunächst stellt der Automat einen Kunststoff- oder Pappbecher in einem entsprechenden Gefach zur Aufnahme des Getränkess bereit. Die Becher selbst sind im Ausgabegerät übereinander gestapelt, wobei jeweils der unterste nachrückt, wenn durch Einwerfen des geforderten Geldbetrages ein Drink 'abgerufen' wird.

Das zur Herstellung des gewünschten Getränkens erforderliche kalte Wasser wird der normalen Wasserleitung entnommen und in einem im Automaten eingebauten Boiler auf 80°C erhitzt. Das fertige Getränk hat dann eine Temperatur von ungefähr 75°C und ist damit sofort trinkbereit. Das Mischen der Zutaten erfolgt in trichterförmigen Mischbehältern. Das heiße Wasser wird von oben so in das Mischgefäß gegossen, daß am Ausgang des Trichters ein Strudel entsteht. An dieser Stelle werden die genau bemessenen Zutaten zugefügt, gemischt und gelöst, bevor sie in den Becher gelangen. Schokolade und Suppendrinks werden in der Regel in einer separaten Kammer noch zusätzlich verquirkt, um eine bessere Mischung zu erreichen, bevor auch sie in das bereitstehende Gefäß gefüllt werden.

Neben den beschriebenen Getränkeautomaten, die Instantprodukte verarbeiten, gibt es auch noch andere, die nach der konventionelleren Methode Teeblätter oder Kaffeepulver mit heißem Wasser übergießen, kurze Zeit ziehen lassen und dann, ebenfalls in Pappbechern, ausgeben.

## Kalte Getränke

Kassivorrichtung, Getränkewahl und Becherausgabe gleichen denen heißer Getränkeautomaten. Die Zutaten werden im Automaten in Sirupform bereithalten und bei Bedarf mit Leitungswasser oder kohlensäurehaltigem, kaltem Wasser gemischt.

Das Leitungswasser wird auf etwa 3°C bis 6°C heruntergekühlt und dann sofort mit dem Sirup im richtigen Verhältnis zu dem gewünschten kohlensäurefreien Getränk gemischt. Wird ein kohlensäurehaltiges Getränk verlangt, muß dem kalten Wasser außerdem über einen eingebauten Kohlensäureerzeuger Kohlensäure zugesetzt werden.

## Sonstige Füllwaren

Andere Automaten dienen der Ausgabe von Eßwaren oder anderen verpackten Waren geringer Größe.

Bei den mit Schubkästen ausgerüsteten Verkaufsautomaten wird von den in einem Waren schacht übereinander gestapelten Warenpackungen die jeweils unterste durch einen Zugmechanismus entnommen (Zigaretten-, Kaugummiautomaten). Alternativ dazu läßt sich die Ware auch einzeln in übereinander angeordneten Warenfächern ('Gefachen') unterbringen; man spricht dann von Gefachautomaten. Da jedes Gefach unabhängig vom anderen Waren verschiedener Größe und Form aufnehmen kann, ist ein solcher Automat sehr vielseitig. Die Ware kann vom Kunden durch an der Vorderseite angebrachte Klappen entnommen werden. Bei einem anderen Automatentyp werden die auf waagerechten Tabletts bereitliegenden Waren über eine Schnecke zur Warenausgabe transportiert. Automaten dieser Bauart bieten neben einem erheblichen Fassungsvermögen und einer sehr ansprechenden und übersichtlichen Warenpräsentation auch eine Vielzahl von Wahlmöglichkeiten (etwa 20 bis 30).

*Dieser Verkaufsautomat bietet acht verschiedene Sorten heißer Getränke zur Auswahl an. Neben Kaffee, Tee und Schokolade bereitet er auch verschiedene Suppen zu.*



## VERMESSUNG

**Bevor Landkarten gezeichnet, Straßen gebaut oder Pipelines verlegt werden können, muß das entsprechende Gelände vermessen werden, um ein dreidimensionales Bild der natürlichen und der von Menschen geschaffenen Verhältnisse auf der Erdoberfläche zu erhalten.**

Grundsätzlich gibt es in der Vermessungstechnik zwei verschiedene Kategorien: Die 'geodätische Vermessung' berücksichtigt die Erdkrümmung, während die 'Planmessung' (mit Hilfe des Meßtisches) davon ausgeht, daß die einzumessenden Punkte alle in einer horizontalen Ebene liegen. Bei allen großräumigen Vermessungen handelt es sich um geodätische Messungen; bei Gebieten, deren Perimeter unter 15 km liegt, liefern Meßtisaufnahmen in der Regel hinreichend genaue Ergebnisse.

