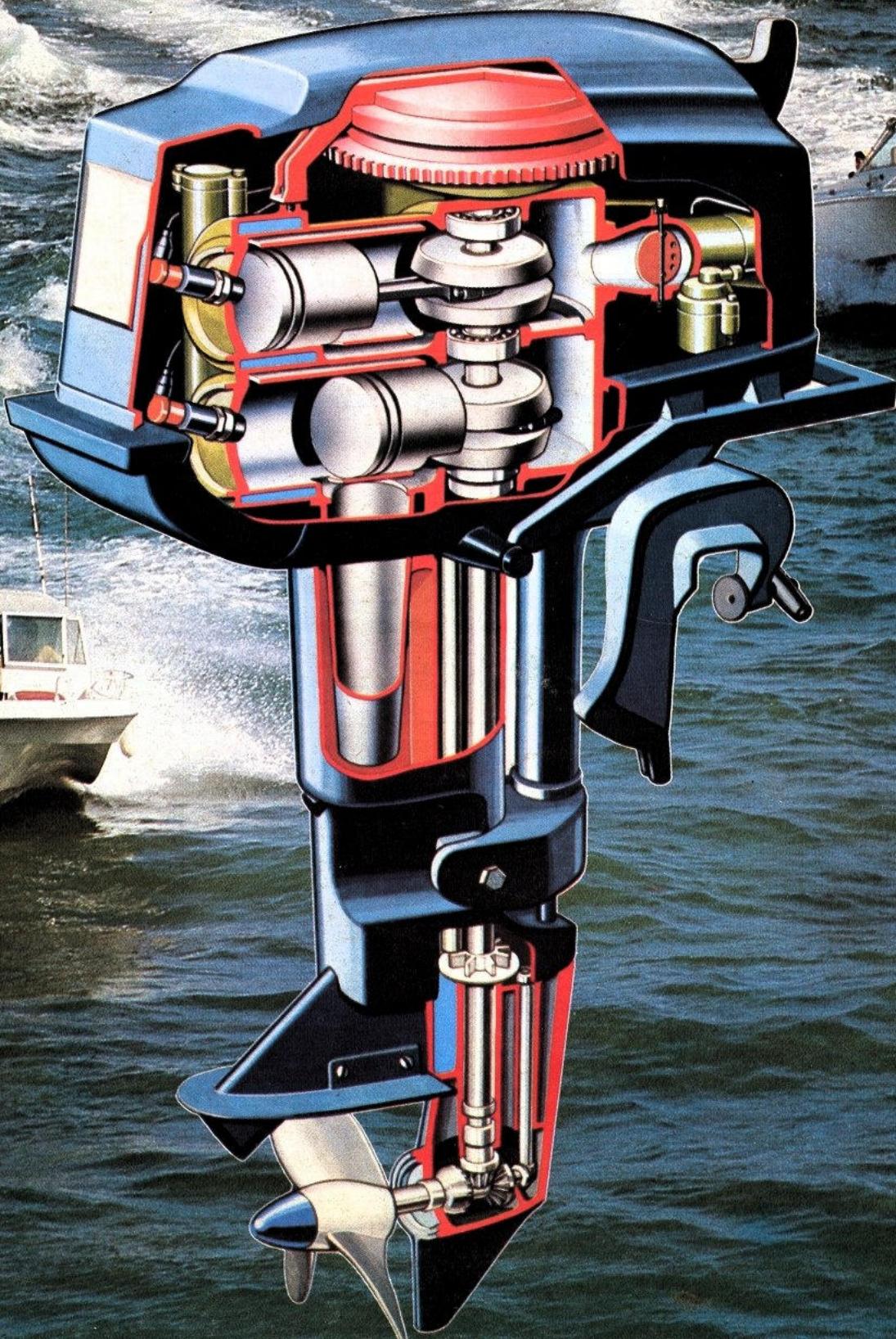


HEFT 3 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDOCH WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

Österreich: Das einzelne Heft kostet öS 25. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363.130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei. Kennwort: HEFTE.

Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

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.

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

Inhalt

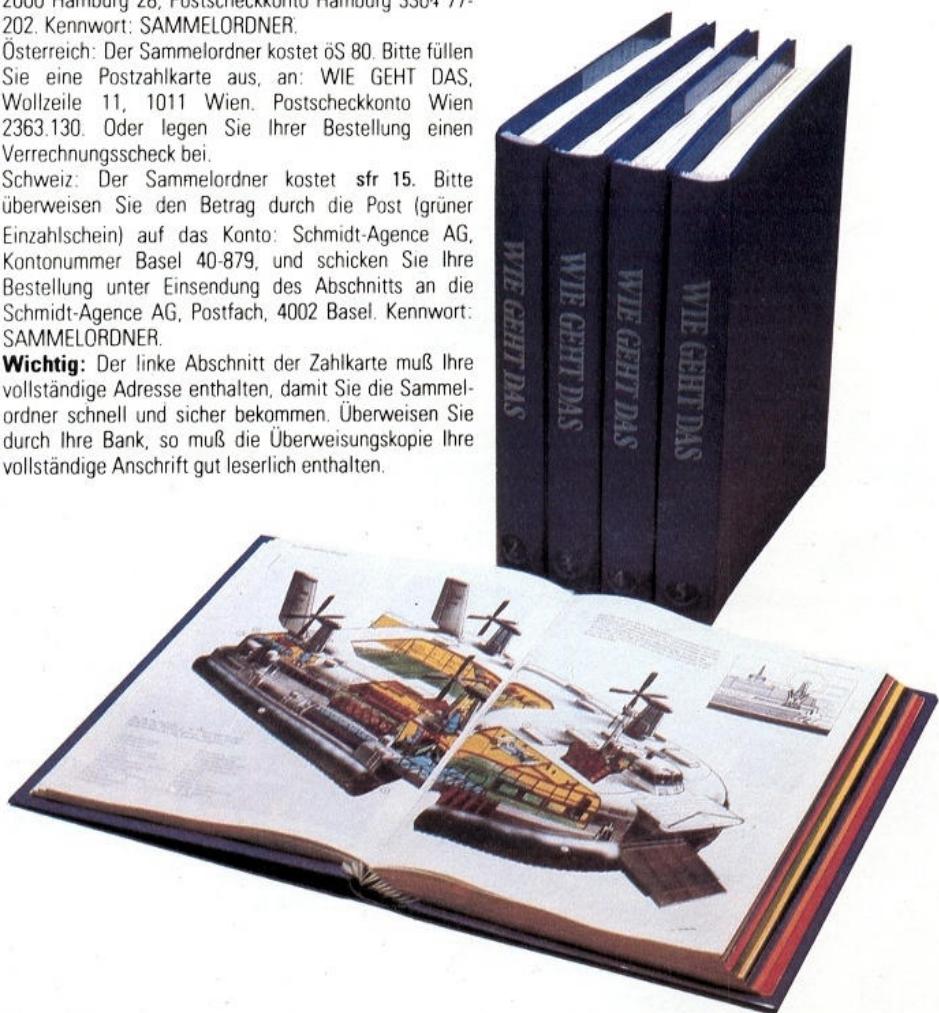
Asbest	57
Atome und Moleküle	58
Atomreaktor	63
Atomuhr	67
Aufhängung	69
Auftanken in der Luft	73
Auslegerbrücken	75
Aussenbordmotor	77
Automatikgetriebe	80

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 schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung des Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: SAMMELORDNER.

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



ASBEST

Bei Asbest handelt es sich um einen gegen Hitze isolierenden, feuerbeständigen Werkstoff. Er findet umfangreiche Verwendung, beispielsweise beim Hausbau, in Autos, in Raketen und bei der Schutzkleidung der Feuerwehr.



TURNER & NEWALL

Oben: Weißer Asbest mit seiner Faserstruktur. Dieser Asbest ist ausgezeichnet für die Verarbeitung in Feuerschutanzügen geeignet.

Die moderne Asbestherstellung begann im Jahre 1868 in Italien. Heute wird Asbest in den Vereinigten Staaten, der Sowjetunion, der Bundesrepublik Deutschland, England, Italien, Österreich, Spanien, Kanada und Australien hergestellt.

Es gibt zwei Hauptsorten, den weißen Asbest und den blauen bzw. aschgrauen Asbest. Der weiße Asbest ist bekannter; er wird in der Geschichte früher erwähnt. Die reichsten Vorkommen befinden sich in Kanada, in der Nähe von Quebec, und im Ural in der Sowjetunion. Der weiße Asbest ist kürzer und feiner in der Faserstruktur, sein Schmelzpunkt liegt höher, d.h. er hat eine höhere Feuerbeständigkeit. Hierdurch eignet er sich besonders gut für die Verarbeitung zu feuerfester Kleidung.

Der blaue bzw. aschgraue Asbest wird hauptsächlich in Südafrika gewonnen. Er hat eine längere Faserstruktur, die sich als Verstärkungsmaterial für Asbestzement und als Verstärkung bei bestimmten faserverstärkenden Kunststoffen eignet. Es gibt keine klare Abgrenzung dieser beiden Hauptsorten; in verschiedenen Mengen und Zusammensetzungen sind beide für viele Anwendungsbereiche gleichermaßen gut geeignet.

Asbest ist ein natürlicher Faserstoff, der kaum erkennen läßt, daß er als Mineral in Felsspalten vorkommt; er wird durch Abbau gewonnen. Alle Asbestsorten haben den gleichen Ausgangsstoff, nämlich Metallsilikat, wie Magnesium-, Calcium- oder Natriumsilikat.

Verwendung von Asbest

Um zu vermeiden, daß die Arbeiter durch den Umgang mit Asbest während der Gewinnung gesundheitliche Schäden durch Einatmen von Asbeststaub davontragen, werden in diesem Industriezweig Abraumfördergeräte und Atemschutzmasken verwendet.

Erzeugnisse, die ausschließlich oder überwiegend aus Asbestfasern bestehen, werden, ähnlich Wolle oder Baumwolle, durch Verweben oder Flechten hergestellt. Zu diesen Er-

zeugnissen gehören Tuch, Bänder, Bremsbeläge, Dichtungen, Gasfilter, Feuerschutzkleidung für die Feuerwehr und für Gießereiarbeiter sowie Feuerschutzhänge für Theater. Für diese Zwecke muß der Asbestwerkstoff manchmal durch Drahteinlagen verstärkt werden oder auch mit Gummi oder Graphit imprägniert sein.

Die kürzeren Fasern werden zur Herstellung fester Werkstoffe verwendet, der bekannteste ist Asbestzement. Er wurde im 19. Jahrhundert von dem Eigentümer eines Wiener Papier- und Pappenherstellungsbetriebes entwickelt. Er fand heraus, daß starke Pappe, die mit einer Lösung aus 20% Asbestfaser und 80% Zement bestand, einen neuen Werkstoff mit vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten ergab, den er zunächst in Form von 40 cm² großen quadratischen Platten auf den Markt brachte.

Asbestzementverkleidungen sind feuer-, witter- und korrosionsbeständig. Aus diesen Gründen werden sie in der Hauptsache für die Außenseiten von Häusern verwendet.

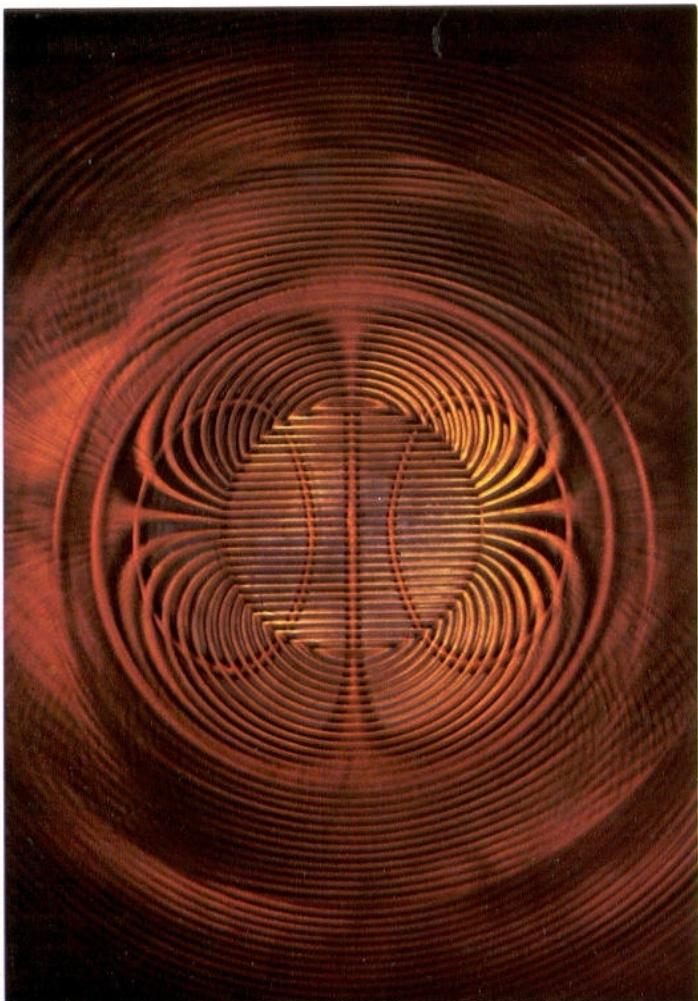
Auch für Druckrohre wird als Material Asbest verwendet. Eine Asbestzementbrühe wird auf einen drehbaren Metallkern aufgetragen, damit der Werkstoff seine Grundform erhält,



BELL ASBEST

Oben: Erprobung eines Feuerschutanzuges aus Asbest, einem idealen Werkstoff, der nicht nur feuerhemmende Eigenschaften besitzt, sondern ausgezeichnet gegen Hitze isoliert. Für Rennfahrer gibt es diese Anzüge mit einer Auflage aus einer Chemikalie, die unter der Einwirkung von Feuer und Hitze feuerlöschende Dämpfe abgibt. Dennoch kommt es bei Unfällen noch zu Verbrennungsverletzungen.

dann abgestreift und in einem Trockenofen getrocknet. Außerdem werden Asbestfasern in faserverstärkten Kunststoffen als korrosionsbeständige Verkleidungen im Rohrleitungsbau verwendet; darüber hinaus setzt man sie auch als Schutzverkleidung im Automobilbau ein.



Oben: Die wellenförmigen Muster in Licht, das von einer elektrischen Entladung stammt. Das Studium dieser Muster half Wissenschaftlern, mehr über die Struktur von Atomen und Molekülen zu erfahren.

ATOME UND MOLEKÜLE

Dieses scheinbar so kompakte Blatt Papier, das Sie gerade lesen, besteht zu 99,999 Prozent aus leerem Raum. So unwahrscheinlich es klingen mag: Wir leben in einem fast vollständigen Vakuum.

Unsere Erde setzt sich aus Atomen zusammen, deren Rauminhalt fast materiefrei ist. Atome sind die Grundbausteine der uns umgebenden Welt. Abhängig von ihrer Struktur gibt es verschiedene chemische Elemente, aus denen sich alle uns bekannten Substanzen zusammensetzen.

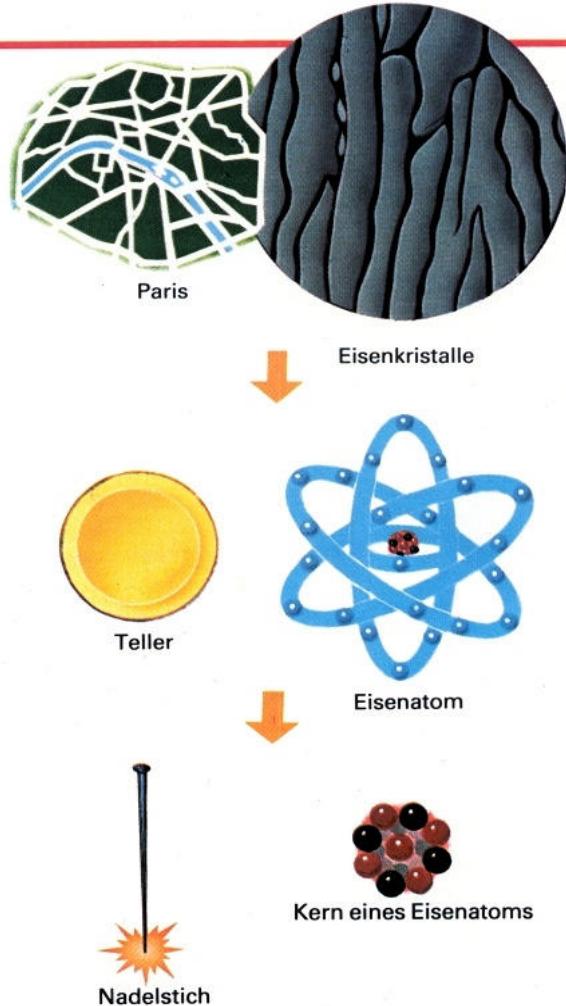
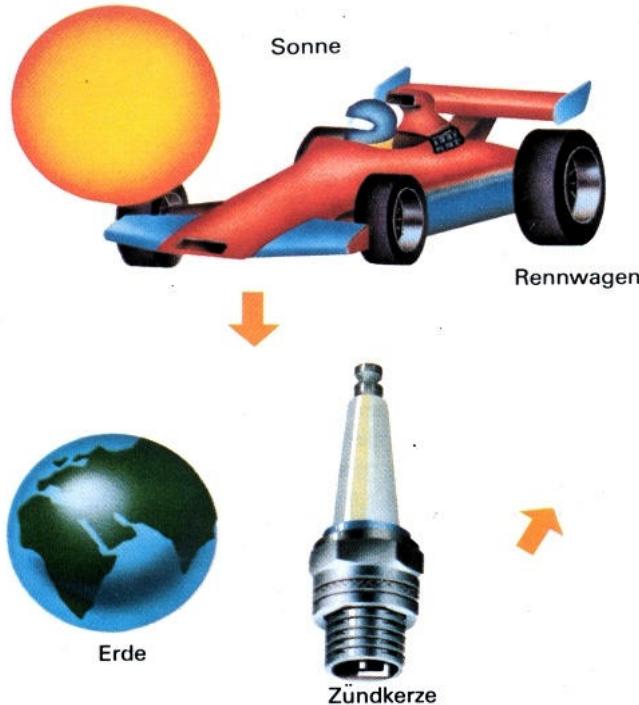
Die Chemiker haben seit langem gewußt, daß die ganze Mannigfaltigkeit der Materie um uns herum aus relativ wenigen, grundlegenden *Elementen* besteht — etwa 90 natürliche Elemente sind bekannt und mehr als ein Dutzend weitere sind künstlich hergestellt worden. Der kleinste Baustein eines Elementes heißt Atom. Das Wort ist griechischen Ursprungs und bedeutet 'unteilbar'. Im 19. Jahrhundert betrachteten die Chemiker die Atome der verschiedenen Elemente als einfache Kugeln mit einem Durchmesser von einem Hundertmillionstel Zentimeter und unterschiedlich großer Masse, aber ohne innere Struktur. Jeder Atomtyp sollte sich mit einer bestimmten Anzahl von anderen Atomen verbinden können; diese Anzahl wurde *Valenz* oder *Wertigkeit* genannt. Die chemischen Verbindungen, in denen Atome fest miteinander verbunden waren, nannte man Moleküle.

Ein Stickstoffatom mit der Wertigkeit 3 verbindet sich beispielsweise mit drei Wasserstoffatomen (jedes mit der Wertigkeit 1) zu einem Ammoniakmolekül (NH_3); ein vierwertiges Kohlenstoffatom verbindet sich mit zwei zweiwertigen Sauerstoffatomen zu Kohlenstoffdioxid (CO_2). Wenn

Unten: Das Universum besteht weitgehend aus 'heißem', ionisiertem Wasserstoffgas ('Plasma'). Da der Wasserstoffkern nur ein Proton enthält, setzt sich dieses Gas aus freien Protonen und freien Elektronen zusammen. Das Bild zeigt ein Plasma im Crab-Nebel.



Das Atom ist sehr klein. Das Größenverhältnis der Sonne zu einem Rennwagen ist das gleiche wie eines Tellers zu einem Eisenatom.



die chemischen Formeln der Moleküle ausgeschrieben werden, werden die Bindungen, die die Atome verbinden, im allgemeinen als Linien dargestellt: Wasser (H_2O) ist $H—O—H$, während die Doppelbindungen im Kohlenstoffdioxid als $O=C=O$ wiedergegeben werden. Einige Bindungen sind auch dreifach, wie z.B. bei Azetylen $H—C\equiv C—H$. In jedem Falle muß die Gesamtzahl der Bindungen an jedem einzelnen Atom dessen Wertigkeit entsprechen.

Grundstruktur des Atoms

Der Charakter der chemischen Bindungen wurde deutlich, als die Entwicklung der QUANTENTHEORIE zu Beginn dieses Jahrhunderts die Struktur der Atome verständlich machte und zeigte, daß Atome nicht einfach feste Kugeln sind. Das Atom hat einen Kern, der positive Ladung trägt und in dem fast die gesamte Masse eines Atoms vereinigt ist. Mit einem Millionmillionstel Zentimeter ist der Durchmesser des Atomkernes zehntausendmal kleiner als der des gesamten Atoms. Um den Kern bewegen sich Elektronen, die negative Ladung tragen. Wegen der Ladungsneutralität nach außen enthält ein Atom die gleiche Anzahl positiver wie negativer Ladungen. Die Kernladung und die Elektronen ziehen sich entsprechend dem Coulombschen Gesetz an. Das Coulombsche Gesetz läßt eine Aussage über elektrische Anziehungskräfte zu. Nach Gesetzmäßigkeiten der Quantentheorie ist jedoch die Position der Elektronen ständig ungewiß, und es ist realistischer, davon auszugehen, daß jedes Elektron sich irgendwo in einer imaginären, diffusen Schale in einer bestimmten Entfernung vom Kern befindet.

Die Quantentheorie gibt auch an, wieviele Elektronen sich maximal auf einer Atomschale aufhalten dürfen. Auf der untersten Atomschale sind nur maximal zwei Elektronen zugelassen, auf der nächsthöheren acht, auf der dritten

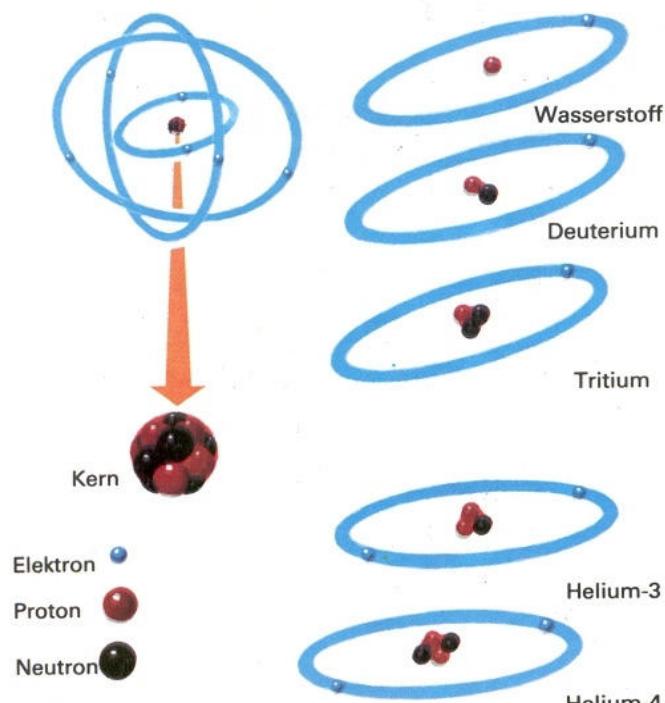
achtzehn, auf der vierten zweiunddreißig usw. In einem Natrium-Atom, das elf Elektronen hat, sind die ersten beiden Atomschalen besetzt, die dritte enthält nur ein Elektron. Es sind die Elektronen in den äußersten, nicht vollständig besetzten Schalen, die die chemischen Eigenschaften eines Atoms bestimmen. Lithium hat z.B. drei Elektronen; seine erste Schale ist besetzt, und die zweite Schale enthält ein Elektron.