*Die Chephrenpyramide in Giseh in der Nähe von Kairo wurde vor über 4 500 Jahren erbaut.*

*Obwohl die damaligen Landmesser keine der heute verfügbaren Präzisionsinstrumente hatten, erzielten sie doch eine sehr hohe Meßgenauigkeit.*

### Meßverfahren

Im Prinzip beruht jede Vermessung auf einfachen geometrischen Gesetzen. Ist die Lage von zwei Punkten, z.B. A und B, genau bekannt und soll der Standpunkt eines Gegenstandes, etwa eines Baumes, auf dem zu vermessenden Gelände bestimmt werden, so bieten sich vier verschiedene Vorgehensweisen an: Man mißt die Entfernung vom Baum zu A und zu B; man bestimmt den Punkt, der auf einer zwischen A und B gedachten Linie dem Baum am nächsten kommt (häufig durch Schätzen nach Augenmaß), und mißt seinen Abstand von A und B; man mißt die Entfernung von A zum Baum und gleichzeitig den Winkel zwischen der Strecke AB und der Strecke von A zum Baum; oder aber, viertens, man bestimmt die beiden Winkel, die die von A und B jeweils zum Baum gedachten Linien zur Strecke AB bilden. Zur Bestimmung der Lage von Gegenständen nach den beiden erstgenannten Methoden kann ein mit einer Skala versehenes Stahlmeßband dienen — man spricht dann von 'Kettenmessung'. Das dritte Verfahren erfordert die Messung von Winkeln mit einem 'Theodoliten' (siehe unten) und von Entfernungen und wird entsprechend als 'Theodolit-Polygonvermessung' (Polygon = Vieleck) bezeichnet. Bei der vierten



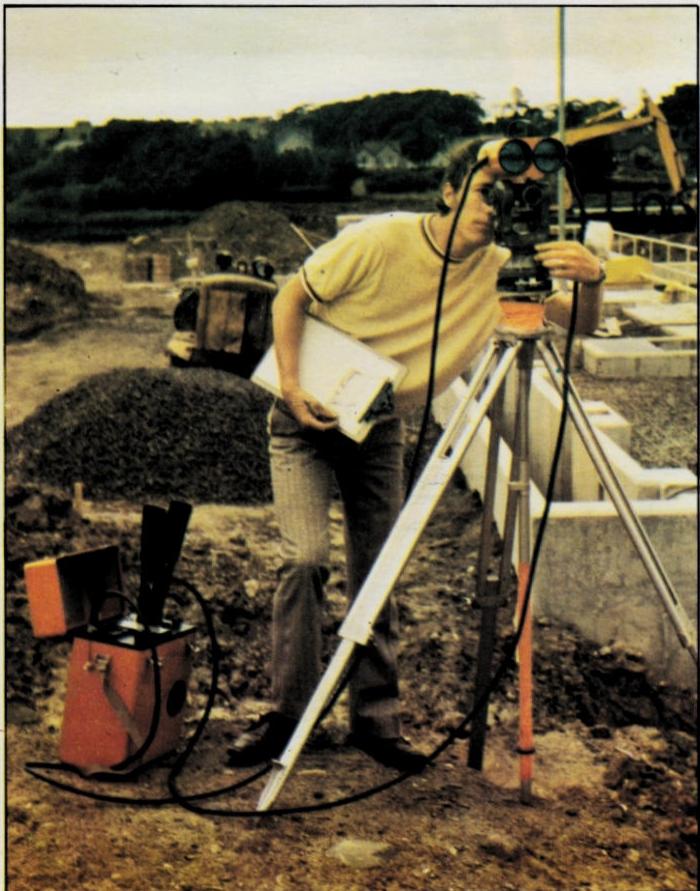
Methode schließlich ist lediglich die Bestimmung von Schnittwinkeln, ebenfalls mit Hilfe eines Theodoliten, erforderlich ('Schnittwinkelmessung').