Ein Atom mit abgeschlossener Schale ist chemisch inert. Diese Elemente bezeichnet man als Edelgase. Zu ihnen gehören beispielsweise Argon, Neon und Helium. Die anderen Elemente kommen niemals als einzelne Atome vor, sondern verbinden sich immer zu Molekülen oder großen Kristallen.

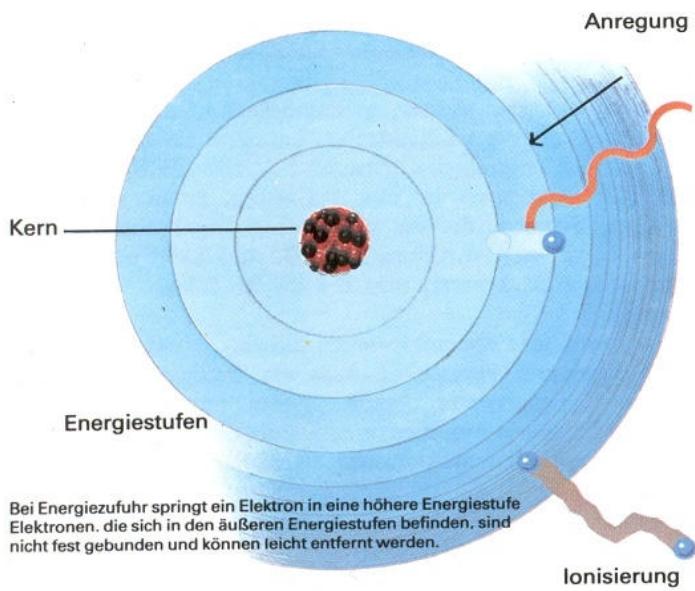
Chemische Bindungen

Bei Metallen sind die auf der äußersten Atomschale befindlichen Elektronen nur locker gebunden. Kombiniert man zwei oder mehrere gleiche Metallatome, werden schon bei Zimmertemperatur die locker gebundenen Elektronen frei. Die Elektronen schwirren wahllos zwischen den einzelnen, nun positiven Metallatomen hin und her. Die Elektronen verhalten sich wie ein Gas, weshalb man auch von Elektronengas spricht. Der hier beschriebene Bindungstyp heißt Metallbindung.

Die Atomschalen nichtmetallischer Elemente sind fast abgeschlossen. Verbindet sich ein metallisches mit einem nichtmetallischen Atom, versuchen beide, ihre stabilste Struktur — die sogenannte Oktettstruktur — zu erlangen. Das metallische Atom gibt seine Elektronen an das nichtmetallische Atom ab. Natrium kann z.B. sein einziges Elektron in seiner dritten Atomschale an ein Chlor-Atom abgeben, das ein Elektron zur Vervollständigung seiner dritten Atomschale

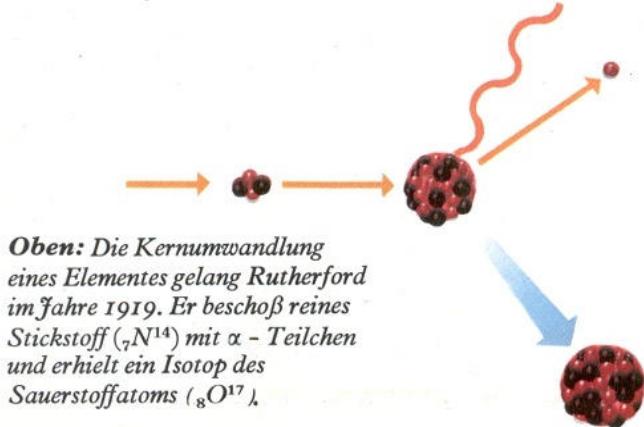


Oben: Ein Kohlenstoffatom hat sechs Elektronen, die einen Kern umkreisen, der aus sechs Protonen und sechs Neutronen besteht.

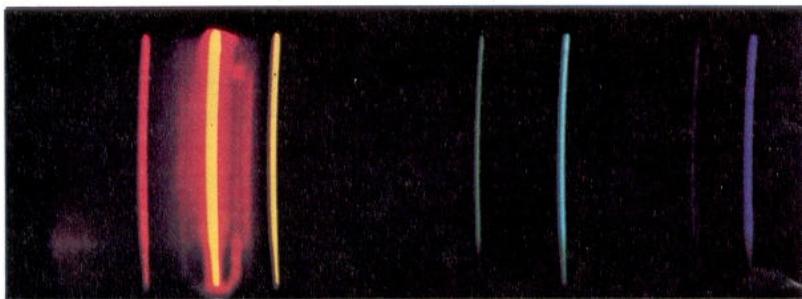


Bei Energiezufuhr springt ein Elektron in eine höhere Energiestufe. Elektronen, die sich in den äußeren Energiestufen befinden, sind nicht fest gebunden und können leicht entfernt werden.

Oben: Anregung und Ionisierung.



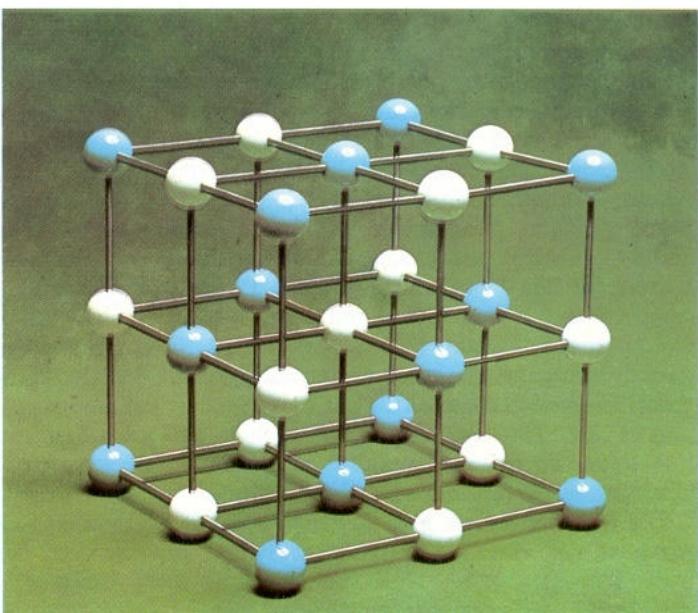
Oben: Die Kernumwandlung eines Elements gelang Rutherford im Jahre 1919. Er beschoss reines Stickstoff (${}_7N^{14}$) mit α -Teilchen und erhielt ein Isotop des Sauerstoffatoms (${}_8O^{17}$).

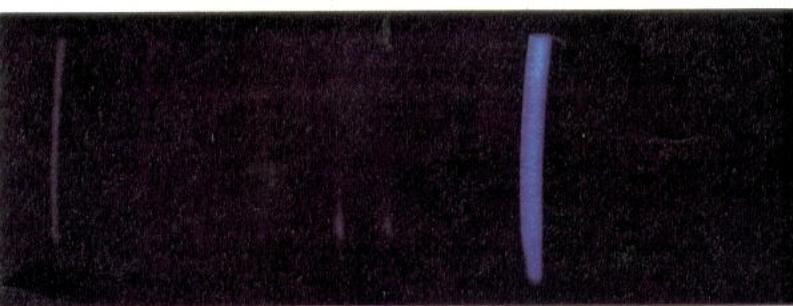


benötigt. Der Wechsel der Elektronen bewirkt eine positive Ladung der Metall-, eine negative Ladung der nichtmetallischen Atome. Derart geladene Atome werden IONEN genannt. Die elektrische Anziehung entgegengesetzter Ladungen bewirkt den dichten Zusammenschluß der Ionen in einem festen, regelmäßigen, kristallinen Gefüge. Natrium- und Chlorionen verbinden sich in einer kubischen Kristallanordnung zu Natriumchlorid (Kochsalz). Man spricht bei diesem Bindungstyp von Ionenbindung.

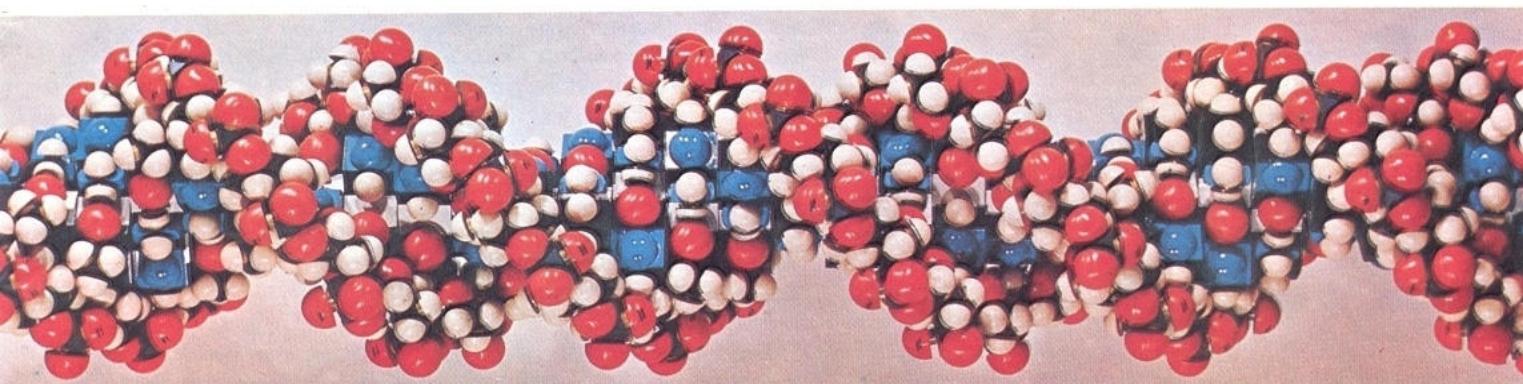
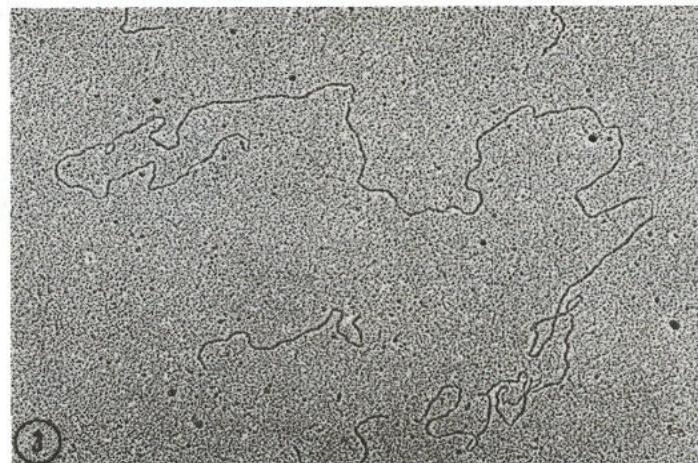
In diesen großen Ionen-Kristallen gibt es keine echten Moleküle. Jedes Ion zieht jedes seiner entgegengesetzt geladenen Nachbarn an, und die Formel $NaCl$ besagt, daß die Atome Natrium (Na) und Chlor (Cl) im Verhältnis 1:1 zueinander stehen. Echte Moleküle, wie die von Wasser oder Ammoniak, enthalten insbesondere die Nichtmetalle; sie entstehen durch eine gegenseitige Überlappung von Elektronen. Ein Wasserstoff-Atom beispielsweise hat ein Elektron und benötigt ein weiteres zur Vervollständigung seiner ersten Atomschale; Stickstoff hat fünf Elektronen in seiner äußeren (zweiten) Atomschale und benötigt drei weitere zur Vervollständigung. In einem Ammoniak-Molekül umkreist jedes der beiden Wasserstoff-Elektronen sowohl sein Stammatom als auch den Stickstoff-Kern. Die Bewegung der Elektronen sowohl um das eine als auch das andere Atom bedeutet, daß jedes Wasserstoffatom von zwei, das Stickstoffatom von insgesamt acht Elektronen umkreist wird; jedes Atom hat eine abgeschlossene äußere Hülle. Diese sogenannte kovalente Bindung hat also Elektronen, die sowohl dem einen als auch dem anderen Atom angehören können.

Unten: In Kristallen sind die Atome oder Moleküle regelmäßig angeordnet. Kochsalz hat eine kubische Kristallstruktur. Wechselweise befinden sich an den Ecken des Würfels Natrium- und Chlorionen.





Oben: Das charakteristische Emissionsspektrum von Natrium. Jedes farbige Band entspricht einem Elektronensprung von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau.



Anregung und Ionisierung

In einem isolierten Atom bleiben die Elektronen in der kleinstmöglichen Schale (mit der niedrigstmöglichen Energie). Bei Energiezufuhr kann jedoch ein Elektron auf eine höhere Atomschale 'springen' (man spricht statt von Atomschale auch von Energieniveau), indem es eine bestimmte Energiemenge (ein Quant) absorbiert. Bei Zufuhr von Lichtenergie wird von einem Elektron nur Licht absorbiert, dessen Wellenlänge genau dem Energiebetrag entspricht, den das Elektron zum Springen in die höhere Atomschale benötigt. Da nur relativ wenige Sprünge der Elektronen möglich sind, tritt nur bei einigen bestimmten Wellenlängen Lichtabsorption auf.

Wenn sich ein Elektron in einer höheren Atomschale befindet (das Atom ist 'angeregt'), springt es nach einer Hundertmillionstel Sekunde wieder spontan in die ursprüngliche Atomschale unter Abgabe von Energie zurück. Die freigesetzte Energie wird in Form einer elektromagnetischen Strahlung abgegeben, die genau der Energiemenge entspricht, die es beim Springen auf ein höheres Energieniveau aufgenommen hat.

Bei ausreichender Energiezufuhr kann ein Elektron vollständig von dem Atom losgelöst werden. Dieser Prozeß wird *Ionisierung* genannt, weil er die Atome in positiv geladene Ionen verwandelt. Ein Atom mit mehreren Elektronen kann verschiedene Stadien der Ionisierung durchlaufen, wenn ihm nacheinander Elektronen entzogen werden. Zum Entfernen jedes weiteren Elektrons aus den Atomschalen ein und desselben Atoms wird der Energieaufwand immer höher. Ein 'Gas', das aus freien Elektronen und den positiv geladenen Ionen ihrer Stamm-Atome besteht, heißt *Plasma*. Dies ist im Unterschied zum festen, flüssigen und gasförmigen Zustand der vierte Aggregatzustand.

Der Kern

Der kleine, positiv geladene Kern eines Atoms enthält fast dessen gesamte Masse: Er besteht aus zwei Arten von Teilchen, von denen jedes 1840 mal schwerer ist als ein Elektron. Die

Die meisten Moleküle sind relativ klein und haben nur wenige Atome, die durch chemische Bindungen in einem festen Gefüge zusammengehalten werden. Kohlenstoffverbindungen sind die Ausnahme, denn Kohlenstoffatome können sich zu langen Ketten oder großen Ringen verbinden, die als 'Rückgrat' für andere Atome dienen. Solche Moleküle sind lebenswichtig, weil nur sie die komplexen Strukturen lebenden Gewebes aufbauen können. Desoxyribonukleinsäure (DNS) ist die Kohlenstoffverbindung, die Träger des Erbgutes aller Tiere und Pflanzen sind. Oben sieht man ein mit einem Elektronen-Mikroskop aufgenommenes DNS-Molekül; darunter ein Modell dieses Moleküls.

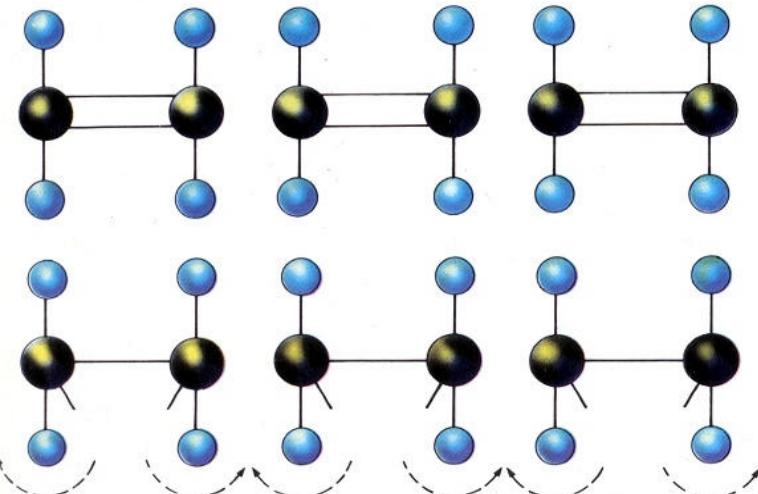
Protonen sind positiv geladen und geben dem Kern seine elektrische Ladung. Trotz seiner großen Masse entspricht die Ladungsmenge eines Protons genau derjenigen des Elektrons. Es ist also die Anzahl von Protonen im Kern, die die Anzahl der Elektronen in der Umlaufbahn und damit auch die chemischen Eigenschaften des Atoms bestimmt. Die Anzahl der Protonen heißt *Kernladungszahl* und ist spezifisch für jedes Element: So ist z.B. die Kernladungszahl von Kohlenstoff 6, die von Natrium 11.

Das zweite Teilchen im Kern ist das Neutron. Diese elektrisch neutralen Teilchen sind der sogenannte 'Protonenkitt'. Ohne Neutronen würden sich die Protonen — sie sind positiv geladen — abstoßen. Bei jedem Element kann sich eine verschieden hohe Anzahl von Neutronen im Atomkern befinden. Kohlenstoff kann beispielsweise sechs, sieben oder acht Neutronen zusammen mit seinen sechs Protonen haben. Diese Atome desselben Elementes haben geringfügig unterschiedliche Massen und werden als *ISOTOPE* bezeichnet. Verschiedene Isotope eines bestimmten Elementes werden dadurch unterschieden, daß man die Gesamtzahl der Teilchen in ihrem Kern (die Massenzahl) ihrem Namen hinzufügt: Die Kohlenstoff-Isotope sind ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C .

Die Kernbindungs- oder Kernkraft ist jedoch im Kern nur auf engstem Raum wirksam. In großen Kernen muß das Verhältnis der

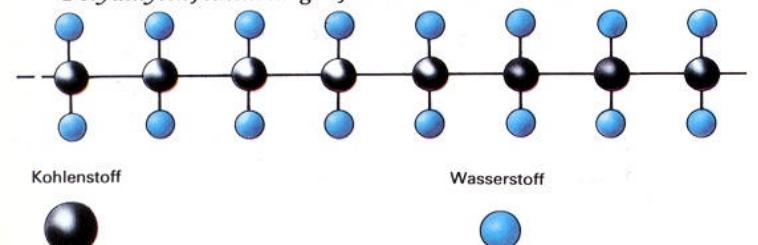
Unten: Kohlenstoff hat die Eigenschaft, sich selbst zu verbinden und lange Ketten zu bilden. Hier sind Kohlenwasserstoffverbindungen abgebildet.

1. Äthylen: In jedem Molekül treten Doppelbindungen bei den Kohlenstoffatomen auf.



2. Die Doppelbindungen brechen auf. Jedes Kohlenstoffatom bleibt mit einem freien Bindungsanteil zurück.

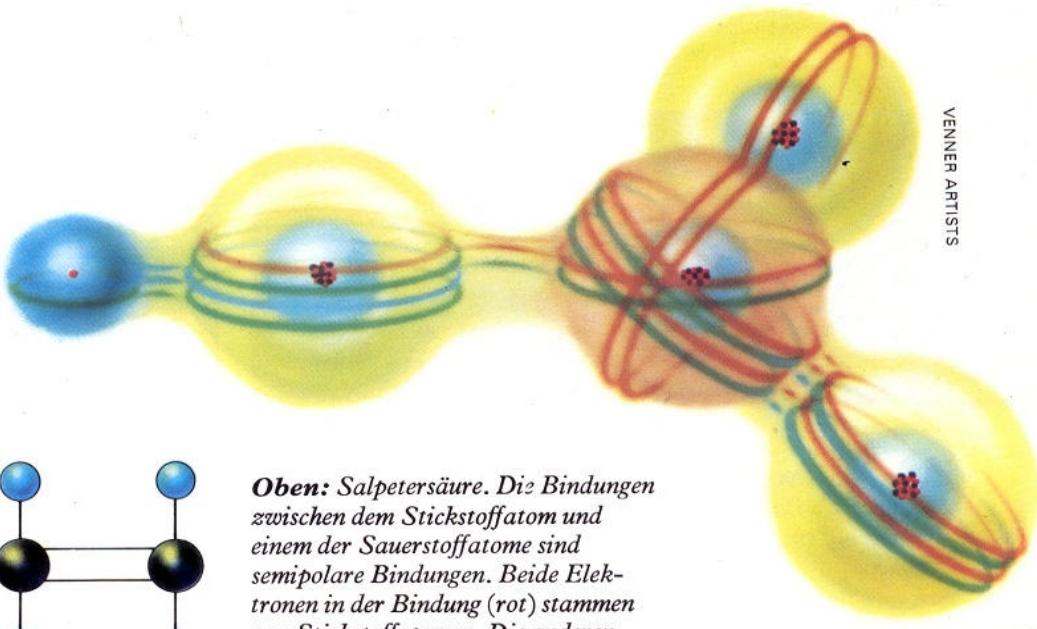
3. Die freien Kohlenstoffbindungen verbinden sich zu Polyäthylen, einem langen, kettenähnlichen Molekül.



Anzahl von Neutronen zu der Anzahl von Protonen größer sein, um den Kern zusammenzuhalten. Das üblichste Isotop von BLEI hat z.B. 82 Protonen und 126 Neutronen. Elemente mit größeren Kernen als dem des Bleis sind im allgemeinen instabil und brechen in leichtere Kerne auseinander; diesen Prozeß nennt man radioaktiven Zerfall. Der schwerste Kern, der in der Natur gefunden wurde, Uran-238 (92 Protonen, 146 Neutronen), stößt spontan acht Helium-Kerne (jeder mit 2 Protonen und 2 Neutronen) nacheinander ab und wird schließlich zu Blei-206.

Uran findet man auf der Erde nur wegen seiner sehr langen durchschnittlichen Zerfallzeit, die dem Alter der Erde selbst vergleichbar ist. Schwerere Elemente (und einige wenige kurzlebige leichtere), die einen Teil der frühen Erde geformt haben mögen, sind heute verschwunden, indem sie in nichtradioaktive Elemente zerfielen. Kernphysiker sind jedoch in der Lage, Protonen und Neutronen zu großen Kernen zusammenzufassen und so schwerere Elemente als die natürlich vorkommenden zu erzeugen.

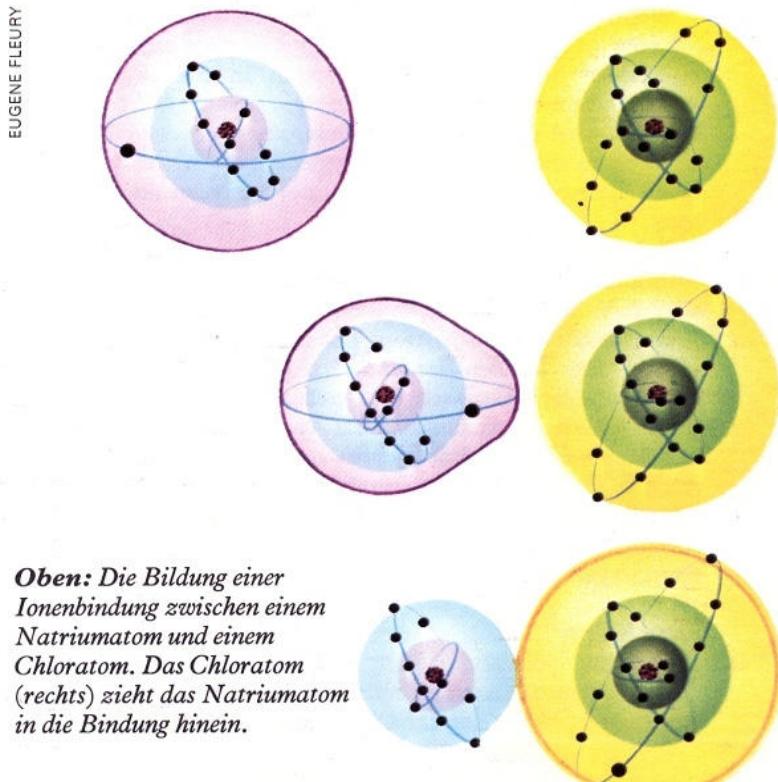
Große Kerne können künstlich 'gespalten' werden, und zwar durch langsame Neutronen, die sie in zwei annähernd gleichgroße Kerne zerbrechen, wobei riesige Energiemengen freigesetzt werden. Im Falle des Uran-235 werden während dieser Kernspaltung weitere Neutronen freigesetzt, die wiederum weitere Kerne spalten können. Dies führt zu einer Ketten-



Oben: Salpetersäure. Die Bindungen zwischen dem Stickstoffatom und einem der Sauerstoffatome sind semipolare Bindungen. Beide Elektronen in der Bindung (rot) stammen von Stickstoffatomen. Die anderen Bindungen sind kovalente Bindungen. Jedes Elektron in diesen Bindungen stammt von verschiedenen Atomen.

reaktion, bei der jeder sich spaltende Kern weitere Spaltungen nach sich zieht und so eine ständige Quelle von Kernenergie aufrechterhält (siehe ATOMREAKTOR). Verläuft die Kernspaltung kontrolliert, kann sie zur Energiegewinnung genutzt werden; unkontrollierte Kernspaltung bildet die Grundlage der A-BOMBE.

Setzt man die Abstoßung der Protonen mit der Kernanziehungskraft in Beziehung, zeigt sich, daß die stabilsten Kerne Kernladungszahlen haben, die in der Nähe des Eisens liegen. Man kann deshalb Energie auch dadurch gewinnen, daß man leichte Elemente zu schweren Elementen zusammensetzt. Diese sogenannte Kernfusion ist die Quelle der Sonnenenergie. Auf der Erde wird die Kernfusion bei der H-BOMBE angewendet. Bei der Kernfusion entstehen aus den Kernen des schweren Wasserstoffs — dem sogenannten Deuterium, das im Atomkern ein Proton und ein Neutron hat — Atomkerne des Heliums. Sollte sich in Zukunft eine kontrollierte Kernfusion verwirklichen lassen, könnte der Energiebedarf der Menschheit für alle Zeiten gedeckt werden, da im Meerwasser genügend Deuterium vorhanden ist.



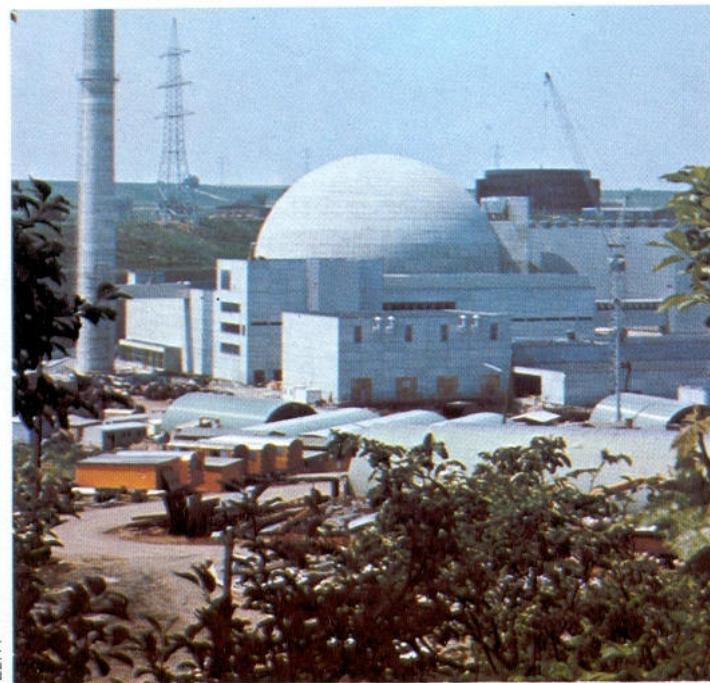
Oben: Die Bildung einer Ionenbindung zwischen einem Natriumatom und einem Chloratom. Das Chloratom (rechts) zieht das Natriumatom in die Bindung hinein.

ATOMREAKTOR

Die durch Verschmelzung oder Spaltung von Atomkernen erzeugte Kernenergie könnte der Menschheit bis zum Verlöschen unseres Sonnensystems — in etwa 10 Milliarden Jahren — als Energiequelle dienen.

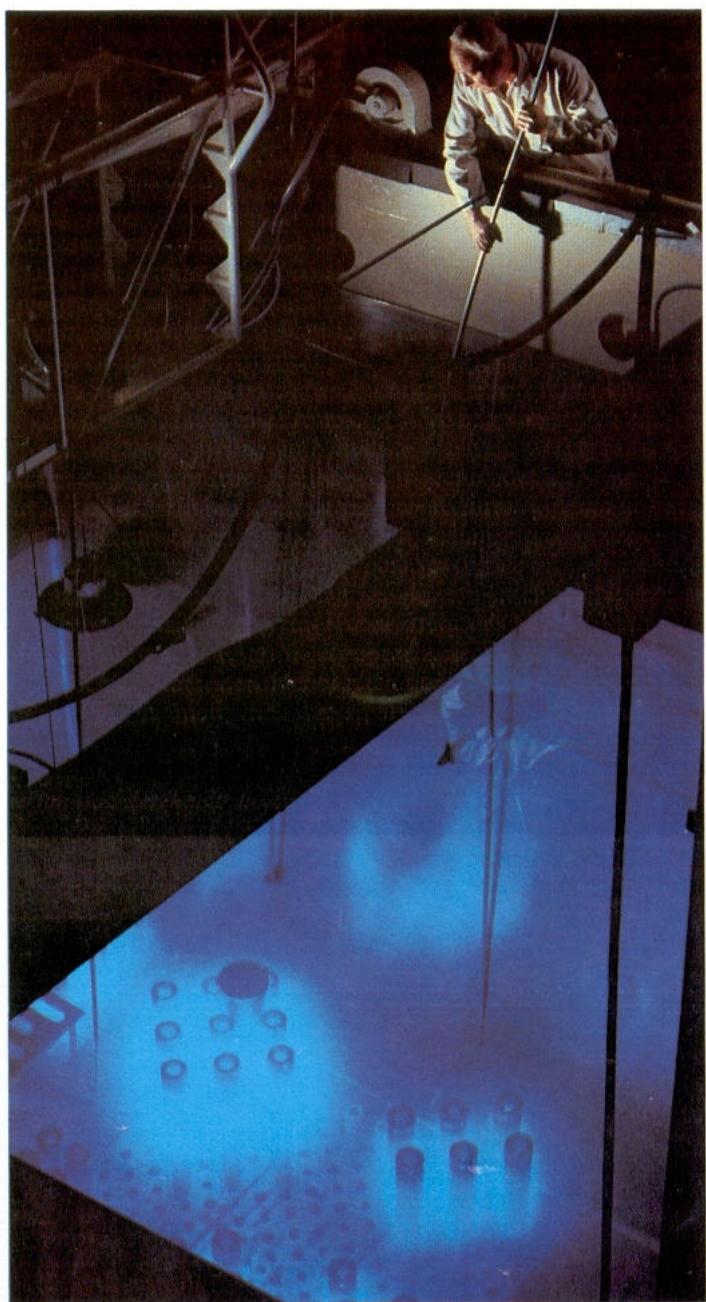
Die Entdeckung der Radioaktivität in Jahre 1896 zeigte, daß die Elemente Thorium und Uran spontan Energie freisetzen. Es treten eine Reihe radioaktiver Umformungen auf, bei denen Atome, Elementarteilchen und radioaktive Strahlung freigegeben werden. Die freigesetzte Energie tritt jedoch über so lange Zeiträume auf, daß sie nicht genutzt werden kann. Um die Jahrhundertwende schien es unmöglich, die Freigabe der Energie zu beschleunigen.

Ein Durchbruch wurde im Jahre 1919 erzielt, als Rutherford entdeckte, daß *Alpha-Strahlen* den Kern des Atoms zertrümmern können. Weitere Forschungsarbeiten führten im Jahre 1932 zur Entdeckung des Neutrons und im Jahre 1939 zur Spaltung (siehe KERNKETTENREAKTION) des Urans. In jenem Jahr erkannte man, daß es möglich sein müßte, eine atomare Kettenreaktion unter Verwendung von Uran in Gang zu setzen, und daß dies das Mittel sein könnte, nicht nur große Energiemengen freizusetzen, sondern auch ein neues Element, das Plutonium, zu erzeugen. Es bestand die Möglichkeit, eine A-BOMBE zu bauen. Um das dafür erforderliche Plutonium zu erzeugen, wurden die Hanford-Werke am Columbia-Fluß in den USA errichtet. Hier wurde im Jahre 1944 der Welt erster Atomreaktor im industriellen Maßstab für die Erzeugung von Plutonium in Betrieb gesetzt.



In Hanford wurde die Wärme der atomaren Reaktion durch das Flußwasser abgeführt. Der nächste Schritt bestand darin, Reaktoren zu entwickeln, deren Wärme sich in nutzbare Energie umsetzen ließ. Das erforderte höhere Betriebstemperaturen.

In den USA war das erste Ziel der Bau eines Antriebes für U-BOOTE. Die 'Nautilus', ein U-Boot der US-Marine, begann ihre Versuchsfahrten im Jahre 1955. In Großbritannien wurde das Kraftwerk Calder Hall mit der doppelten Zielsetzung gebaut, sowohl Plutonium als auch elektrische Energie zu erzeugen. In der UdSSR wurde im Jahre 1954 ein Kernkraftwerk in Obninsk in Betrieb gesetzt. Einer der ersten Atomreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland wurde in



Oben: Tscherenkov-Strahlung von Brennstoffelementen in einem Lagerbecken.

Links: Neubau des Kernkraftwerks Neckarwestheim in Baden-Württemberg. Dieser Reaktor ist ein Druckwassertyp. Er wurde erst im Dezember 1976 zur kommerziellen Anwendung eingesetzt. Die Bruttoausgangsleistung beträgt 805 MW.

Kahl am Main gebaut. Der im Jahre 1958 begonnene Bau wurde im Jahre 1961 fertiggestellt. Mitte der siebziger Jahre befanden sich fast 250 Kernreaktoren auf seegehenden Schiffen und rund 120 industrielle Kernkraftwerke in Betrieb.

Wenn ein Atomreaktor arbeitet, werden vom Brennstoff Neutronen ausgesendet und absorbiert, während in seinem Inneren Wärme freigesetzt wird. Deswegen ändert der atomare Brennstoff beim 'Abbrennen' allmählich seine Beschaffenheit.

Das Neutron ist ein elektrisch neutrales Elementarteilchen (siehe ATOME UND MOLEküLE). Es kann Materie durchdringen und stößt nur gelegentlich mit einem Atomkern zusammen, ähnlich wie ein Mensch, der mit einer Binde vor den Augen durch eine Obstbaumplantage geht und dabei ab und zu gegen einen Baum stößt. Ereignet sich ein Zusammenstoß,

wird das Neutron entweder in eine andere Richtung gelenkt oder es wird eingefangen und bildet einen *Verbundkern*.

Wärmeerzeugender Reaktor

Im allgemeinen sind die Chancen für ein Neutron, mit einem Atomkern in Wechselwirkung zu treten, viel höher, wenn die Geschwindigkeit des Neutrons niedrig ist. Aus diesem Grunde benutzt man in den sogenannten *wärmeerzeugenden Reaktoren* einen *Moderator*, um die vom Brennstoff abgegebenen Neutronen auf die Geschwindigkeit der Wärmebewegung abzubremsen. Dies geschieht deshalb, weil die Neutronen ihre Bewegungsenergie an die Atomkerne des Moderators abgeben, wenn sie von ihnen reflektiert werden. Diese Energieübertragung ist umso wirksamer, je leichter die Atomkerne des Moderators sind. Die meistverwendeten Moderatoren sind Graphit, eine besondere Form des Kohlenstoffs (dessen Kernmasse etwa das Zwölffache der Masse des Neutrons ist), und gewöhnliches oder 'leichtes' Wasser (dessen Masse etwa der des Neutrons entspricht). Leichtes Wasser ist am wirksamsten für das Abbremsen der Neutronen, da es die meisten Neutronen einfängt.

Die Kettenreaktion

Die Folgen des Einfangs eines Neutrons sind je nach Art des Kerns verschieden. Natürliches Uran tritt in zwei Modifikationen auf; 99,3% hat die Massenzahl 238 und 0,7% die Massenzahl 235. Ein Atomreaktor kann nur mit ^{235}U betrieben werden, da es radioaktiv ist.

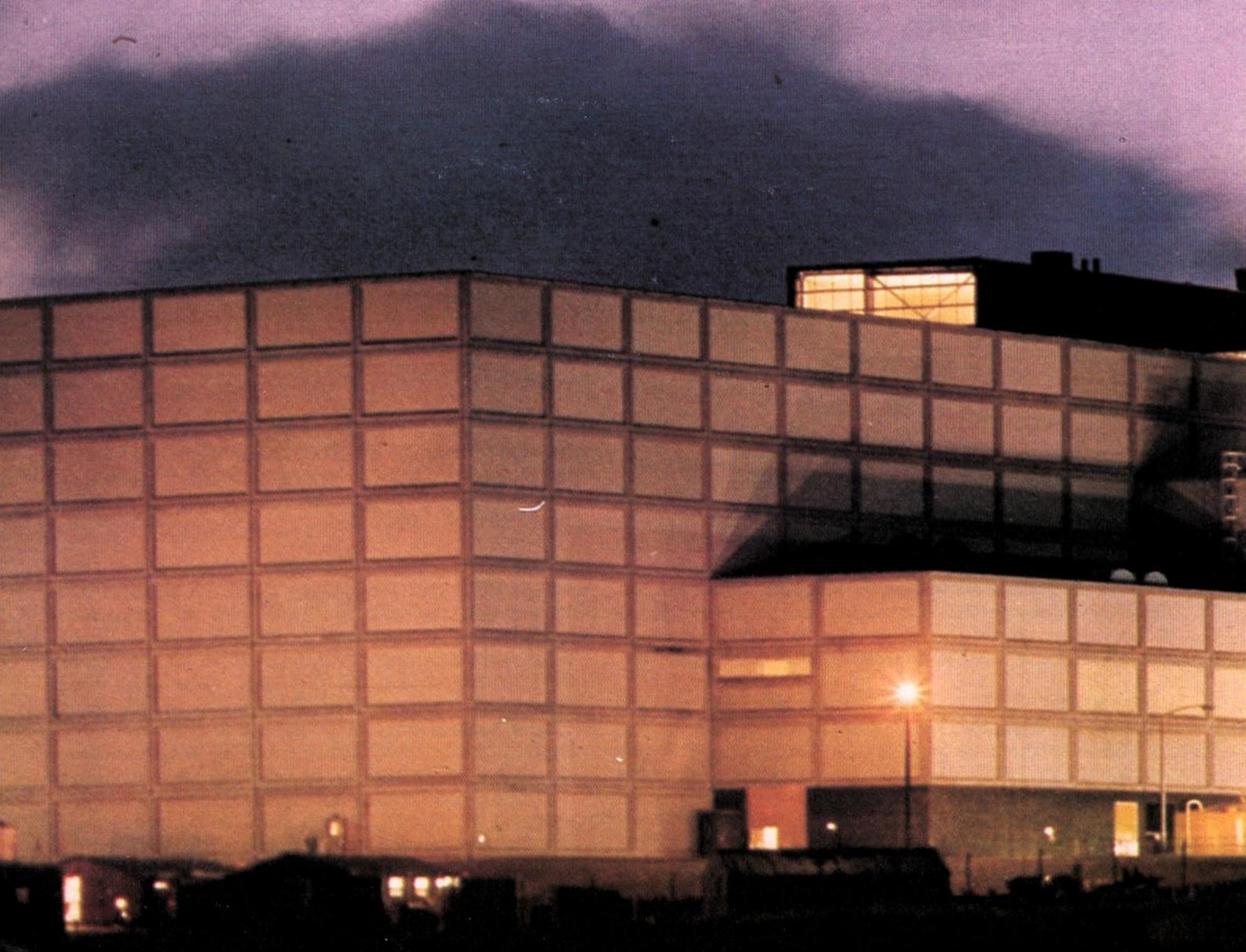
Wenn ein Neutron von Uran-235 eingefangen wird, kann

der entstandene Verbundkern Uran-236 intakt bleiben. Wahrscheinlicher ist aber, daß er sich in zwei Teilkerne etwa gleicher Masse aufspaltet, wobei schnelle Neutronen freigesetzt werden. Wegen der Wahrscheinlichkeit gespalten zu werden, nennt man Uran-235 ein *spaltbares Material*.

Fängt Uran-238 ein Neutron ein, entsteht Uran-239 als Verbundkern. Dieser spaltet sich zwar nicht, erfährt aber eine spontane radioaktive Umwandlung, wobei sich die positive elektrische Ladung des Kerns durch das Aussenden von zwei Beta-Teilchen erhöht. Er wird so zu Plutonium-239. Der Kern dieses Elementes ist spaltbar. Das Uran-238 bezeichnet man auch als *fruchtbare Material*. In Atomreaktoren spielt spaltbares und fruchtbare Material eine wichtige Rolle.

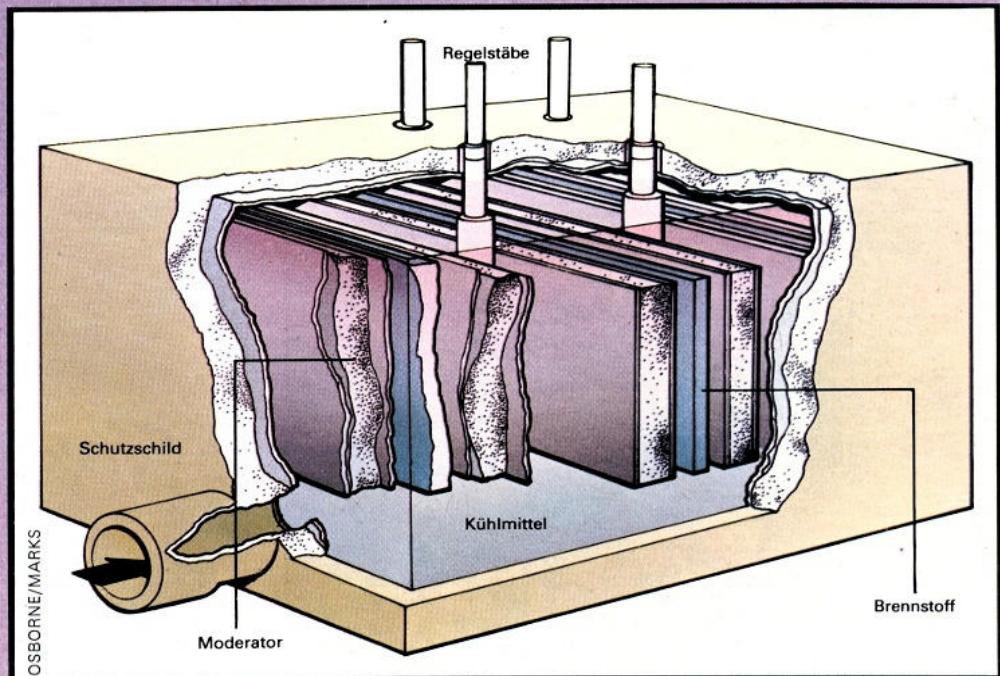
Eine Kettenreaktion atomarer Spaltung bleibt ständig in Gang, wenn im Mittel zwei oder drei der bei jeder Spaltung freigesetzten Neutronen eine weitere Spaltung verursachen. Dadurch bleiben ein oder zwei Neutronen pro Spaltung übrig. In einem Atomreaktor werden einige dieser überzähligen Neutronen durch 'Regelstäbe' absorbiert, die in die Moderatorensubstanz eingesetzt sind. Andere gehen durch Einfangen in Uran-235 ohne nachfolgende Spaltung, durch Einfangen im Moderator, im Kühlmittel, in Spaltungsbruchstücken und Bauteilen und durch Verluste aus dem Reaktor unvermeidlich verloren. Der Rest kann gewinnbringend von dem fruchtbaren Material aufgenommen werden, wodurch neues spaltbares Material entsteht.

Manche wärmeerzeugenden Reaktoren werden mit Uran in natürlicher Isotopenzusammensetzung als Brennstoff besickt. Meistens geht das Uran allerdings durch eine Iso-



Rechts: Schemazeichnung eines Kernreaktors. Schnelle Neutronen, erzeugt durch den spaltbaren Brennstoff, werden durch den Moderator abgebremst. Danach können sie wieder absorbiert werden, um weitere Spaltvorgänge einzuleiten. Neutronenabsorbierende Stäbe werden zur Regelung der Reaktionsgeschwindigkeit auf- und abbewegt.

Unten: Der natriumgekühlte Schnelle Brutreaktor in Dounreay in Schottland.



topen-Trennungsanlage, die einen Teil des Urans-238 entfernt. Dieses 'angereicherte' Uran, meist mit einem Gehalt von 2% bis 4% Uran-235, gewährt beim Entwurf von Reaktoren größere Freiheiten.

In der Praxis beträgt das Verhältnis zwischen der Zahl der erzeugten Kerne des Plutoniums-239 und der Zahl der verbrauchten Kerne des Urans-235 in einem wärmeerzeugenden Reaktor weniger als eins. Wird das Plutonium für die Herstellung einer A-Bombe benötigt, kann der Brennstoff frühzeitig herausgenommen werden. Andernfalls verbleibt er drei bis fünf Jahre lang im Reaktor. Während dieser Zeit wird ein Teil des Plutoniums-239 durch Spaltung verbrannt und ein anderer Teil zu höheren Isotopen umgewandelt, nämlich zu ^{240}Pu , ^{241}Pu und ^{242}Pu . Von diesen ist jedoch nur das Plutonium-241 spaltbar.

In einem Reaktor eines anderen Typs wird statt Uran-238 das Element Thorium als fruchtbare Material verwendet. Das Verfahren führt zur Erzeugung des spaltbaren Urans-233. Die Eigenschaften dieses Kerns

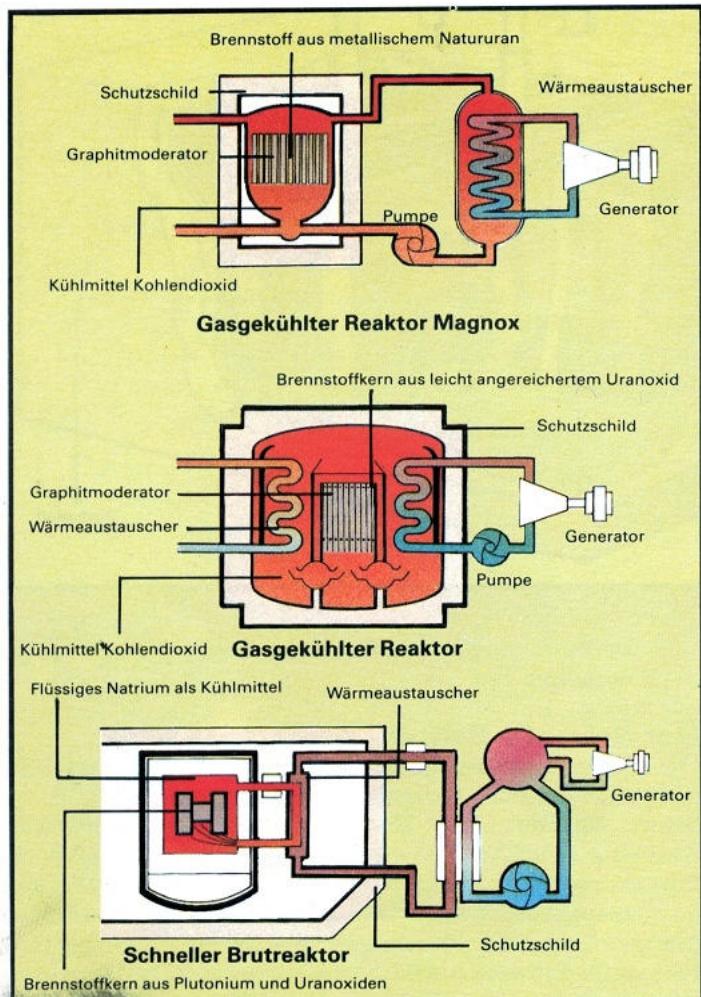
sind für wärmeerzeugende Reaktoren besser geeignet als die des Plutoniums-239.