Die Planmessung geht davon aus, daß die verschiedenen einzumessenden Punkte auf einer Horizontalebene liegen. Deshalb ist es erforderlich, jede Abweichung nach oben oder unten auf die Basisebene zu bringen, indem man den Höhenunterschied zwischen den beiden Niveaus mißt und den Pythagoraischen Lehrsatz anwendet oder aber den jeweiligen Neigungswinkel mit Hilfe eines Theodoliten bestimmt.

Eine typische Vermessungsaufgabe wäre z.B. eine Parzelle mit einem Haus und ein paar Bäumen. Als erstes sucht sich der Landmesser ein paar Orientierungspunkte, z.B. A, B, C und D, von denen jeder in der Nähe einer Ecke des Geländes liegt. Im Idealfall ist jeder Orientierungspunkt von jedem anderen Orientierungspunkt aus sichtbar. Als nächster Schritt werden die Entferungen zwischen den Orientierungspunkten (einschließlich zumindest einer Diagonalentfernung zwischen zwei entgegengesetzten Punkten) mit einem Stahlband gemessen und maßstabgerecht auf einen Plan übertragen. Das aufgetragene Viereck ABCD bildet eine Art Gerüst, innerhalb dessen die anderen Details des Geländes wie etwa Bäume, Hausecken usw. üblicherweise durch Kettenmessung fixiert werden. Die zweite der oben angeführten Kettenmeßtechniken gelangt gewöhnlich überall dort zur Anwendung, wo sehr viele Einzelheiten auf dem Plan eingetragen werden müssen. Der

**Unten links:** Theodolit mit 'Distomat', einer Zusatzeinrichtung zur Distanzmessung (orange). Der Theodolit mißt Vertikal- und Horizontalwinkel auf die Winkelsekunde genau; der 'Distomat' ermittelt anhand eines vom Zielpunkt reflektierten Infrarotstrahles Entfernungen bis zu 2 km auf 1 cm genau.

**Unten rechts:** Ein typischer Allzweck-Theodolit, wie er im Vermessungswesen eingesetzt wird.



B &amp; K SURVEYS

Ein Taucher/Landmesser bei einer etwas ungewöhnlichen Vermessungsaufgabe auf dem Meeresboden benutzt einen speziell für Unterwasserverhältnisse konstruierten Theodoliten.



SURVEY &amp; GENERAL INSTRUMENTS



Landmesser wird stets bemüht sein, das Gelände mit einem Netz aus Dreiecken mit gemessenen Schenkellängen zu überziehen und im Interesse größtmöglicher Genauigkeit die Schenkellängen so groß wie möglich zu halten. Natürlich ist das Auftragen der verschiedenen Details auf den Plan schwieriger, wenn das Gelände starke Höhenunterschiede aufweist und die gemessenen Längen auf horizontale Entferungen reduziert werden müssen. Wo dies der Fall ist, werden ein optisches Nivellierinstrument und Meßblätter, sogenannte Nivellierlatten, eingesetzt.

### Nivellieren

Das Nivellierinstrument besitzt ein Fernrohr, das sich in der Horizontalebene um eine vertikale Achse drehen lässt. Das Fernrohr ist auf ein verstellbares Stativ montiert und mit einer Libelle versehen, so daß es genau auf die Horizontalebene eingestellt werden kann. Im Visier des Instrumentes wird eine horizontale Linie, die sogenannte Grund- oder Bezugslinie,

sichtbar. Ist das Nivellierinstrument genau eingestellt, liegen alle auf dieser Linie erscheinenden Punkte auf gleichem Niveau.

Zum Messen von Höhenunterschieden zwischen Geländepunkten verwendet man das Nivellierinstrument zusammen mit in Zentimeter oder Millimeter geteilten Nivellierlatten.