Der Schnelle Brüter

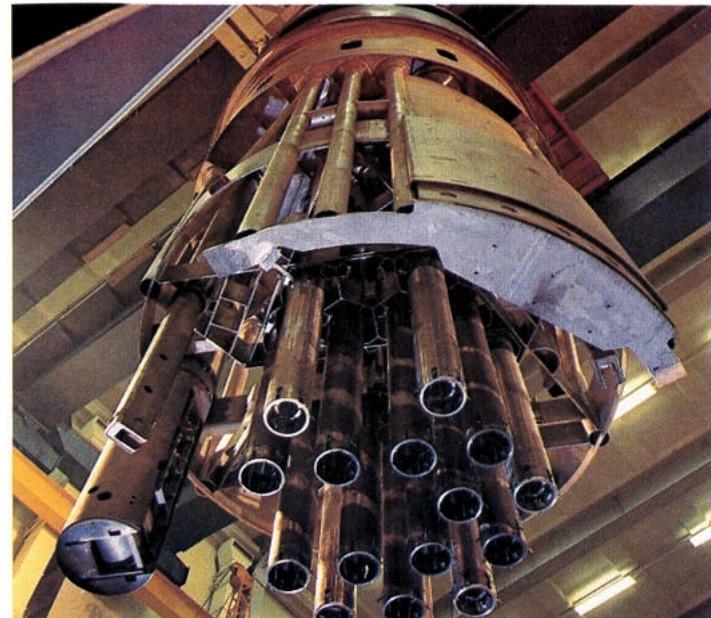
Die andere Entwicklungslinie ist der Schnelle Brutreaktor mit Plutonium-Isotopen als spaltbarem und Uran-238 als fruchtbarem Material. Ein Moderator wird nicht verwendet. Benutzt man schnelle Neutronen, sind die Eigenschaften des Plutoniums besser, denn es hat eine geringere Neigung, sich in nichtspaltbare Isotopen umzuwandeln. Es läßt sich also pro zertrümmertem Plutoniumkern mehr als ein Urankern in Plutonium-239 umwandeln, so daß die anfängliche Plutoniummenge wächst oder 'brütet'. Das Wichtige ist, daß der Schnelle Brüter es ermöglichen würde, aus den Uranbeständen der Erde weit mehr Energie zu erzeugen als wärmeerzeugende Reaktoren.

Ein Atomkern ist positiv geladen. Bei der Spaltung trennen sich die beiden Teile, bis die mit der Bindungsenergie zusammenhängenden Anziehungskräfte unwirksam werden. Die beiden Teile, von denen jedes etwa die Hälfte der Ladung trägt, werden dann durch elektrostatische Abstoßung mit großer Geschwindigkeit auseinandergetrieben. Der größere Teil der durch Spaltung freigesetzten Energie ist anfänglich die Bewegungsenergie der Spaltprodukte. Wenn diese in dem sie





OSBORNE/MARKS



Oben: Unteransicht der drehbaren Scheibe mit Kontrollstäben für den Reaktorbehälterdeckel des Prototyps eines schnellen Reaktors, der in Dounreay, Schottland, gebaut wurde.

Temperaturen und der Ansammlung von Spaltprodukten. Brennstoff wird in Form von Stäben oder kleinen Kugeln in dünnwandige Metallrohre eingeschlossen, die bei einigen Konstruktionen zu Gruppen von 36 Stück zusammenge schlossen werden, um ein Brennstoffelement zu bilden. Für die höchsten Temperaturen verwendet man zur Umkleidung des Brennstoffs Graphit anstelle von Metall.

Die Brennstoffelemente sitzen im allgemeinen in senkrecht verlaufenden Kanälen, durch die das Kühlmedium strömt. Die am häufigsten verwendeten Kühlmittel sind die Gase Kohlendioxid und Helium sowie leichtes oder schweres Wasser (siehe ISOTOPE) und flüssiges Natrium. Wird Wasser verwendet, so hält man es entweder unter einem so hohen Druck, daß es auch bei einer sehr hohen Temperatur flüssig bleibt, oder man wählt den Druck so, daß sich beim Fließen über die Brennstoffelemente Dampf bildet. Im zuletzt genannten Fall gelangt der Dampf vom Reaktor direkt zur TURBINE. Im anderen Fall leitet man das Kühlmedium in einen WÄRMEAUSTAUSCHER. Hier gibt das Kühlmedium seine Wärme zur Dampferzeugung an einen getrennten Wasserstrom ab.

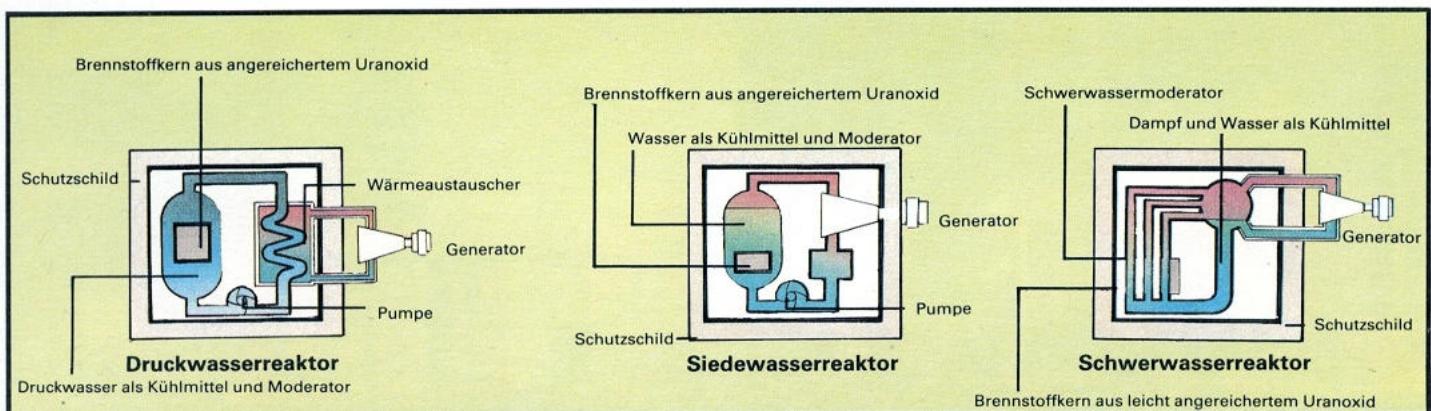
Jedes Kühlmedium muß unter Druck gehalten werden. Normalerweise erreicht man dies durch Einschluß des Brennstoffes, des Moderators und des Kühlmittels in ein Druckgefäß. Man kann jedoch auch nur Brennstoff und Kühlmedium ohne den Moderator in ein System von Druckröhren einschließen.

Oben und unten: Sechs Atomreaktorbauarten. In Leopoldshafen, Karlsruhe, stehen ein kleiner Schneller Brüter als Versuchsanlage und ein kleiner Druckwasserreaktor, im hessischen Biblis zwei moderne Druckwasserreaktoren und im niedersächsischen Würgassen ein moderner Siedewasserreaktor. Einer der ersten Atomreaktoren in der Bundesrepublik, die Anlage in Kahl am Main, ist ein Siedewassertyp.

umgebenden Brennstoff zur Ruhe kommen, verteilt sich die Energie und macht sich als Wärme bemerkbar. Weitere Wärme wird freigesetzt, wenn die Spaltprodukte sich weiter radioaktiv umwandeln.

Brennstoffelemente

In einigen Reaktoren bildet metallisches Uran den Brennstoff. Uranoxid und -karbid widerstehen jedoch besser hohen



OSBORNE/MARKS

ATOMUHR

Atomuhren sind die genauesten, in der modernen Technik bekannten Zeitmeßinstrumente. Normalerweise beträgt die Gangabweichung 1 s in 1000 Jahren.

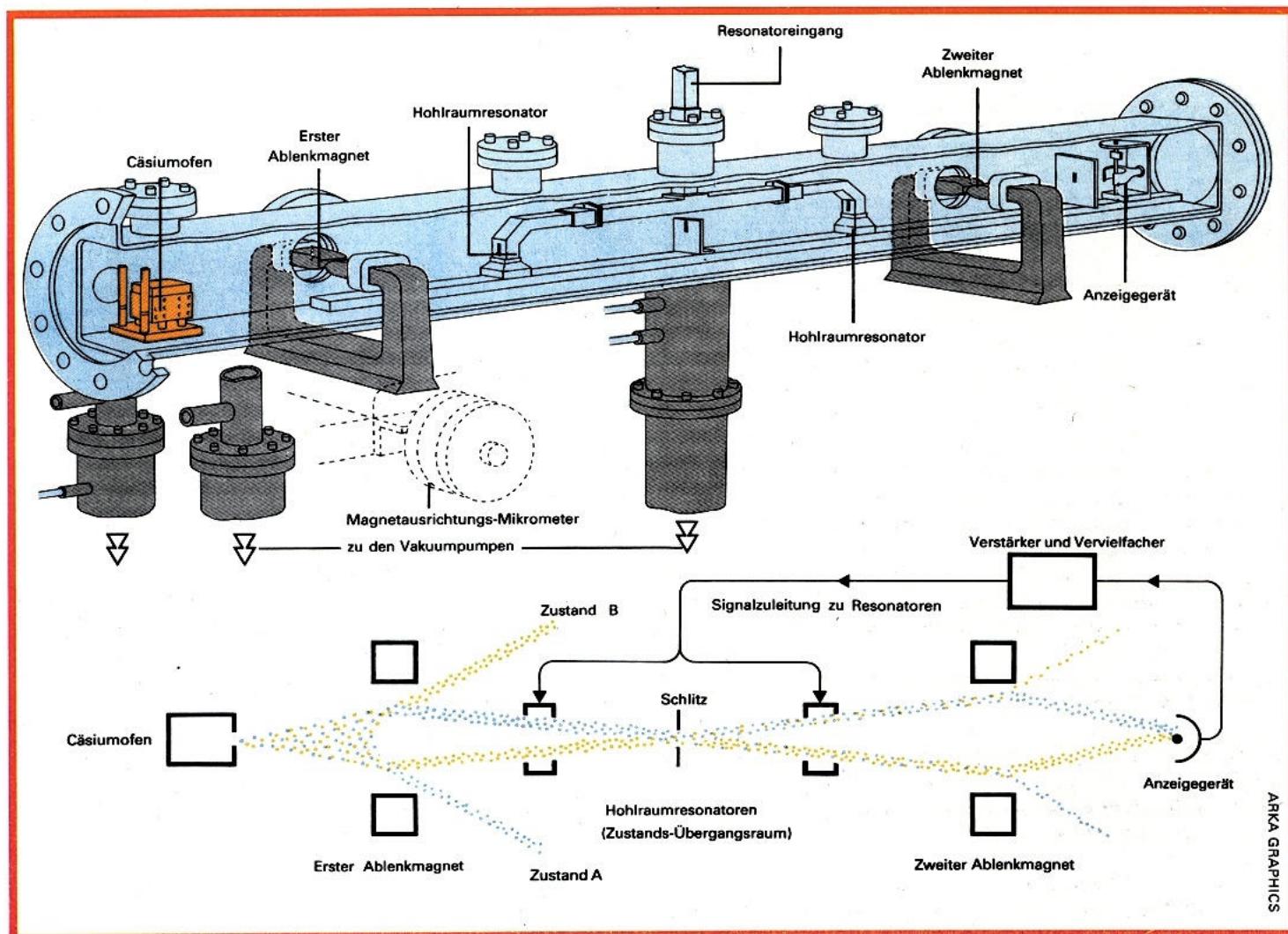
Eine Atomuhr hat kaum Ähnlichkeit mit einer normalen Uhr. Sie hat kein Zifferblatt, keine Anzeige durch Zahlen und kein hörbares Signal wie bei üblichen Zeitmeßgeräten. Sie zeigt deshalb nicht die Zeit an, sondern liefert eine gleichbleibende Bezugsfrequenz, die dazu dient, andere Uhren zu eichen. Eine Atomuhr sieht eher wie eine komplizierte Laborapparatur mit Vakuumpumpen und elektronischen Geräten aus.

Moderne Präzisions-Zeitmeßanlagen beruhen auf der einfacheren QUARZUHR, bei der die konstante Schwingung eines Quarzkristalles ausgenutzt wird. Die Schwingungszahl des Quarzkristalles ändert sich jedoch im Laufe der Zeit und

muß nachgestellt werden. Um eine Quarzuhr auf eine genaue Schwingungszahl einzustellen, ist eine genaue Vergleichsschwingungszahl nötig; diese liefert die Atomuhr.

Prinzip der Atomuhr

Im angeregten Zustand können Atome Lichtquanten aussenden. Da den einzelnen Schalen eines Atoms, die den Atomkern umgeben, verschiedene Energiezustände entsprechen, gibt ein Elektron beim Übergang von einem höheren in einen niedrigeren Energiezustand die überschüssige Energie in Form von Lichtquanten ab (siehe ATOME und MOLEküLE). Lichtquanten äußern sich in Form elektromagnetischer Strahlung (siehe ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN), deren Frequenz davon abhängt, von welchem Energieniveau in welches Energieniveau Elektronen springen. Umgekehrt können Elektronen durch Einwirkung einer hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung von einem



Oben: Zeichnung der Atomstrahlkammer mit Cäsiumofen, Ablenkagnetnen, Hohlraumresonator und Anzeigegerät. Die Kammer besteht aus Kupfer, weil es für Vakuumzwecke besonders gut geeignet ist. Die Kammer wird durch drei Oldiffusionspumpen luftleer gepumpt.

Darunter: Funktionsprinzip der Atomuhr. Werden die Resonatoren auf die Cäsiumfrequenz abgestimmt, ereignet sich eine Höchstzahl von Energiezustandsänderungen. Der Stromwert am Ausgang des Detektors ist ebenfalls ein Maximum. Ändert sich die Resonanzfrequenz, geht die Ausgangsleistung des Anzeigegerätes zurück, wobei sich die Frequenz automatisch nachstellt.

niedrigeren in ein höheres Energieniveau gehoben werden. Die dem Elektron zugeführte Energie ist der Frequenz der elektromagnetischen Strahlung proportional.

Da die Energiedifferenz zwischen zwei Atomschalen unabhängig von Temperatur, Druck oder Gravitation immer die gleiche ist, eignet sie sich wegen ihrer Proportionalität zur Frequenz sehr gut als Bezugsnormal für die Zeitmessung. Elemente wie die Alkaliatome Cäsium und Rubidium sowie Wasserstoff eignen sich besonders gut, weil bei ihnen definierte Quantensprünge ausgeführt werden können.

Ein Cäsiumatom kann sich in einem von zwei Energiezuständen befinden. Sie hängen von der Wechselwirkung zwischen dem Kern und der Spinrichtung (Eigendrehimpuls)

der Elektronen ab. Diese unterschiedlichen Zustände beeinflussen die Bahn eines freien Cäsiumatoms beim Durchgang durch ein Magnetfeld.

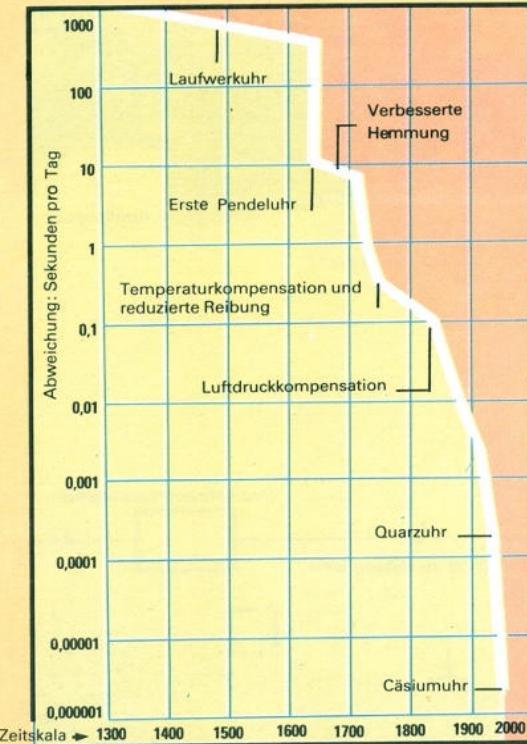
Beim Durchgang eines Cäsiumatoms durch ein elektromagnetisches Feld, das eine dem Energieunterschied des Cäsiumatoms entsprechende Frequenz hat, geht das Cäsiumatom von einem in den anderen Energiezustand über. Durchquert ein aus Cäsiumatomen bestehender Strahl ein solches Feld, entsteht eine Höchstzahl von Übergängen von einem Energiezustand in den anderen, wenn die Frequenz des elektromagnetischen Feldes der 'natürlichen Frequenz' des Cäsiums genau gleich ist. Die Cäsiumuhr mißt indirekt die Zahl der Übergänge, die sich ereignen, und versucht ständig, durch einen Rückkoppelungskreis zum Feldfrequenzregler die größtmögliche Zahl zu erzielen. Die Frequenz des elektromagnetischen Feldes ist deshalb der Cäsiumfrequenz 'zugeordnet'. Durch geeignete Teilung dieser sehr hohen Frequenz kann die Genauigkeit einer Quarzuhr kontrolliert werden.

hält man auf einer Frequenz von 9 192 MHz (Millionen Schwingungen pro Sekunde), indem man das 5-MHz-Signal von der Quarzuhr elektronisch vervielfacht. Läuft die Quarzuhr mit der genau richtigen Frequenz, ändert das Feld die Drehrichtung fast aller hindurchgehenden Atome, ohne die Bündelung des Strahles, den sie bilden, zu beeinflussen.

Der Strahl läuft wie in einem Brennpunkt an einem schmalen Schlitz in der Mitte des Resonators zusammen, der alle vom Kurs abgekommenen Atome aufhält. An der anderen Seite des Schlitzes weitet sich der Strahl, aber die ihn bildenden Atome kreuzen sich beim Durchgang. Ein Atom, das vorher an der linken Seite des Strahles war, befindet sich hinter dem Schlitz an dessen rechter Seite.

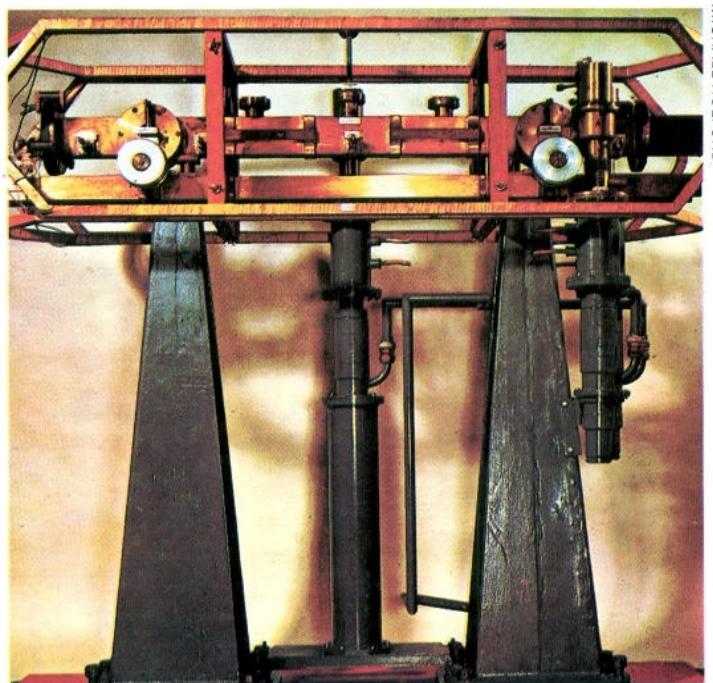
Gleichzeitig hat der Resonator die Drehrichtung fast aller Atome umgekehrt. Da sich die Atome in einem der Energiezustände auf einer Seite des Strahles (und umgekehrt) befinden, ist das nächste Ergebnis, daß sich die beiden Änderungen gegenseitig aufheben. Der Strahl verläßt den Resonator mithin so, daß sich die Atome in einem bestimmten Zustand auf derselben Seite befinden wie beim Eintritt in den Resonator.

Der Strahl geht dann durch einen zweiten Magneten, der ihn so zusammenfaßt, daß er auf ein Anzeigegerät am Ende



Dieses Diagramm zeigt, wie die Genauigkeit der Zeitmessung seit dem 14. Jahrhundert verbessert wurde.

VIVIENNE DONKIN



MICHAEL HOLFOORD

Oben: Die erste Atomuhr, die im National Physical Laboratory bei London entwickelt wurde. Sie hat in hundert Jahren nur eine Abweichung von einer Sekunde.

Genauigkeitskontrolle

Die Cäsiumuhr kann man zur Kontrolle der Genauigkeit einer Quarzuhr verwenden, indem man das Cäsium, das einen sehr niedrig liegenden Schmelzpunkt hat, in einem kleinen Elektroofen erhitzt. Dieser befindet sich im Innern eines geraden Rohres, aus dem die Luft mit Hilfe einer Vakuumpumpe entfernt wurde. Atome strömen durch einen Schlitz an der Vorderseite des Ofens und durch das Rohr. Luft, die Atome abbremsen könnte, ist nicht vorhanden. Auf ihrem Weg kommen sie an einem Magneten vorbei, der Atome in einem der Energiezustände zur einen Seite und Atome im anderen Energiezustand zur anderen Seite ablenkt. Gleichzeitig faßt er sie zu einem konvergenten Strahl zusammen.

Der Strahl fällt auf einen Hohlraum-Resonator, eine hohlförmige, antennenähnliche Vorrichtung, die von einem elektromagnetischen Feld durchdrungen wird. Dieses Feld

des Rohres trifft. Die wenigen Atome, die ihren Zustand nicht geändert haben, befinden sich auf der 'falschen' Seite des Strahles und werden zur Seite abgelenkt. Die das Anzeigegerät treffenden Atome veranlassen dieses, ein Signal auszusenden, das zur Quarzuhr zurückgeführt wird.

Hat die Frequenz der Quarzuhr eine geringe Abweichung, beträgt die Frequenz des Resonators nicht mehr 9 192 MHz. Die Drehrichtung der Atome wird nicht geändert. So kommt es, daß sich alle aus dem Resonator austretenden Atome auf der 'falschen' Seite des Strahles befinden, der in Richtung des Anzeigegeräts gebündelt wird. Die Atome werden von dem Meßgerät nicht registriert. Das Ausbleiben eines Signales veranlaßt die Quarzuhr, ihre Frequenz so zu verändern, bis sie das Signal wieder einfangen kann. Auf diese Weise ist die Abweichung der Quarzuhr in 1000 Jahren nur 1 Sekunde.

AUFHÄNGUNG

Bei modernen Kraftfahrzeugen dient die Radaufhängung nicht nur dazu, die Unebenheiten der Straße von den Insassen fernzuhalten, sondern sie hat auch die Aufgabe, die Räder in Kontakt mit der Straße zu halten und eine angemessene Bodenhaftung beim Beschleunigen, Bremsen und bei der Kurvenfahrt zu gewährleisten.

Die älteste Aufhängung — man kennt sie heute noch bei Karren — bestand aus einer Achse aus massivem Holz, die fest an den Wagenkasten gebaut war und an jedem Ende ein Rad trug. Diese Art Aufhängung ist für die Fahrzeuginsassen unbequem und kann nur bei geringen Geschwindigkeiten eingesetzt werden.

Die Aufhängung der ersten Kraftfahrzeuge entsprach dem Prinzip der Aufhängung bei einem Pferdewagen. Die Fahrzeuge hatten einfache Blattfedern, liefen auf schmalen Reifen und waren mit einer Ackermann-Lenkung ausgerüstet.

Reifen

John Dunlop (1840 bis 1921) erfand im Jahre 1888 den Luftreifen mit Ventil, der ein Fahrrad nicht nur bequemer machen kann, sondern auch einen geringeren Rollwiderstand hat und den Vortrieb des Rades erleichtert. Allmählich stellte sich auch heraus, daß Luftreifen gegenüber massiven Reifen einen weiteren bedeutenden Vorteil haben: Werden sie vom Geradeauslauf abgelenkt, entwickeln sie eine erhebliche Richtkraft, die es ermöglicht, Kurven viel schneller zu durchfahren. Ein großer Reifen benötigt eine Verstärkung, die verhindert, daß er zu sehr zusammengedrückt wird. Aus verschiedenen Gründen hatten die Reifen bis in die zwanziger Jahre hinein einen schmalen Querschnitt und einen verhältnismäßig hohen Druck. Mit dem Fortschritt der Technik wurden die Reifen breiter und so gebaut, daß der Druck gesenkt werden konnte. Der breitere Reifen hat einen besseren Kontakt zur Straße mit gleichmäßigerem Druck und dadurch eine bessere Bodenhaftung.

Federn und Stoßdämpfung

Der Reifen selbst würde nicht viel Bequemlichkeit bieten. Zwischen Rad und Karosserie müssen Federn angeordnet sein. Bei einigen Pferdewagen war der Wagenkasten an seinen Enden an Riemen aufgehängt. Die halbelliptische Blattfeder entstand schon sehr früh

Abbildung 1:

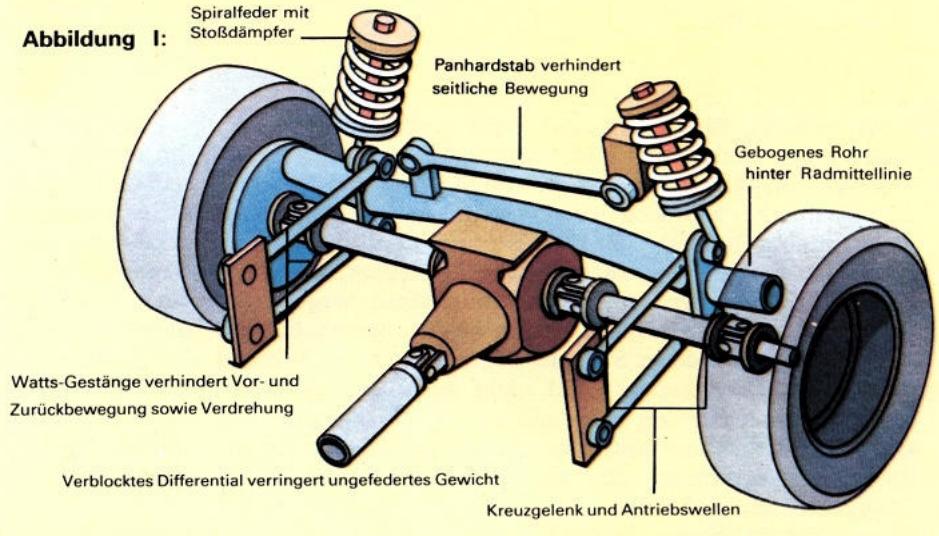


Abbildung 2:

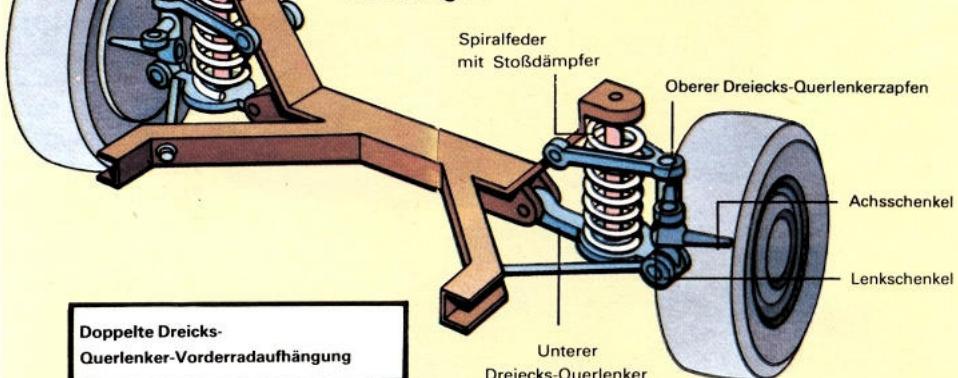


Abbildung 3:

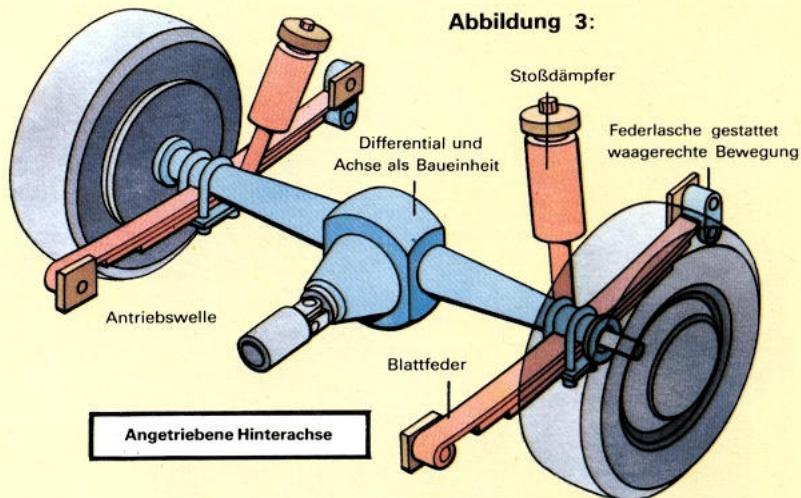
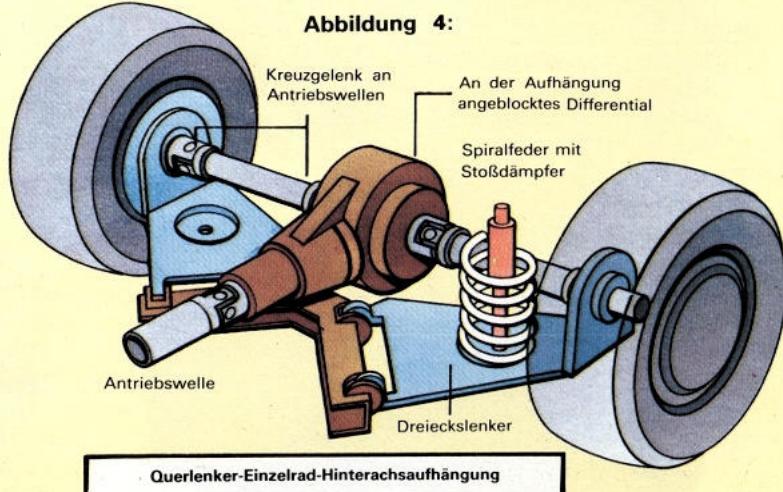


Abbildung 4:



(siehe FEDERN). Blattfedern sind beim Kraftfahrzeug (Kfz) noch weit verbreitet und dienen insbesondere zur Federung der Hinterachse. Ein Vorteil besteht darin, daß die Reibung zwischen den Blättern eine gewisse Stoßdämpfung bewirkt. Die Blattfeder erfüllt an der Hinterachse auch die Funktion, die Achse stabil zu halten, abgesehen davon, daß sie es ihr gestattet, sich auf- und abzubewegen.

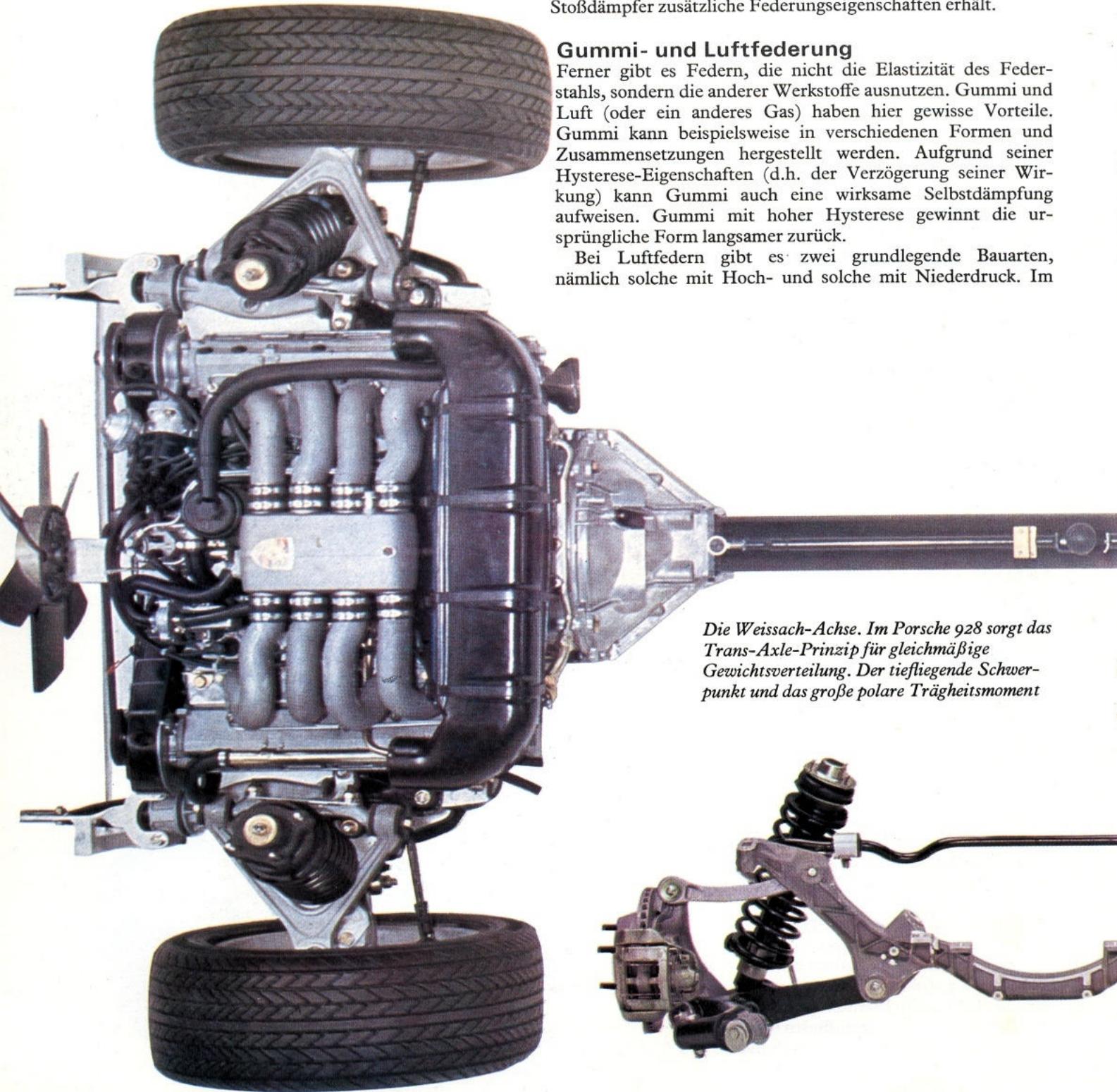
Eine andere viel verwendete Federart ist die Spiralfeder, ein spiralförmig gewundener Stab aus Federstahl, deren Wirkung auf Torsion (Verwindung) und nicht auf Biegung beruht. Mit der Spiralfeder eng verwandt ist der Torsionsstab, der kaum mehr ist als eine gestreckte Spirale. Ein Ende ist an die Karosserie geschraubt, das andere an die Aufhängung. Bewegt sich die Aufhängung, verdreht sie den Stab, dessen Spannung dazu beiträgt, die Aufhängung zu stabilisieren.

Hätte ein Wagen nur Federn ohne jede Dämpfung, würde ihn ein Stoß von der Straße zum Springen bringen. Theoretisch könnte er eine ganze Weile weiterspringen. Dies wäre nicht nur unangenehm für die Insassen, sondern auch gefährlich, denn es könnte dazu führen, daß die Räder den Kontakt mit der Straße verlieren. Stoßdämpfer sind daher eine Notwendigkeit. Frühere Bauarten wirkten einfach durch Reibung. Heutige Stoßdämpfer arbeiten nach dem hydraulischen Prinzip. Sie bestehen aus einem in einem verschlossenen Zylinder befindlichen Kolben. Ein Ende des Stoßdämpfers ist mit dem Fahrgestell verbunden, das andere mit der Achse (Bild 8). Löcher in dem Kolben ermöglichen es der Flüssigkeit (Öl) im Zylinder, von einer Seite des Kolbens auf die andere zu treten, wobei Energie vernichtet wird. Bei einigen Bauarten enthält der Zylinder anstelle der hydraulischen Flüssigkeit ein zusammendrückbares Gas, wodurch der Stoßdämpfer zusätzliche Federungseigenschaften erhält.

Gummi- und Luftfederung

Ferner gibt es Federn, die nicht die Elastizität des Federstahls, sondern die anderer Werkstoffe ausnutzen. Gummi und Luft (oder ein anderes Gas) haben hier gewisse Vorteile. Gummi kann beispielsweise in verschiedenen Formen und Zusammensetzungen hergestellt werden. Aufgrund seiner Hysterese-Eigenschaften (d.h. der Verzögerung seiner Wirkung) kann Gummi auch eine wirksame Selbstdämpfung aufweisen. Gummi mit hoher Hysterese gewinnt die ursprüngliche Form langsamer zurück.

Bei Luftfedern gibt es zwei grundlegende Bauarten, nämlich solche mit Hoch- und solche mit Niederdruck. Im



Prinzip ähneln sie einem Ballon, d.h. sie wirken im allgemeinen nur als Feder und sind ungeeignet, ein Teil der Aufhängung zu halten. Ihre Steifheit beruht auf drei Grundwerten: Innendruck, belastete Fläche und Rauminhalt. Eine Niederdruckfeder hat einen Druck von etwa 48 bar, eine Hochdruckfeder einen bis zu zehnmal höheren Druck, so daß bedeutend gedrungener gebaut werden kann.

Eine Hochdruckfeder ist in Critoën-Wagen eingebaut (Bild 9). Sie besteht aus einer Metallkugel, die eine flexible Membran in zwei Teile teilt. Auf der einen Seite befindet sich ein Gas, auf der anderen Seite Öl. Eine aus Kolben und Pleuelstangen bestehende, mit dem Rad durch ein System von Hebeln und Stäben verbundene Baugruppe wirkt auf das Öl und drückt daher das Gas zusammen. Entsprechend der Auf- und Abbewegung des Rades bewegt sich der Kolben auf und ab, wobei er das Gas abwechselnd zusammendrückt und

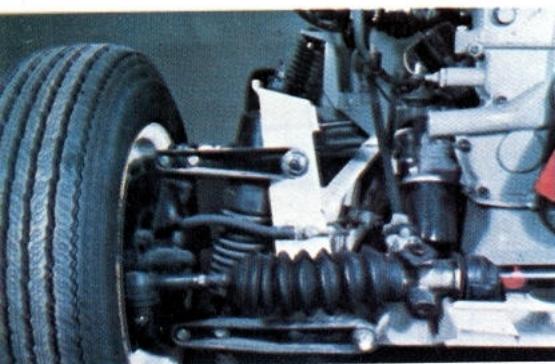
entspannt, das dadurch wie eine Feder wirkt. Zusätzliches, unter hohem Druck stehendes Öl ermöglicht es, den Wagen auf eine bestimmte Höhe zu heben, indem Öl zu- oder abgepumpt wird.

Das 'Hydragas-System' ist ähnlich; hier besteht die Flüssigkeit aus einer Mischung von Wasser und Gefrierschutzmittel. Das 'Hydrolastic-System' besteht im wesentlichen aus einer Gummifeder, hat aber den Flüssigkeitsausgleich zwischen vorne und hinten.

Achsen

Reifen, Federn usw. bilden die tragenden Teile der Aufhängung und bieten Komfort. Achsen und andere verbindende Teile betreffen jedoch Fahreigenschaften und Straßenlage, d.h. Sicherheit, da sie die Bewegungen des Wagens bezüglich der Straßenhaftung regeln (Aufhängungsgeometrie). Alle diese

Unten: Die gebräuchlichste Aufhängungsmethode ist die Spiralfeder. Die waagerechte Stange ist mit der Lenkung verbunden. Diametral gegenüber befindet sich eine gleichartige Stange für das andere Rad. Durch Bewegung der Stangen werden die Vorderräder gedreht.



MICHAEL HOLFORD

ergeben eine gute Richtungsstabilität. Die Vorderräder sind durch sehr starre, doppelte Dreiecks-Querlenker aus Gußlegierung einzeln aufgehängt.

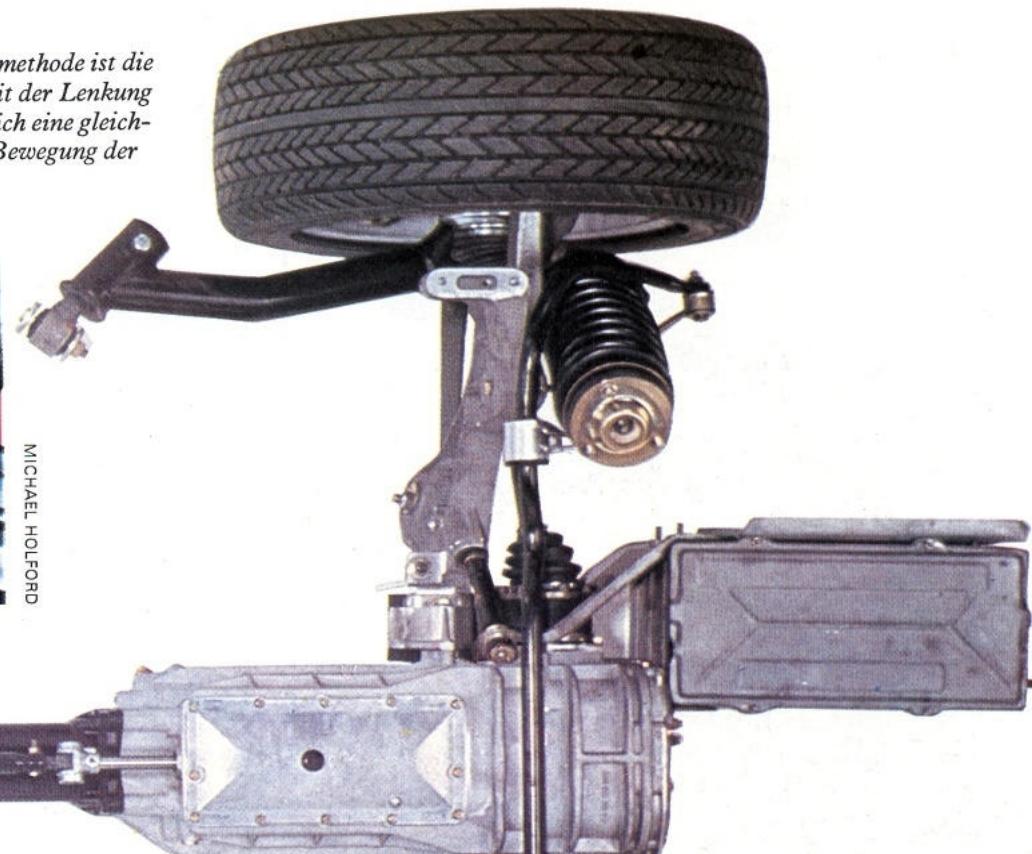
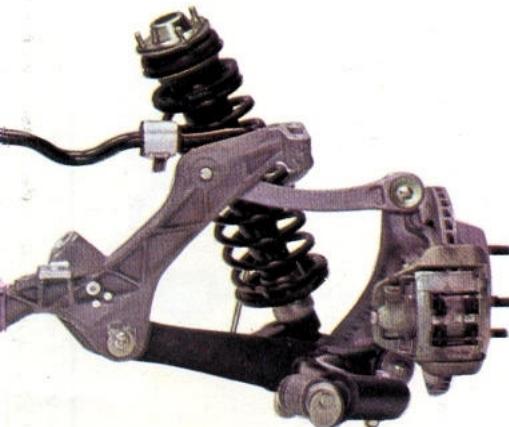


Abbildung 5:

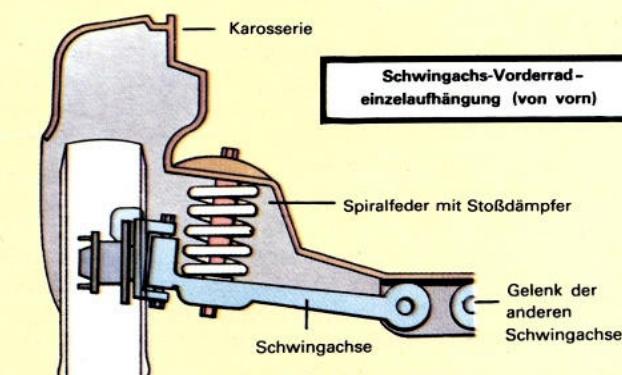
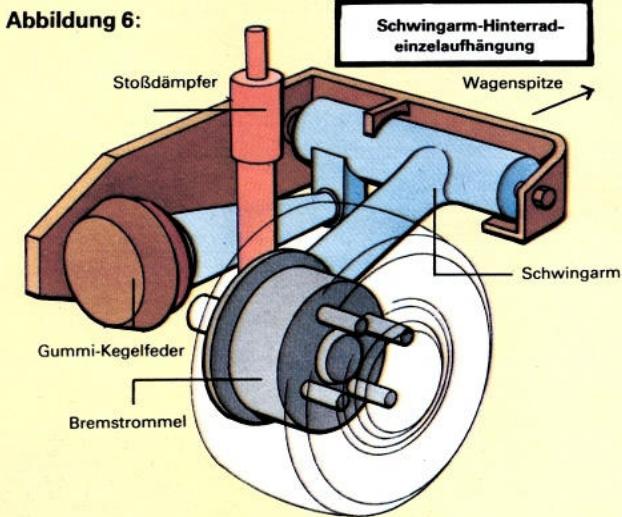


Abbildung 6:



Eigenschaften — Komfort, Fassungsvermögen, Ansprechen der Lenkung usw. — sind das Ergebnis von Kompromissen. Die Fahreigenschaften eines Wagens beruhen letztlich auf ganz persönlichen Entscheidungen der Konstrukteure.

Die uralte Steuerachse vorne (im allgemeinen bei Lastwagen) und hinten ist noch weithin in Gebrauch. Im ersten Falle ermöglichen auf Achszapfen bewegliche Vorderachschenkel das Lenken (siehe Bild 2). Blattfedern in Verbindung mit einer Starrachse (siehe Bild 4) ergeben eine Fixierung in Längs- und seitlicher Richtung. Bei vielen Großserienwagen ist diese Konstruktion noch üblich.