Eine Nivellierlatte wird zunächst senkrecht mit der Basis auf einer Höhenmarke (deren Höhe über NN genau feststeht) oder einem anderen bekannten Fixpunkt angesetzt. Das Nivellierinstrument wird in einiger Entfernung aufgestellt und auf die Nivellierlatte fokussiert. Die Ablesung an der Nivellierlatte erfolgt durch das Fernrohr dort, wo sie die Bezugslinie kreuzt; man erhält die Höhe des Instrumentes über dem Festpunkt. Anschließend wird das Nivellierinstrument horizontal gedreht und auf eine zweite Nivellierlatte gerichtet, die an dem Punkt steht, dessen Niveau bestimmt werden soll; auch der Zielstrahl auf die zweite Latte wird abgelesen. Durch einfache Addition und Subtraktion läßt

sich die Höhe des unbekannten Punktes über dem Festpunkt errechnen. Dieser so gewonnene Punkt kann jetzt als neuer Fixpunkt für weitere Nivellements dienen. Auf diese Weise lassen sich auf einem zu vermessenden Gelände, wo immer erforderlich, die Höhenabstände zwischen verschiedenen Punkten bestimmen.

### Theodolit

Ist es im Verlaufe der oben beschriebenen Vermessung nicht möglich, eine der diagonalen Entfernung zu bestimmen (ein Gebäude oder ein anderes Hindernis kann dem im Wege stehen), so müssen die Innenwinkel zwischen den Schenkeln des Vierecks ABCD gemessen werden, und zwar entweder mit einem Kompaß oder — genauer — mit einem Theodoliten.

Der Theodolit als wichtigstes Hilfsmittel der Vermessungskunde dient zum Messen von Horizontal- und Vertikalwinkeln. Wie das Nivellierinstrument besitzt auch der Theodolit ein Fernrohr und eine genaue Libelle, so daß er sich horizontal stellen läßt. Beim Theodoliten läßt sich das Fernrohr jedoch sowohl um die Horizontal- als auch um die Vertikalachse drehen, die sich im Zentrum des Instrumentes schneiden. Jede Drehung des Fernrohrs um die jeweilige Achse wird an einem auf seinem Rand genau geteilten Kreis (Horizontal- bzw. Vertikalkreis) angezeigt und abgelesen. Die erzielte Genauigkeit schwankt von Gerät zu Gerät; ein guter Theodolit sollte jedoch in der Lage sein, Winkel auf die Sekunde genau zu messen. Dies gestattet dem Landmesser, genaue rechtwinklige Koordinaten für bis zu mehrere Kilometer voneinander entfernte Punkte zu berechnen.

Polygonaufnahmen werden bei allen größeren Vermessungen verwendet; der Theodolit dient der Ablesung aller Winkel zwischen den verschiedenen Orientierungspunkten; durch Mitbenutzung einer Distanzlatte kann das Fernrohr zum Entfernungsmesser eingerichtet werden. Die Genauigkeit solcher Messungen läßt sich durch Zurückverfolgung bis zum Ausgangspunkt überprüfen.

### Tachymetrie

Bei einer umfangreichen Vermessung werden die Einzelheiten im Gelände nach der jeweils am besten geeigneten Methode bestimmt; dazu gehört auch die Tachymetrie, d.h. die optische Distanzmessung. Die meisten Theodolite verfügen zusätzlich zu dem im Blickfeld sichtbaren Fadenkreuz über zwei kurze Markierungen, die die vertikale Visierlinie oberhalb und unterhalb der horizontalen Visierlinie kreuzen. Diese 'Distanzstriche' sind so genau angebracht, daß beim Anvisieren einer Distanzlatte die Differenz zwischen der oberen und unteren Lattenablesung gegenüber diesen Markierungen jeweils einen festen Bruchteil (gewöhnlich 0,01, also 1/100) der Entfernung zwischen dem Meßgerät und der Distanzlatte beträgt. Oder, mit anderen Worten, wenn die untere Markierung mit der 1-m-Linie der Meßplatte und die obere Markierung mit der 2-m-Linie zusammenfallen, beträgt die Differenz zwischen beiden 1 m, d.h. das Meßinstrument und die Distanzlatte im Zielpunkt sind 100 m voneinander entfernt.