Eine weitere Fixierung, die bei Spiralfedern wichtig ist, kann durch Schwingarme, Lagerböcke, Panhardstäbe (siehe Bild 1) usw. erzielt werden. Die Fahreigenschaften sind durch die Genauigkeit der Fixierung bestimmt. Die Nachteile der Starrachse liegen darin, daß ein auf ein Rad wirkender Stoß meist auch das andere Rad beeinflußt und die Starrachse meist schwer ist. Dadurch vergrößert sich das Verhältnis der gefederten zur ungefederten Masse, was sich nachteilig auf den Fahrkomfort auswirkt. Andererseits hält die Starrachse die Räder genau senkrecht und verbessert dadurch die Kurvenlage.

Die Schwingachse (siehe Bild 5) ist im wesentlichen eine zweigeteilte Starrachse. Sie hat eine nachteilige 'Aufbockwirkung', denn in der Kurve wälzt sich die Karosserie um das stark belastete äußere Rad, das dadurch einen falschen Winkel zur Straße einnimmt. Hierdurch geht die Kurvenfestigkeit verloren. Die Schwingachse kann bei hohen Geschwindigkeiten einige Schwierigkeiten bereiten.

Die am weitesten verbreitete Einzelradaufhängung ist der doppelte Dreiecks-Querlenker (siehe Bild 2). Sie ist konstruktionsbedingt gedrungen, gestattet große Radbewegungen in der Senkrechten, d.h. gute Radsturzeigenschaften (siehe LENKUNG) und großen Einschlag der Vorderräder (kleiner Wendekreis).

Einige Wagen, u.a. der VW, haben eine Schwingarmvorderradaufhängung. Dies bedeutet, daß die Vorderräder den gleichen Winkel zur Straße einnehmen wie die Karosserie.

Abbildung 7:

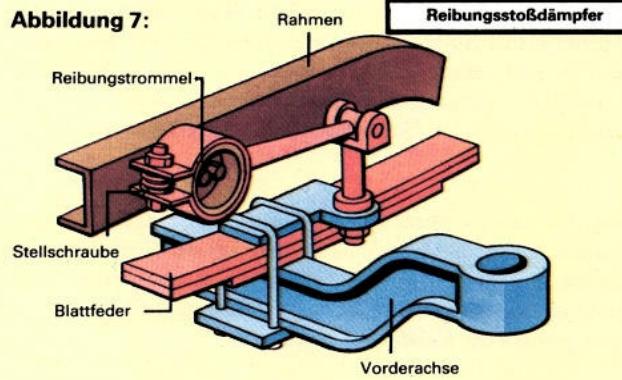


Abbildung 8:

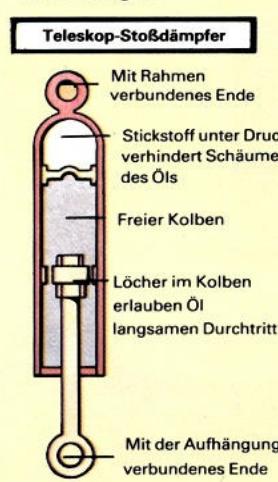


Abbildung 9:

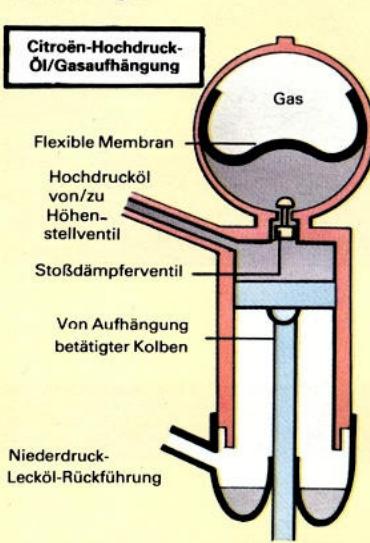


Abbildung 10: Hydrolastic

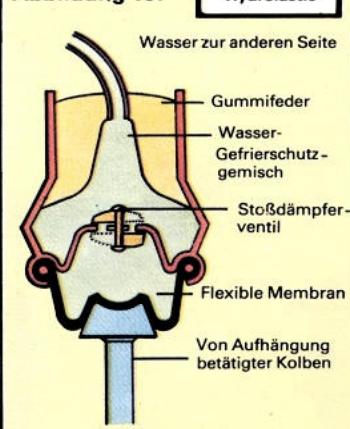
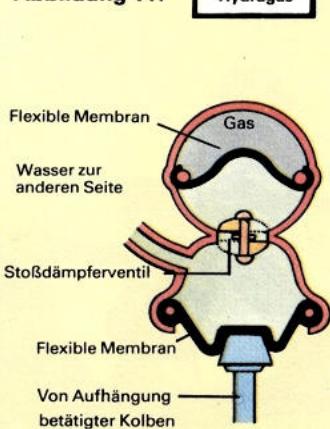


Abbildung 11: Hydragas



AUFTANKEN IN DER LUFT



Durch das Auftanken in der Luft können Flugzeuge länger in der Luft bleiben und größere Strecken zurücklegen. Diese Betankungstechnik ermöglicht es Militärflugzeugen, sowohl kurze taktische als auch längere strategische Einsätze zu fliegen; im übrigen ist dieses Verfahren auch billiger.

Das Auftanken in der Luft ist keine neue Erfindung. Die ersten Versuche fanden in den USA ab 1923 statt. Bis 1934 entwickelte sich daraus eine Betankungstechnik, die vor allem bei Langstrecken-Wettflügen zur Anwendung kam. In England wurden erste Versuche auf diesem Gebiet von dem Staffelkapitän der Royal Air Force, Richard Atcherly, dem späteren Luftmarschall, durchgeführt.

Erster Erfolg

Von seinem Flugzeug aus, das betankt werden sollte, schleppete er eine Art Suchanker hinter sich her, der an einer Leine hing. Das Tankflugzeug, das über dem zu betankenden Flugzeug und etwas hinter ihm flog, schleppete ebenfalls eine Leine; diese war mit einem Gewicht beschwert. Durch fortwährendes seitliches Schieben nach der einen und der anderen Seite brachte es seine beschwerte Leine so in die Nähe des Suchankers des anderen Flugzeuges, daß sich beide verhakten. Danach zog der Bordmechaniker des zu betankenden Flugzeugs die Leine des Tankflugzeuges zusammen mit der Betankungsvorrichtung. Anschließend erfolgte das Betanken. Nach Beendigung wurde der Schlauch von der Vorrichtung gelöst und in das Tankflugzeug zurückgeholt.

Im Jahre 1939 wurde der erste fliegende Auftankdienst nach Zeitplan zur Unterstützung des englischen Luftpostdienstes zwischen London und New York eingerichtet. Als Postflugzeuge kamen Flugboote vom Typ 'Short' zum Einsatz. Sie hatten ein Startgewicht von 24 000 kg, das sich durch die Zuladung von Post auf 29 030 kg erhöhte. Bei den Tankflugzeugen handelte es sich um den Typ Handley Page Harrow; sie konnten 4 546 Liter Flugbenzin laden. Der erste Auftankflugauftrag erfolgte am 5. August 1935; insgesamt wurden mit Hilfe des Auftankens in der Luft 17 Atlantiküberquerungen durchgeführt, bevor der Ausbruch des Zweiten Weltkrieges diese Dienste beendete.

Auftanken mit teleskopartigem Betankungsrohr

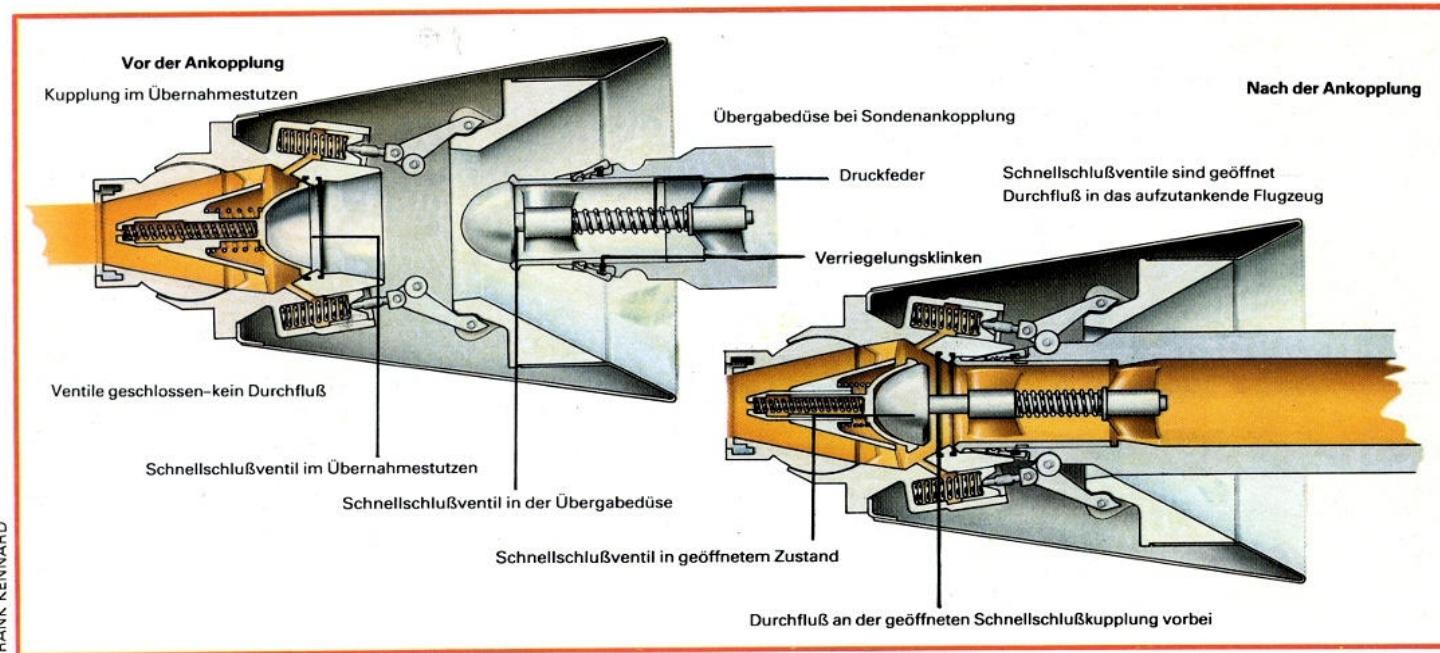
Mit Einführung der einzigen Jagdflugzeuge wurde das Aneinanderkoppeln von zwei Flugzeugen über eine Be-

Oben: Eine North American Rockwell Vigilante der US-Marine tankt von einer McDonnell Douglas Skyhawk. Die Möglichkeit des Auftankens in der Luft erhöht die Einsatzfähigkeiten von Militärflugzeugen beträchtlich.

Unten: Übernahmestutzen des teleskopartigen Betankungsrohrs von Boeing. Dieses ragt aus dem Tankflugzeug vom Typ KC-135 hervor. Seine Lage wird von zwei kleinen Tragflächen stabilisiert.



tankungsvorrichtung ohne Unterstützung durch ein weiteres Besatzungsmitglied zum Problem. Um hier Abhilfe zu schaffen, wurde im Jahre 1949 für das Betanken in der Luft das Prinzip der Sondenankopplung eingeführt, das allerdings



Oben: Die Schaubilder zeigen Übergabedüse und Übernahmestutzen des Betankungssystems mit Schleppschlauch nach erfolgter Sondenankopplung.

das Vorhandensein eines Betankungsschleppschlauches mit einer Übergabedüse am Tankflugzeug und einem Übernahmestutzen am Betankungssystem der Kampfflugzeuge voraussetzt. Heute ist dieses Auftankprinzip bei allen militärischen Flugzeugverbänden in der Welt zum normalen Betankungsverfahren geworden. Eine Ausnahme macht das Strategische Bomberkommando der Vereinigten Staaten. Die United States Air Force (USAF) hat die von den Boeing-Flugzeugwerken entwickelte Methode des Auftankens über ein teleskopartiges Betankungsrohr übernommen. Es ist hierbei erforderlich, daß ein Besatzungsmitglied des Tankflugzeuges das Betankungsrohr in den Übernahmestutzen des zu betankenden Flugzeuges 'einfiegt', d.h. dem Flugzeugführer des Tankflugzeuges die hierfür erforderlichen Fluganweisungen gibt. Nicht so bei der Auftankmethode mit dem Schleppschlauch; in diesem Fall ist es der Flugzeugführer des aufzutankenden Flugzeuges, der die erteilten Fluganweisungen zu befolgen hat.

Die ersten Versuche mit dem teleskopartigen Betankungsrohr begannen im Mai 1949. Dabei diente eine Boeing KB-29P als Tankflugzeug und eine Boeing EB-29 als aufzutankendes Flugzeug.

Auftanken in der Luft nach dem Sondenankopplungssystem

Bei diesem System, das mit Hilfe eines Betankungsschleppschlauches durchgeführt wird, schleppt das Tankflugzeug den Schlauch hinter sich her. Am Ende dieses Schlauches sitzt eine Übergabedüse, während sich an der Tragflächennase des aufzutankenden Flugzeuges ein Übernahmestutzen befindet. Das aufzutankende Flugzeug fliegt in einer solchen Fluglage und mit einer solchen Geschwindigkeit, daß sich der Übernahmestutzen nach dem Prinzip der Sondenankopplung in die konische Übergabedüse des Schleppschlauches eindrückt.

Sowohl das Auftanken über das teleskopartige Betankungsrohr als auch das Auftanken über den Betankungsschleppschlauch erfolgt als Druckbetankung, d.h. in dem Augenblick, in dem sich die Übergabedüse in den Übernahmestutzen einklinkt, öffnet sich in beiden Betankungsvorrichtungen

ein Ventil. Das Flugbenzin bzw. der Düsenkraftstoff wird mit einer Durchflußgeschwindigkeit von 2 bis 5 Knoten (1 m/s bis 2,5 m/s) in die Kraftstofftanks des aufzutankenden Flugzeuges gedrückt.

Nach Beendigung des Auftankens drosselt der Flugzeugführer des aufzutankenden Flugzeuges die Geschwindigkeit und fällt dadurch etwas zurück. Der Betankungsschlauch wird nun wieder hinter dem Tankflugzeug hergeschleppt, nachdem er sich infolge der Druckminderung, die nach Beendigung des Auftankens erfolgte, zuvor mit seiner Übergabedüse aus dem Übernahmestutzen gelöst hat. Sodann schiebt der Flugzeugführer des aufgetankten Flugzeuges den Leistungshebel vor, erhöht dadurch die Geschwindigkeit und erledigt den ihm erteilten Kampfauftrag. Das Tankflugzeug kehrt zu seinem Stützpunkt zurück.

Umrüstung eines Kampfflugzeugs

Um auch ein Kampfflugzeug in ein Tankflugzeug umzurüsten, genügt es, dieses mit Tragflächenzusatztanks zu versehen. Diese Tanks können von dem Flugzeugführer bedient werden, falls auch ein einsitziges Flugzeug zu einem Tankflugzeug umgerüstet werden soll.

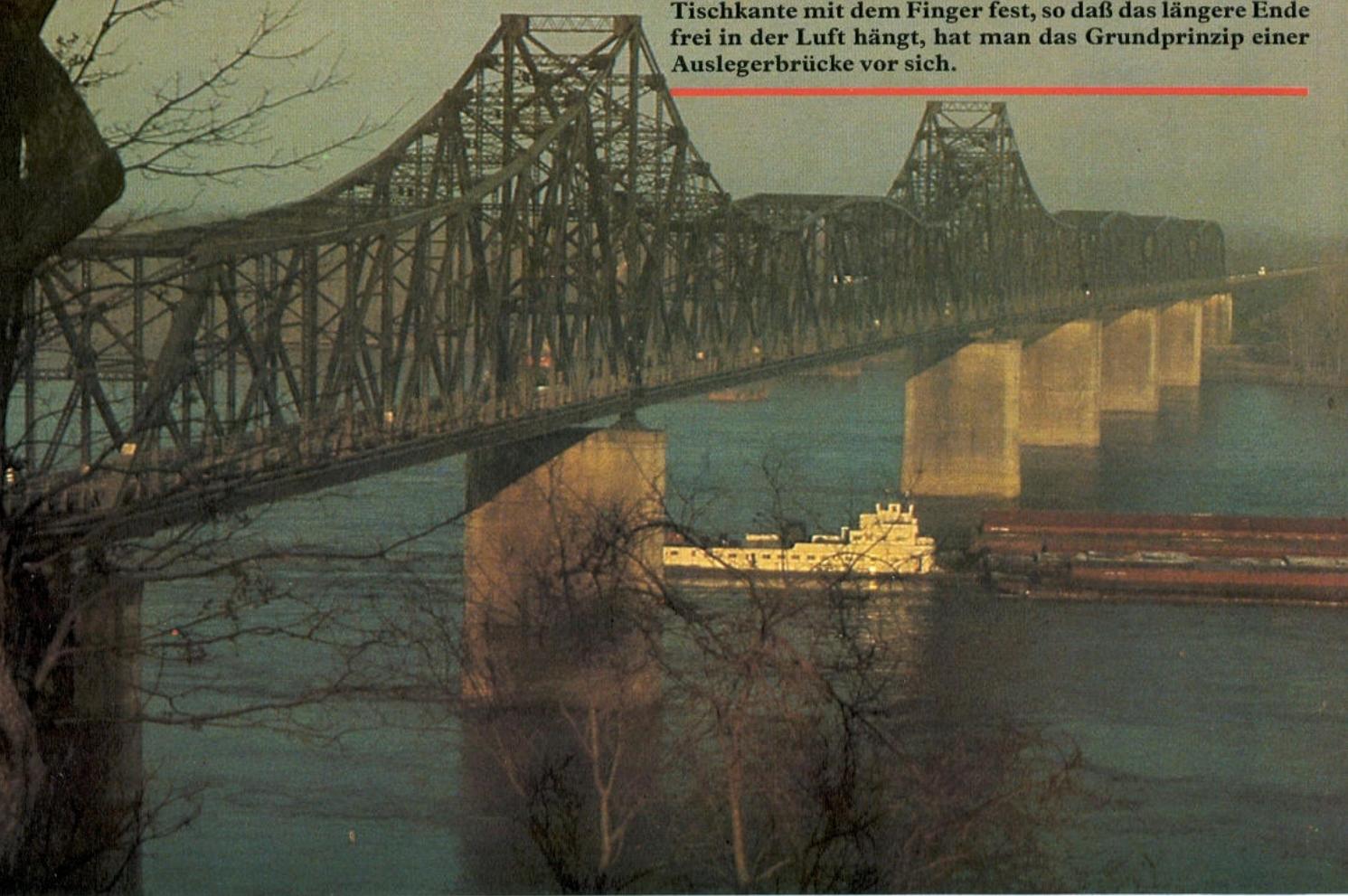
Der Betankungsschlauch ist mit einem ausfallsicheren System ausgestattet. Tritt während des Auftankes ein Fehler auf, wird der Betankungsvorgang automatisch unterbrochen. Die hauptsächlichen Überlegungen beim Auftanken in der Luft gelten der Sicherheit der daran beteiligten Flugzeuge. Beim Versagen des Hydrauliksystems wird es durch ein Reserve-Druckluftsystem ersetzt, das dann seinerseits den Betankungsschlauch hinterherschleppt oder das Flugbenzin gegebenenfalls in der Luft abläßt. Tritt im elektrischen System ein Fehler auf, wird der Betankungsschlauch automatisch eingezogen und verstaut.

Die gebräuchlichsten Betankungssysteme, wie z.B. der FR-Mark-17 und Mark-20-Tragflächentank, haben eine Durchflußleistung von 1 814 l/min bzw. 544 l/min bei einer Schlauchlänge von 15,24 m und einem Schlauchdurchmesser von 7,62 cm für das FR-Mark-17 bzw. einer Schlauchlänge von 15,24 m und einem Schlauchdurchmesser von 3,81 cm für das Betankungssystem Mark-20. Der Betankungsdruck beträgt bei beiden Systemen 3,515 kg/cm².

Unter den vielen Flugzeugen, die gegenwärtig als Betankungsflugzeuge im Einsatz sind, befinden sich die Flugzeugtypen Handley Page Victor 1 und Victor 2, die Boeing KC-135 und die sowjetische Tupolov Tu-16.

AUSLEGERBRÜCKEN

Hält man das Ende eines langen Holzlineales an einer Tischkante mit dem Finger fest, so daß das längere Ende frei in der Luft hängt, hat man das Grundprinzip einer Auslegerbrücke vor sich.



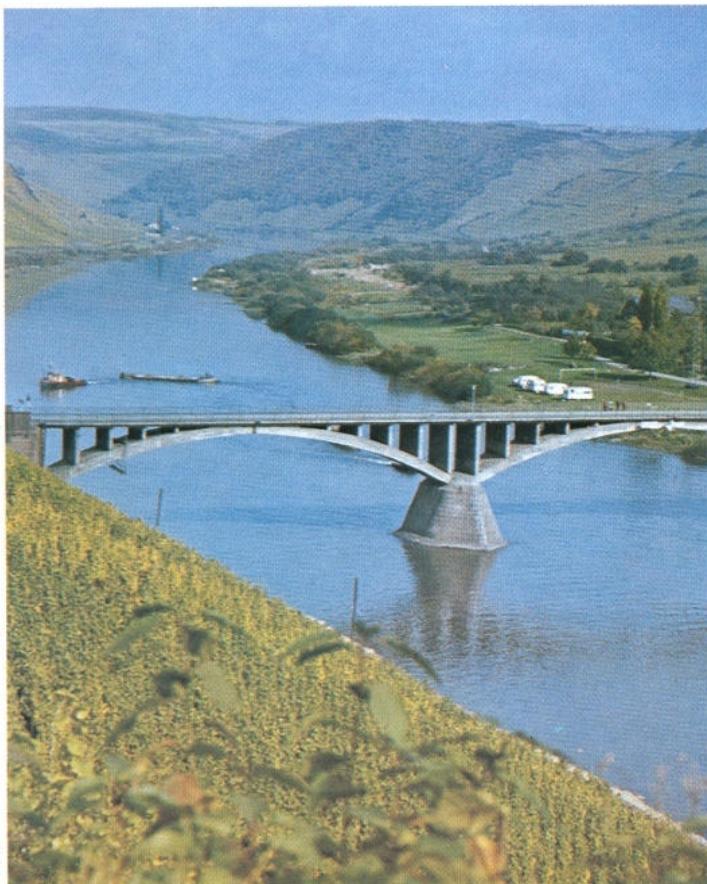
Oben: Die Mississippi-River-Brücke hat eine Spannweite von 216 m und wurde im Jahre 1892 fertiggestellt. *Links:* Die Auslegerbrücke über die Mosel bei Trittenheim.

Ein *Ausleger* ist ein herausragender Balken oder Träger. Doppelträger-Auslegerbrücken ähneln einem Paar sich gegenüberliegender Sprungbretter. Die am Ufer liegenden Enden sind verankert, und das Hauptgewicht wird von Stützen getragen, die sich in einem gewissen Abstand von jedem verankerten Ende befinden. Ist die zu überbrückende Spannweite so groß, daß sich die Enden nicht treffen, werden sie durch ein Zwischenglied miteinander verbunden.