Diese Art der optischen Entfernungsmessung wird komplizierter, wenn die Visierlinie nicht senkrecht zur Meßplatte verläuft, weil dann ein perspektivischer Fehler auftritt, der durch trigonometrische Korrekturen ausgeglichen werden muß. Der Vorteil dieser Meßtechnik liegt darin, daß die Lage einzelner Geländepunkte und ihre auf einen Punkt bezogene Höhe in einem Arbeitsgang ermittelt werden können. Die Theodolit-Tachymetrie ist allerdings keine sehr genaue Methode der Entfernungsmessung: Mit Abweichungen im Bereich von 1% muß man in der Regel rechnen.

Mit der Einführung der 'Tachymeter' hat die Tachymetrie als Meßverfahren in den letzten Jahren jedoch beträchtlich an Beliebtheit gewonnen. Bei diesen Meßgeräten handelt es



CZ SCIENTIFIC INSTRUMENTS

*Reduktions-Entfernungsmesser zur Messung von horizontalen Entfernungen.*

sich um Theodolite für Geländeaufnahmen mit einer Zusatzeinrichtung, die den Neigungswinkel der Visierlinie kompensiert, so daß die horizontale Entfernung zwischen dem Gerät und der entsprechend am Zielpunkt aufgestellten Distanzlatte direkt abgelesen werden kann. Ein Fabrikat aus der Schweiz verfügt über ein geteiltes Bild (Doppelbild-Tachymeter), wobei das Ausmaß der Bildteilung je nach Neigung des Fernrohrs variiert. Als Zielpunkt wird eine horizontale, auf ein Stativ montierte Meßplatte anvisiert. Dann wird eine Einstellwalze so lange gedreht, bis auf den gegenüberliegenden Hälften des geteilten Bildes angebrachte Markierungen deckungsgleich sind. Die horizontale Entfernung zwischen dem Gerät und dem Zielpunkt läßt sich über eine Strecke von maximal 220 m nun auf ein Zehntausendstel genau bestimmen.

Genaue Messungen größerer Entfernungen können mit Geräten vorgenommen werden, die die Zeit messen, die elektromagnetische Strahlen zum Zielpunkt hin und wieder zurück benötigen. Für Entfernungen bis zu 3 km wird Licht bekannter Frequenz in Form eines Strahles vom Meßgerät zu einem reflektierenden Zielpunkt projiziert und die für den Hin- und Rückweg benötigte Zeit durch wiederholten Phasenvergleich mit geänderter Frequenz ermittelt. Ein im Meßgerät eingebauter Rechner rechnet die Phasendifferenzen in Entfernungen um, die digital oder auf einer Rundskala angezeigt werden.

### Triangulation

Ist die Vermessung eines sehr großen Geländes erforderlich (z.B. für Landesaufnahmen), so zieht der Landmesser zunächst eine lange Grund- oder Bezugslinie und bestimmt, von dieser Linie ausgehend, einen dritten Punkt, um so das Primärdreieck zu bilden. Üblicherweise hat die Grundseite eines solchen Dreiecks eine Länge von 30 km. Das Primärdreieck bildet die Basis aller weiteren Messungen; seine drei Eckpunkte bilden die Hauptorientierungspunkte. Es kann, je nach Bedarf, zu einem Dreiecks-Netz erweitert oder in kleinere Dreiecke unterteilt werden.



# Erfindungen 59: SCHALL-AUZEICHNUNG

Betrachtet man die historische Entwicklung der Schallaufzeichnungsgeräte, so ist man erstaunt, wie lange die Menschen gebraucht haben, die einfache und seit langem bekannte Aussage 'Schall erzeugt Schwingungen, deshalb lassen sich auch Schwingungen in Schall umwandeln' praktisch anzuwenden. Die dazu notwendige Apparatur ist in Wirklichkeit so einfach, daß sie schon Jahrhunderte vor der Entwicklung eines solch präzisen Instrumentes wie der Uhr hätte gebaut werden können. Federangetriebene Uhren kennt man seit der Zeit um 1450.

Sogar den alten Kulturvölkern, den Chinesen und den Ägyptern, war

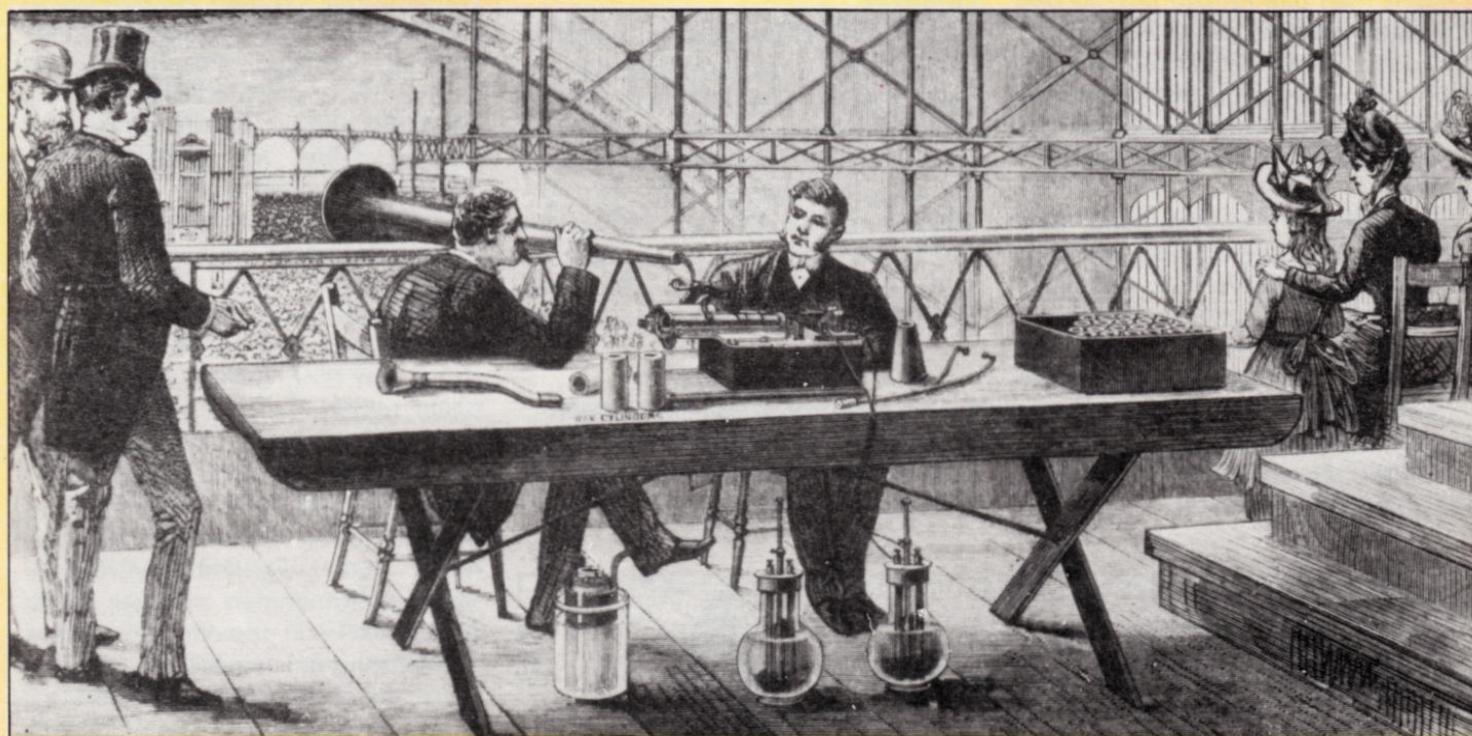
bekannt, daß Schall Schwingungen erzeugt. Wissenschaftler und Gelehrte träumten seither von Schallspeicher- und Wiedergabegeräten, ohne das einfache Geheimnis ihrer Arbeitsweise ergründet zu haben. Cyrano de Bergerac berichte im Jahre 1649 in einer Schrift von einem Kasten 'voller kleiner Federn und winziger Maschinen', aus dem Töne 'wie aus dem Munde eines Menschen oder eines Musikanstrumentes' erklangen, nachdem man die Federn aufgezogen hatte.