Alte Brücken

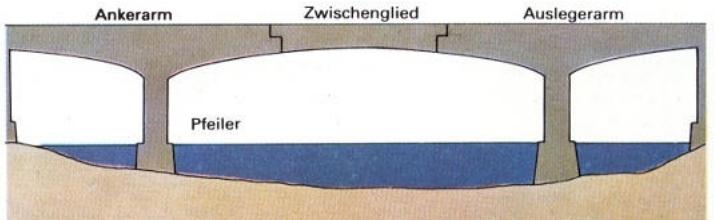
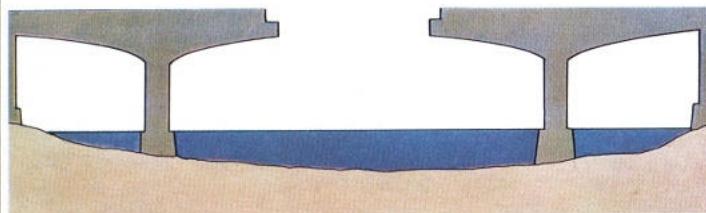
Auslegerbrücken sind seit der Antike nach althergebrachten Verfahren aus Holz oder Stein gebaut worden. Die Überreste einer erstaunlichen, aus riesigen Steinquadern erbauten Auslegerbrücke aus dem Mittelalter sind in China zu sehen. Die 335 m lange Poh-Lam-Brücke über den Drachenfluß, die aus bis zu 200 Tonnen wiegenden Granitquadern besteht, hat Spannweiten bis zu 21 m Länge. Brücken dieser Art gibt es nirgendwo sonst. Wie diese Brücke erbaut wurde, bleibt ein Geheimnis.

Primitive hölzerne Auslegerbrücken sind noch heute in Tibet und Kaschmir zu sehen. In der Nähe jedes Ufers stehen im Strom zwei Pfeiler aus kreuzweise übereinandergelegten Hölzern. Mit zunehmender Höhe werden die quer zum Strom liegenden Hölzer länger, so daß sie über die benachbarten Ufer hinausragen und auch mit den Hölzern des



Unten: Prinzip einer typischen Auslegerbrücke. Die Auslegerarme baut man meist gleichzeitig vom Pfeiler nach beiden Seiten. Das

Zwischenglied wird dann eingesenkt oder von beiden Seiten der Lücke eingebaut.



Pfeilers auf der anderen Seite zusammentreffen. Die beiden sich zu den Ufern erstreckenden 'Ankerarme' sind festgebunden, um zu verhindern, daß sie sich heben. Die beiden das Wasser überspannenden 'Auslegerarme' müssen jedoch verlängert werden, bis sie sich in der Mitte treffen. Die Lücke zwischen den Enden läßt sich auch durch darübergelegte Baumstämme schließen. Diese Baumstämme bilden dann das 'Zwischenglied' zwischen den Auslegerarmen.

Moderne Brücken

Die erste eiserne Auslegerbrücke, die aus abwechselnd angebrachten Auslegern und durchgehenden Trägern besteht, wurde erst im Jahre 1867 in Haßfurt, wo sie den Main überspannt, hergestellt. Im Jahre 1889 wurde die recht eigenartige Landsdowne-Brücke mit einer Spannweite von 240 m über den Indus in Sukkur (Indien) gebaut. Die bis zu dieser Zeit größte Auslegerbrücke wurde aber schon ein Jahr später von der berühmten Eisenbahnbrücke über den Firth of Forth bei Edinburgh in Schottland mit einer Spannweite von 521 m übertroffen.

Die auf Druck beanspruchten, unteren Hauptteile der Forth-Brücke bestehen aus riesigen röhrenförmigen Strebebalken mit jeweils einer Länge von über 30 m und einem Durchmesser von bis zu 3,70 m. Dieser Bau war der Beginn des Zeitalters der Auslegerbrücke. Fast 40 Jahre lang wählte man bei Brücken mit sehr großen Spannweiten diese Bauart. Sie hat auch die für den Eisenbahnverkehr erforderliche Festigkeit, die die HÄNGEBRÜCKEN früherer Jahre nicht aufwiesen.

Unglücksfälle

Die nächste große, aus Stahl erbaute Auslegerbrücke, die Queensboro-Brücke über den East River in New York mit einer Spannweite von 360 m wurde im Jahre 1909 für den Verkehr freigegeben. Es folgte im Jahre 1918 die über den St. Lorenz-Strom in Kanada führende Quebec-Brücke. Sie hat eine Spannweite von 549 m. Der Bau dieser Brücke verzögerte sich durch zwei große Unglücke. Das erste Unglück war der Einsturz der gesamten südlichen Hälfte der Brücke, der einmal durch das Verziehen von Versteifungsplatten (waagerecht auf einem Träger liegende Platten) verursacht wurde, zum anderen hatte man während des Baues zu viele Verbindungsstellen unverniert gelassen.

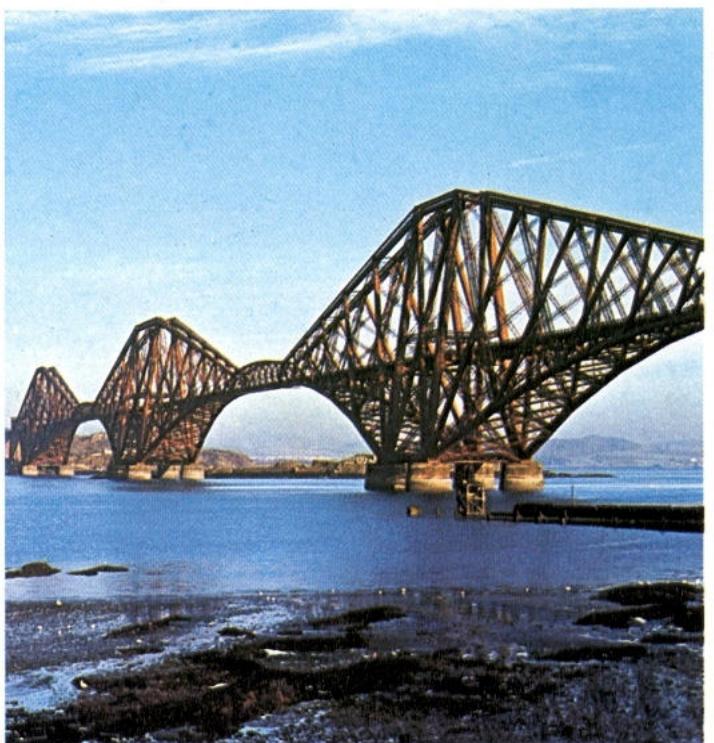
Das zweite Unglück war der Verlust eines 195 m langen Zwischengliedes von 5 000 Tonnen Gewicht. Es war eingeschwommen worden, brach jedoch zusammen, als es vom Wasser nach oben gehoben wurde.

Weitere große, seitdem erbaute Auslegerbrücken sind die Haura-Brücke (1943) in Kalkutta, die Greater-New-Orleans-Brücke (1958) über den Mississippi in den USA und die Brücke über den Delaware-Fluß (1971) in Chester, Pennsylvania, USA. Diese Brücken haben Spannweiten von 457 m, 480 m und 501 m.

Spannbeton

Bis zur Erfindung des Spannbetons wurde BETON nur selten für den Bau von Auslegerbrücken verwendet. Die Verwendung von Spannbeton hat sich seit dem Zweiten Weltkrieg durchgesetzt. Seitdem sind viele Spannbetonbrücken mit Spannweiten von 91 m bis 213 m gebaut worden, darunter die Medway-Brücke (1963) in Großbritannien mit 152 m Spannweite, die Brücke über die östliche Schelde (1965) in den Niederlanden mit 55 Brückenteilen von je 91 m Länge und die Benndorfer Autobahnbrücke über den Rhein (1964) bei Koblenz mit einer Spannweite von 208 m.

Nur wenige moderne Brücken werden unter Verwendung nur eines einzigen Bauprinzips errichtet. Stets werden neue



SPECTRUM

Oben: Die berühmte Firth-of-Forth-Eisenbahnbrücke bei Edinburgh in Schottland. Diese aus Stahl erbaute Auslegerbrücke wurde erst im Jahre 1890 geöffnet. Sie besitzt drei Haupttürme, die die Auslegerarme tragen. Zwei Zwischenglieder verbinden die vier Auslegerarme.

Kombinationen entwickelt. Drahtseilversteifte Brücken sind eine Kombination zwischen dem Ausleger- und dem Tragbalkenprinzip. Das Hohlträgerprinzip wird auch bei Brücken mit durchlaufendem Tragbalken verwendet, bei denen jedes Brückenteil eine Auslegerwirkung auf das benachbarte Teil ausübt.

AUSSENBOARDMOTOR

Die meisten kleinen Schlauch-, Ruder- und Segelboote lassen sich durch Anbringen eines Außenbordmotors am Heck in ein Motorboot verwandeln. Auf diese Weise erhält man relativ preiswert ein Motorboot. Der Motor ist nicht fest eingebaut, sondern kann für Wartungsarbeiten oder am Ende einer Fahrt zur Vermeidung eines Diebstahls leicht abgenommen werden.

Ein Außenbordmotor ist eine vollständige, abnehmbare Maschine, die am Heck eines Bootes befestigt wird oder in einem Schacht im Bootsrumpf Platz findet. Innenbordmotoren sind fest in ein Boot eingebaut.

Gottlieb Daimler (1834 bis 1900) war im Jahre 1887 einer der ersten, der die Verbrennungskraftmaschine zum Antrieb eines Bootes benutzte. Die ersten Außenbordmotoren tauchten kurz nach der Jahrhundertwende auf. Der erste Außenbordmotor war der französische Motogodille aus dem Jahre 1902. Etwa 1905 stellte Cameron Waterman in den USA einen kleinen Außenbordmotor vor. Es war jedoch dem aus Norwegen stammenden Amerikaner Ole Evinrude vorbehalten, in Milwaukee das erste auf dem Markt erfolgreiche Modell herauszubringen, das nach einer Entwicklungszeit von drei Jahren im Jahre 1909 in Serienproduktion ging.

Die ersten Motoren waren schwer und nicht immer zuverlässig. Man ging bald dazu über, leichtere Werkstoffe wie Aluminium und eine zuverlässige Anlaßvorrichtung einzuführen, nämlich die Zugschnur und den elektrischen Anlasser. Eine spätere Verbesserung bildete die Einführung eines Geräuschschutzes, indem der Motor auf Gummi gelagert wurde.

Antriebsteil

Motor, elektrische Anlage und bei kleineren Motoren der Kraftstofftank bilden den Antriebsteil. Fast alle Außenbordmotoren sind benzingetriebene Zweitakter (siehe VERBRENNUNGSMOTOR). Es gibt jedoch auch Viertakter wie den Fisher-Pierce-Bearcat und kleine Elektromotoren. Der erste Außenbord-WANKELMOTOR war der Mac 10 mit einem Einscheiben-Sachs-Wankelmotor vom Typ KM48, mit 160 ccm Hubraum und 7 kW (9,5 PS) gebremster Leistung bei 4 800 U/min.

Die Zylinder liegen meist waagerecht. Die Leistung wird vom unteren Ende der senkrecht stehenden Kurbelwelle durch eine Übertragungswelle abgenommen, die die Schiffs-

Unten: Ein Motorboot bei einer Regatta. Der Außenbordmotor hat einen Hubraum von 500 Kubikzentimetern.

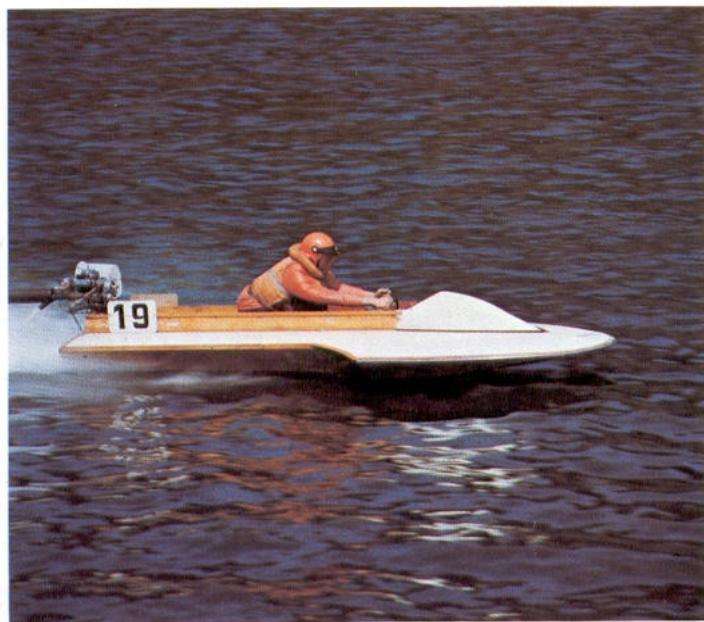


schraube über Getriebe und Schraubenwelle — im Unterwasserteil befindliche Bauteile — antreibt. Zur Zündung haben die kleineren Motoren einen Magneten, die größeren aber meist elektronische Zündsysteme mit Wechselstromgenerator.

Fast alle Außenbordmotoren sind wassergekühlt. Das Kühlwasser wird durch ein Laufrad im Unterwasserteil angesaugt, durch den Motor geführt und dann durch Öffnungen über der Schraube ausgestoßen.

Die Leistungen sind sehr unterschiedlich. Sie reichen von etwa 0,75 kW bis 100 kW (1 PS bis 135 PS) gebremster Leistung und mehr. Kleinere Motoren läßt man an, indem man eine um ein Schwungrad gewickelte Schnur zieht. Die meisten Motoren über 3,6 kW bis 4,4 kW (5 PS bis 6 PS) gebremster Leistung haben serienmäßig elektrische Anlasser, oft mit einer Zugschnur zum Anlassen in Notfällen.

Die Auspufföffnung befindet sich meist unter Wasser, bei einigen Bauarten in der Schraubennabe.



Oben: Außenbordmotorboot auf der Mosel.

Unterteil

Im Unterteil sind gewöhnlich Getriebe, Schaltung, Schraubenwelle und Kühlwasserpumpe untergebracht. Nur die kleinsten Motoren haben kein Schaltgetriebe. Mit ihnen fährt man rückwärts, indem man den Motor herumdreht, so daß die Schraube in die entgegengesetzte Richtung wirkt. Das Getriebe hat einen Vorwärts- und einen Rückwärtsgang sowie Leerlaufstellung und wird entweder durch einen Hebel mit Gestänge, gelegentlich auch durch ein SOLENOID geschaltet.

Die Drehung der Schraube hat die Tendenz, das Boot ständig in unerwünschter Weise in eine bestimmte Richtung zu drehen, genau wie sich ein kleines Ruderboot, das nur mit dem rechten Riemen gerudert wird, sowohl nach links dreht als auch vorwärts bewegt. Wenn sich also die Schraube vom Heck aus gesehen im Uhrzeigersinn dreht, schiebt sie das Bootsschott nach rechts, d.h. das Boot steuert von selbst nach links (Backbord). Bei vielen Außenbordmotoren wird dies durch ein kleines, feststehendes Ruder, das Trimmruder, ausgeglichen, das über der Schraube angebracht ist.

Das Trimmruder (ein Ruder zur Feineinstellung) vermindert auch die elektrolytische Korrosion der Schraube, die durch die Einwirkung des Salzwassers auf die Schraube und benachbarte Metallteile entsteht. Besteht die Schraube aus BRONZE und das Trimmruder aus Zink, greift die elektrolytische Korrosion nur das verhältnismäßig billige und leicht

ersetzbare Trimmruder an, nicht die kostspieligere Bronzeschraube. Bei vielen modernen Außenbordmotoren besteht die Schraube aus Kunststoff oder nichtrostendem Stahl mit einem Kunststoffüberzug. Die elektrolytische Korrosion spielt dann keine Rolle mehr (vergleiche ELEKTROLYSE).

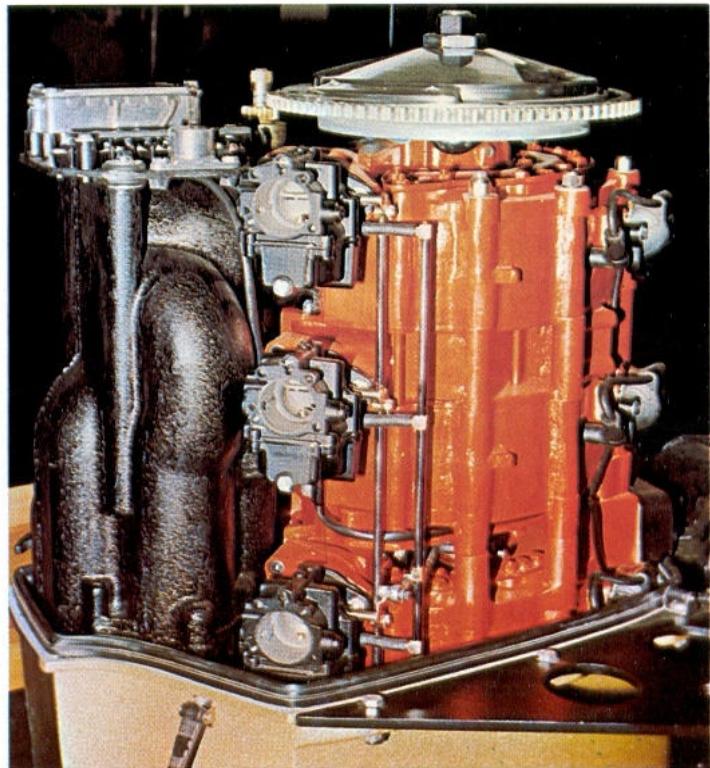
Betrieb

Die Steuerung erfolgt bei kleinen Motoren meist durch einen einer Ruderpinne ähnlichen Griff. Die Drehzahl regelt man über einen am Steuergriff angebrachten Gashebel oder über einen Drehgriff am Ende des Steuergriffs. Der Schalthebel sitzt oben auf dem Motor.

Bei Motoren mit großer Leistung ist diese Anordnung unbefriedigend, denn ab einer gebremsten Leistung von 14,7 kW (20 PS) läßt sich das Boot nicht mehr mit einem Steuergriff lenken. Bei solchen Motoren oder wenn mehr als ein Motor vorhanden ist, erfolgt die Steuerung durch einen mit einem Steuerrad verbundenen Kabelzug. Auch Schaltung und Gas werden über Kabelzüge durch Hebel betätigt.

Manchmal ist für Gas und Schaltung nur ein einziger Hebel vorhanden. In Mittelstellung des Hebels steht das Getriebe auf Leerlauf und trennt die Kraftübertragung zwischen Motor und Schraube. Schiebt man den Hebel nach vorne, wird der Gang eingelegt. Schiebt man ihn weiter nach vorne, wird Gas

Unten: Johnson-Drehkolben-Außenbordmotor für Rennboote.

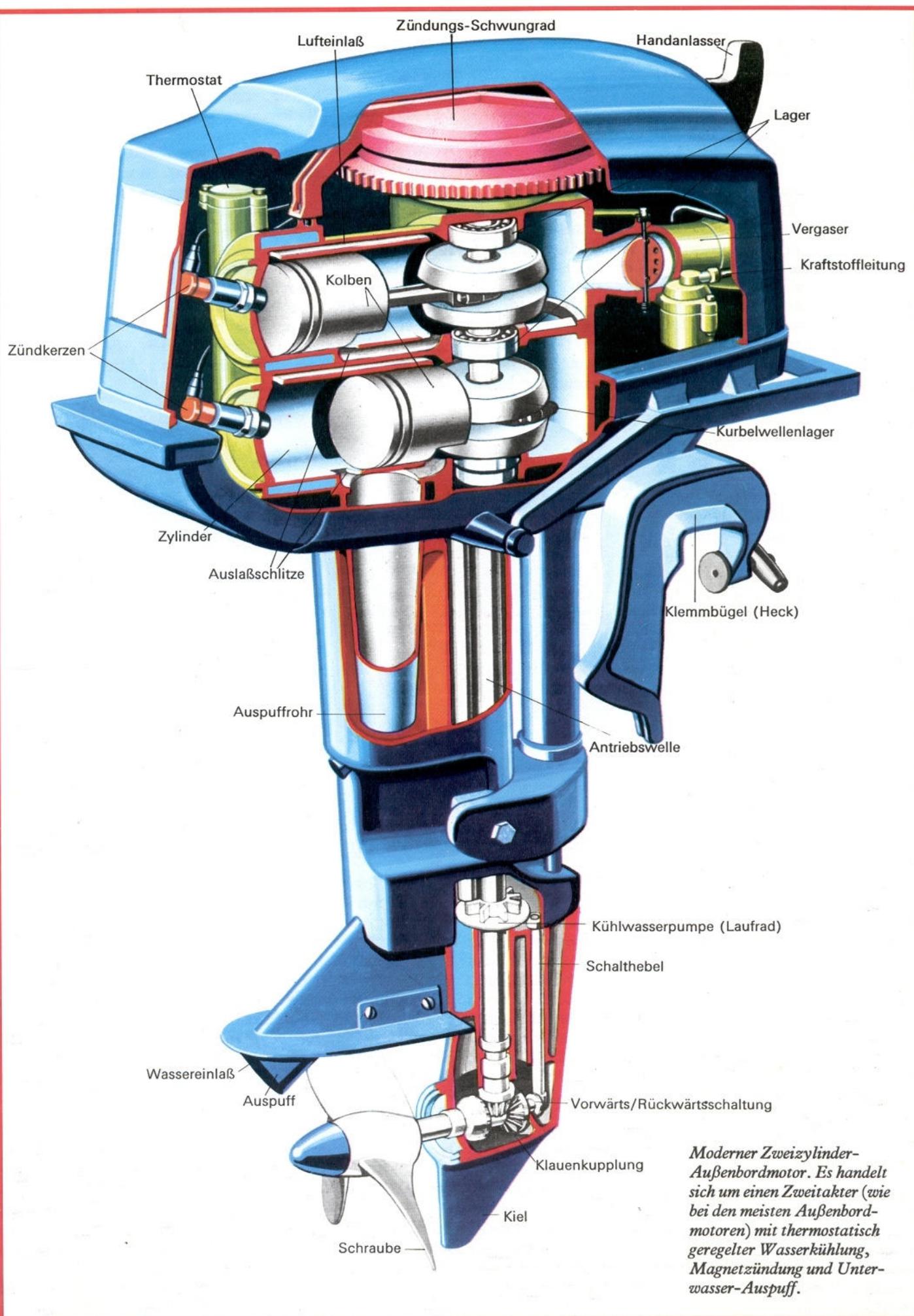


JOHN WATNEY

gegeben. Zum Umschalten auf den Rückwärtsgang schiebt man den Hebel über die Mittelstellung (Motor im Leerlauf) hinaus nach hinten. Dabei wird der Rückwärtsgang eingelegt und gleichzeitig Gas gegeben.

Sind zwei Hebel vorhanden, einer für das Gas und einer für die Schaltung, sorgt in der Regel eine Sicherheitsverriegelung dafür, daß sich das Getriebe nur dann schalten läßt, wenn der Gashebel auf Leerlauf steht.

Wird ein Boot von zwei oder mehr Motoren angetrieben, ist eine Einhebel-Kabelzugeinrichtung für jeden Motor vorhanden. Die Hebel sind nebeneinander so in der Nähe des Steuerrades angebracht, daß sie sich gleichzeitig mit einer Hand betätigen lassen.