## Der Einfluß des Telefons

Durch die Erfindung des Telefons wurde auch die Entwicklung der Schallspeicher beeinflußt. So kam

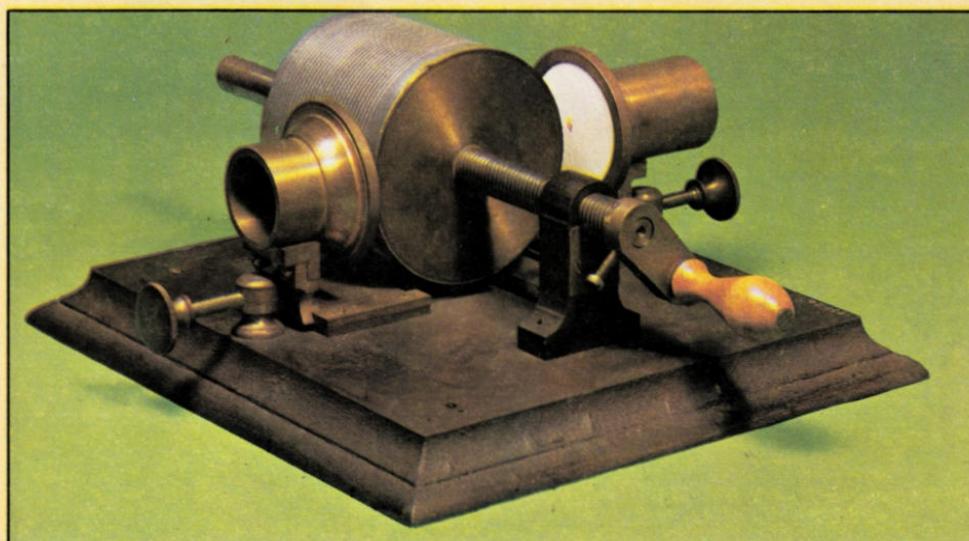
es, daß es schon nach elektrischen Prinzipien arbeitende Schallwandler gab, bevor man Schallspeicher baute, deren Arbeitsweise auf akustisch-mechanischen Vorgängen beruhten. Bereits vor 1854 sind mit elektrischen Schaltungen praktische Versuche gemacht worden, deren Ziel es war, eine Verständigungsmöglichkeit über eine Fernsprechleitung zu schaffen und nicht Möglichkeiten von Schallaufzeichnungsverfahren herauszufinden.

Alexander Bell (1847 bis 1922), dessen Fernsprecher 1876 patentiert wurde, dachte dabei nicht an Unterhaltungszwecke; merkwürdigerweise war Thomas A. Edison (1847 bis 1931) auch nur auf Fernsprechen



Oben: Vorführung des von Edison verbesserten Phonographen im Londoner Kristallpalast im Jahre 1888.

Rechts: Die Nadel von Edisons Phonographen wurde zunächst zum Schneidvorgang befestigt. Danach wird sie durch Schall zum Schwingen angeregt; die Schwingungen ritzten eine Rille. Die Nadel wird von einer Spindel geführt.



festgelegt. Viele interessierte Erfinder waren im Begriff, zufällig auf eine Lösung zu stoßen. Es blieb jedoch Edison vorbehalten, die ersten Geräte zu erfinden.

### **Edisons Phonograph**

Edison sah den physikalischen Zusammenhang zwischen den Druckänderungen, die der Schall erzeugt, und den Rückwändlungen der Druckänderungen in hörbare Schallsignale. Ein einfacher Trichter verdichtet am schmalen Ende seine Stimme so kräftig, daß eine Membran zu schwingen beginnt. Die Schwingungen der Membran werden auf eine Feder oder Nadel übertragen, die mit der Membran verbunden ist. Ritzt nun die Nadel in Abhängigkeit ihrer Schwingungen eine Spur in irgendein weiches Material, das auf einem sich drehenden Zylinder aufgebracht ist, sind die Schwingungen aufgezeichnet und gespeichert.

Kehrt man das Prinzip um, so daß die Nadel von der Spur ausgelenkt, d.h. zum Schwingen angeregt wird, führt die Membran entsprechende Vibrationsbewegungen aus und der ursprüngliche Schall ertönt aus dem Trichter.

Auf diesen Gedankengang aufbauend, konstruierte Edisons Kollege John Kreusie eine einfache Maschine. Als weiches, einritzbares Material verwendete er Zinnfolie und hatte als erster das Erlebnis, seine eigene Stimme von einem Phonographen zu hören. Edison nannte das Gerät Phonograph und ließ es am 19. Februar 1878 patentieren.

### **Speicherung auf Platten**

Edison begann schließlich mit der Produktion der Zylinder-Phonographen, deren Mechanismus er verbesserte. Als weiches Material für die Trommel verwendete er Wachs. Die Trommel blieb bis 1916 in der Produktion. In der Zwischenzeit nutzten Konkurrenten seine Ideen.

Hier muß Emil Berliner (1851 bis 1929) besonders erwähnt werden, der sich im Jahre 1881 die Schallplatte als Schallspeicher erdachte. Zunächst wurde das Grammophon als etwas Nützliches im Bereich der Werbung angesehen, und es dauerte noch einige Zeit, bis sein Hauptwendungsgebiet im Unterhaltungssektor erschlossen wurde. Die ersten käuflichen Schallplatten und Abspielgeräte wurden in Deutschland nicht vor 1889 und in Amerika nicht vor 1893 angeboten.

### **Schallplatten mit verbesserter Qualität**

Schallaufzeichnungsgeräte erlebten ihren großen Aufschwung im 20. Jahrhundert. Magnetische Drahtspeicherung wurde im Jahre 1898 erfunden, aber handelsüblich blieben Schallspeichergeräte nach dem beschriebenen akustischen Prinzip bis 1925, als die ersten elektrischen Aufzeichnungen von Victor und Columbia in Amerika herausgebracht

**Die Massenproduktion der härteren und lautstärkeren Platten verdrängte die Trommeln des Grammophons; hier ein Modell aus dem Jahre 1890.**



wurden. Zur elektrischen Speicherung wurden Mikrofone und Verstärker mit günstigeren Ergebnissen eingesetzt, als es bei Schallschwüngen allein der Fall war. Über hochwertige Wiedergabe ist viel geredet worden, aber eine wirkliche Schallspeicherung über den gesamten Frequenzbereich erreichte man nicht vor 1944. Aufzeichnungen auf Langspielplatten mit Mikrorillen wurden im Jahre 1948 eingeführt. Stereoplatten wurden allgemein erst im Jahre 1958 hergestellt.

Mit den fortschreitenden Verbesserungen in der Aufzeichnungstechnik interessierten sich immer mehr Musiker für Plattenaufnahmen zur Selbstdarstellung. Heute gibt es Interpreten klassischer Musik, die nie ein öffentliches Konzert gaben, aber mit ihren Plattenaufnahmen berühmt geworden sind.

### **Magnetbandspeicherung**

Die Magnetbandspeicherung wurde während des Zweiten Weltkrieges in Deutschland perfektioniert. Im Verlaufe der nächsten Jahrzehnte wuchs daraus ein volkstümliches Hobby. Vor 1950 wurden alle Rundfunksendungen selbst von großen Rundfunkgesellschaften auf Platten gespeichert. Wurde eine Sendung nochmals gewünscht, konnte man die Platte aus dem Archiv anfordern.

Bandaufnahmen setzte man zuerst zur Verbesserung einer Rundfunkshow von Bing Crosby ein. Mittlerweile haben sie sich zu einer unschätzbareren Hilfe während der Schallplattenherstellung durch Mehrspuraufnahmen und durch Wiederholung von Abschnitten zur Korrektur von Fehlern entwickelt. Mehrspuraufnahmen machten Mitte 1950 Les Paul populär, der Gitarre und Gesang mit seiner Frau auf diese Weise aufzeichnete; In den sechziger Jahren war dies schon standardisierte Technik. Heute können manche Musikstücke nur als Tonaufnahme existieren, weil ein einzelner Künstler mehrere Instrumente nacheinander aufzeichnet.

Die Erfindung der Kompaktkassette im Jahre 1963 revolutionierte die Bandspeichergeräte. Vergleichsweise niedrige Kosten, bequeme Handhabung und das standardisierte Format der Geräte brachten es mit sich, daß jedermann zu jeder Zeit Aufnahmen machen konnte. Die Vorteile sind vergleichbar mit der Einführung des Filmes gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts, durch den sich die unhandlichen Plattenkameras ersetzen ließen.