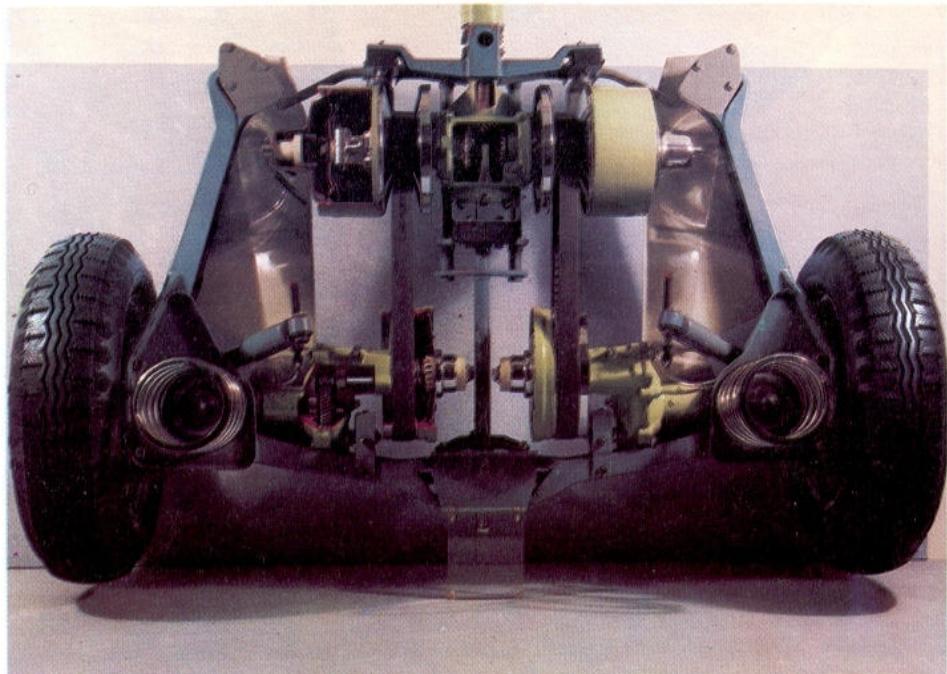
AUTOMATIKGETRIEBE

Automatikgetriebe erleichtern das Fahren von Kraftfahrzeugen, so daß der Fahrer sein Ziel ausgeruht erreichen kann.

Bei PKWs, LKWs, Bussen und anderen Kraftfahrzeugen — wie beispielsweise Schleppern, Mobilkränen und allen Arten von Baufahrzeugen — wird die Antriebskraft des Motors über eine Kraftübertragung an die Räder weitergeleitet. Zu diesem System gehören Zahnräder, die die Leistungscharakteristik des Motors an den Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeuges anpassen, sowie ein Verbindungsmechanismus, die Kupplung, wodurch der Motor vom Kraftstrang getrennt werden kann.

Die Zahnräder sind von unterschiedlicher Größe. Im kleinen Gang treibt ein kleines Zahnrad ein größeres, d.h. das kleine Zahnrad muß sich schneller drehen. Im großen Gang liegt der Fall umgekehrt. Grundsätzlich gilt: Das GETRIEBE ändert das Drehzahlverhältnis zwischen Motor und Antriebsräder auf der Straße. Bei einem Fahrzeug mit hand-

Rechts: Ein Variomatic-Getriebe. Es ist im Heck eines Fahrzeugs mit vorne liegendem Getriebe angebracht. Die Vorderseite des Getriebes ist im Bild zu sehen. In der Mitte liegt die Abtriebswelle. Außen sind die beiden Unterdruckvorrichtungen zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses mit Hilfe der beweglichen Riemscheiben, die auf beiden Seiten zwischen ihnen und von Keilriemen aus Gummi angetrieben werden, zu erkennen. Die angetriebenen Riemscheiben sind einzeln mit den Hinterrädern verbunden. Dieser einfache und wirkungsvolle Mechanismus ist nicht für große Fahrzeuge mit hoher Motorleistung geeignet, da die Riemen und Riemscheiben nur ein begrenztes Drehmoment ohne Schlupf (Leistungsverlust) übertragen können.



SCIENCE MUSEUM/CHRIS BARBER

geschaltetem Getriebe geht der Fahrer während des Beschleunigungsvorganges mit Hilfe des Schalthebels von einem kleineren auf einen größeren Gang über.

Beim Automatikgetriebe wird der jeweils passende Gang ohne Zutun des Fahrers gewählt. Der Fahrer braucht kein Kupplungspedal zu betätigen; Wahl und Einrücken der Gänge geschehen automatisch. Der Fahrer betätigt lediglich einen Vorwählhebel, mit dem er verschiedene Betriebszustände einstellt: P bei abgestelltem Fahrzeug, N bei stehendem Fahrzeug mit laufendem Motor, D bei Vorwärtsfahrt und L zum Festhalten des kleinen Ganges. Sperren verhindern, daß beim fahrenden Fahrzeug die Stellungen für Rückwärtsfahrt und Stillstand eingelegt werden können. Sicherheitsvorrichtungen sorgen dafür, daß der Motor ausschließlich in den Stellungen N oder P angelassen werden kann. Befindet sich der Hebel in der Stellung D, werden die Gänge automatisch geschaltet.

Man darf ein Automatikgetriebe nicht mit einem *halb-automatischen Getriebe* verwechseln, bei dem der Fahrer die Gänge von Hand schaltet, dabei aber von einer automatischen Kupplung unterstützt wird. Man kennt außerdem das *Wählgetriebe*, bei dem der Fahrer die Gänge vorwählt und die Kupplung betätigt, während der Schaltvorgang automatisch erfolgt.

Bedingungen für Automatikgetriebe

Automatikgetriebe müssen das Fahrzeug weich und ruckfrei aus dem Stillstand beschleunigen. Daher muß der Motor gegenüber den Rädern Schlupf haben, damit er laufen kann, während das Fahrzeug steht. Mit zunehmender Motordrehzahl wird den Rädern mehr Leistung zugeführt.

Hinzu kommt, daß ein Automatikgetriebe eine hinreichende Anzahl von Schaltstufen aufweisen soll, damit alle möglichen Belastungszustände des Fahrzeugs und alle auftretenden Geschwindigkeiten abgedeckt werden können. Das Übersetzungsverhältnis ist das Verhältnis zwischen der Motordrehzahl (in Umdrehungen pro Minute) und der Drehzahl der Abtriebswelle am Ausgang des Automatikgetriebes (ebenfalls in Umdrehungen pro Minute). Normalerweise steht für diesen Bereich eine Zahl verschiedener Übersetzungsverhältnisse (gewöhnlich drei oder vier) zur Verfügung, doch wurde ein System entwickelt, das über eine bestimmte Drehzahl das Übersetzungsverhältnis stufenlos ändert. Es handelt sich dabei um das Variomatic-Getriebe, das von der Firma Daf in Holland hergestellt wird.

Feste Übersetzungsverhältnisse

Fahrzeuge mit stärkeren Motoren haben ein Automatikgetriebe mit einer Anzahl von Übersetzungsverhältnissen, die automatisch gewählt und geschaltet werden. Dies geschieht durch hydraulisch oder (weniger häufig) durch elektrisch angesteuerte Kupplungen. Die entsprechenden Steuereinrichtungen empfangen die elektrischen Impulse auch hier über den Unterdruck und über die Drehzahl. Hinzu kommen zusätzliche Vorrichtungen zur Außerbetriebsetzung dieser Einrichtungen, die mit dem Gaspedal und der Abtriebswelle des Getriebes verbunden sind. An der Abtriebswelle kann die Fahrgeschwindigkeit abgenommen werden.

Planetengetriebe

Die Zahnräder selbst sind fast stets in ständigem Eingriff laufende Planeten-Sätze. Man spricht von 'Planetengetriebe', weil das System aus einem inneren Sonnenrad besteht, das sich im Eingriff mit zwei kleineren Planetenrädern befindet, die auf dem Planetenträger angebracht sind. Diese Planetenräder drehen sich um das Sonnenrad; um sie wiederum läuft ein innenverzahnter Außenring, das *Hohlrad*. Die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse werden dadurch hergestellt, daß das eine oder andere Teil des Planetensatzes

Abbildung 1:

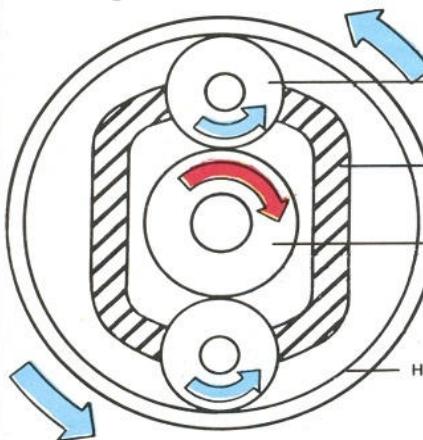


Abbildung 2:

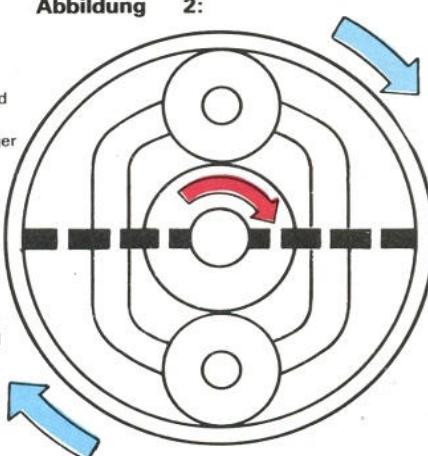
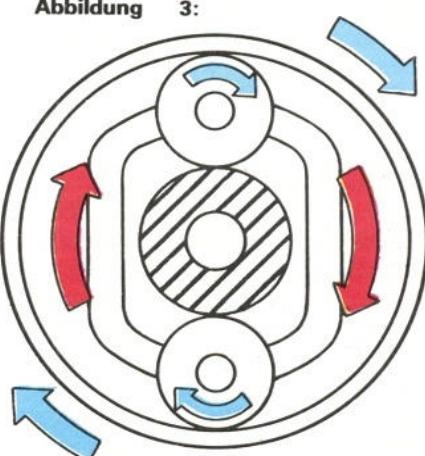
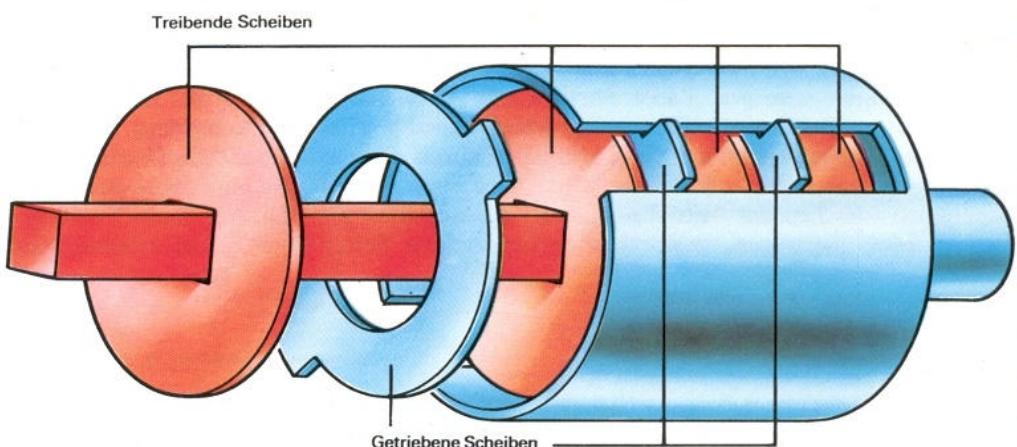


Abbildung 3:

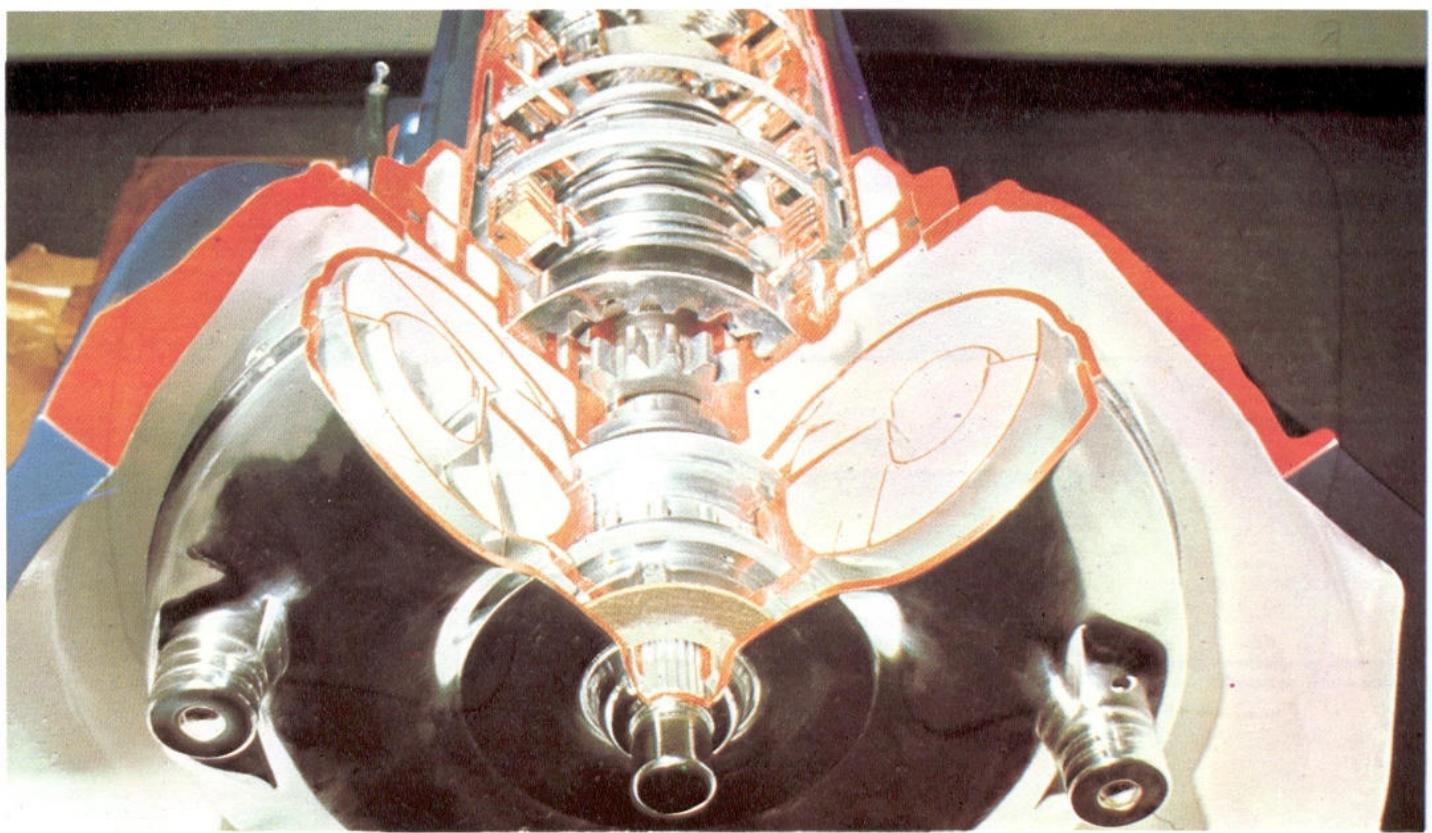


Oben: Ein Planetensatz. Wenn der Träger steht und das Sonnenrad sich dreht (Abbildung 1), dreht sich das Hohlrad langsam in der entgegengesetzten Richtung. Wird das Sonnenrad gegenüber dem Hohlrad gesperrt (Abbildung 2), dreht sich die gesamte Einheit starr. Bei Sperrung des Sonnenrads und Drehen des Trägers (Abbildung 3) dreht sich das Hohlrad in derselben Richtung, jedoch schneller.



TOM MCARTHUR

BORG WARNER



Oben: Ein Automatikgetriebe des Typs Borg-Warner-Modell 45 wird für kleinere Autos benutzt, die einen Hubraum zwischen einem und zwei Liter haben. Wenn keine großen Geschwindigkeitsübersetzungen vorliegen, hat man vier Übersetzungsverhältnisse, die

durch drei Sätze eines Planetengetriebes erzielt werden. Um das Gehäuse klein zu halten, ist das übliche Bremsband an der Außenseite durch eine Mehrfachkupplung ersetzt worden, von denen es insgesamt fünf Stück gibt.

von einer Kupplung festgehalten wird, beispielsweise der Planetenträger. Ein Automatikgetriebe enthält mehrere miteinander verbundene Systeme dieser Art, wodurch die benötigte Anzahl von Zahnrad-Kombinationen zur Verfügung steht.

Kupplungssysteme

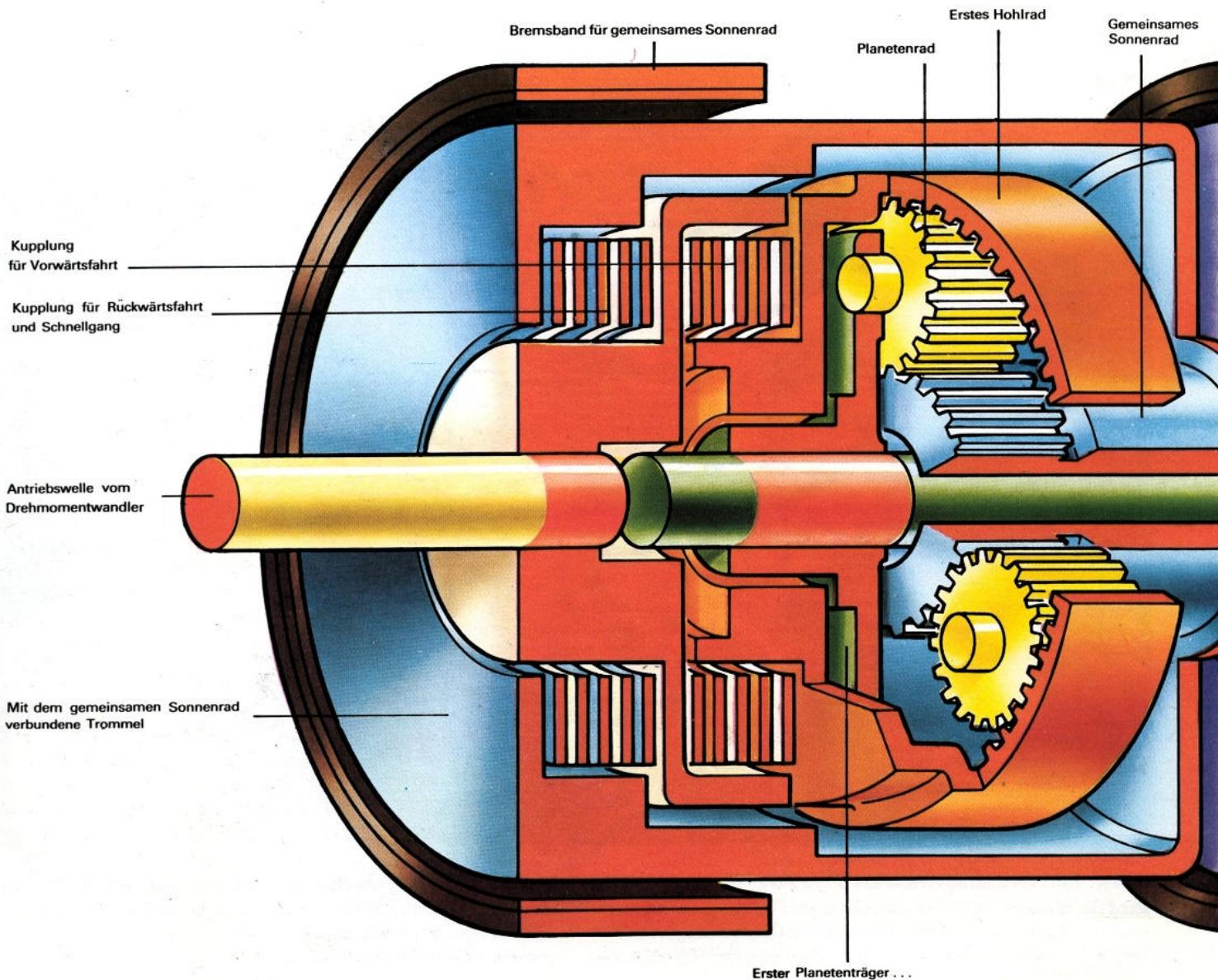
Zu Planetengetrieben dieser Art gehört stets eine Flüssigkeitskupplung (auch *hydrokinetische Kupplung* genannt). Bei Kupplungen dieses Arbeitsprinzips überträgt eine Flüssigkeit (Öl) das Drehmoment von der Eingangsseite (*Pumpenrad*), die vom Motor angetrieben wird, zur Ausgangsseite (*Turbinenrad*), die die Kraft an das Getriebe weiterleitet.

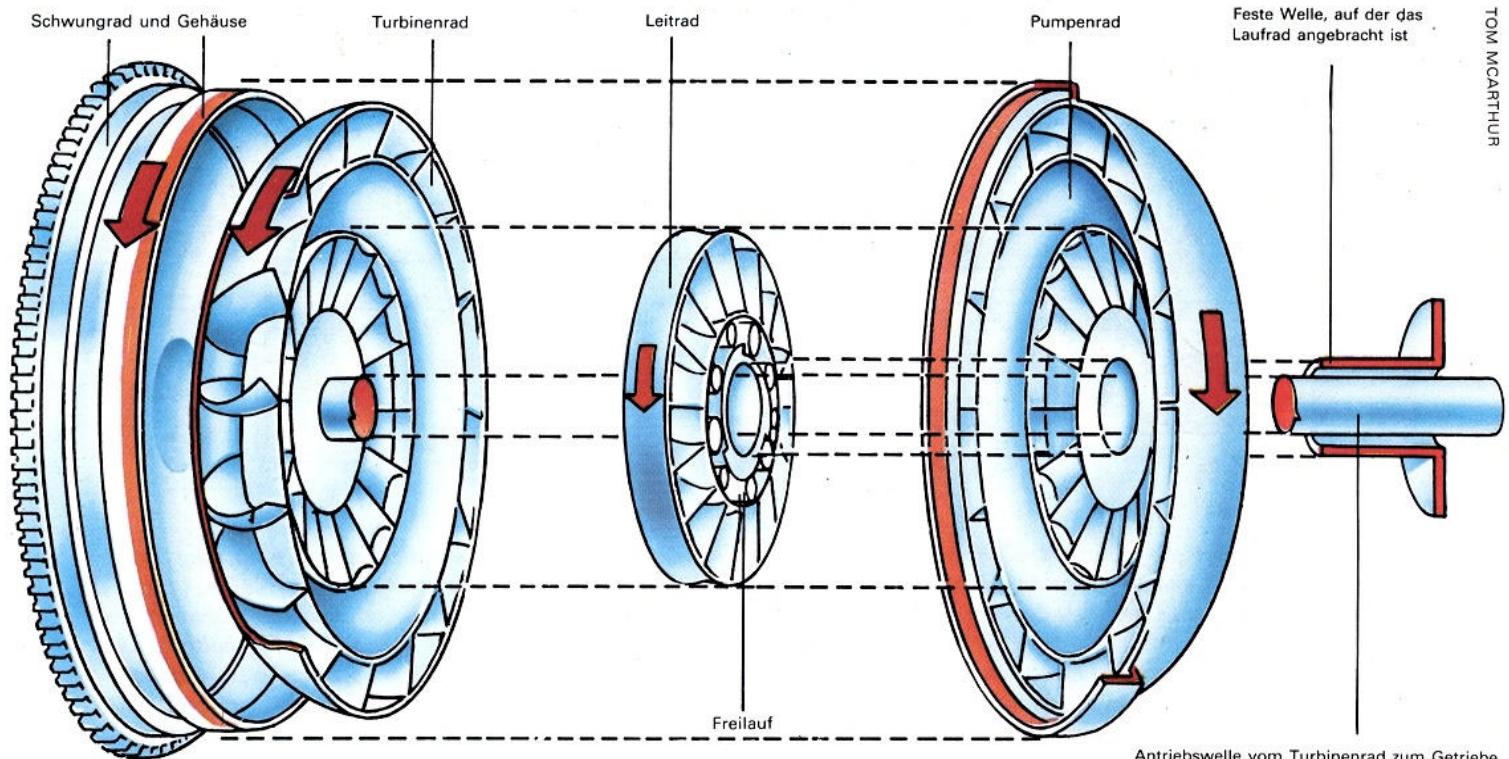
Die einfachste Ausführung, die erstmalig im Jahre 1929 von der Firma Daimler-Benz zusammen mit einem Vorrwärm-Getriebe verwendet und in Fahrzeugen der Marken Rolls-Royce und Mercedes-Benz bis vor kurzer Zeit zu finden war, ist die *Flüssigkeitskupplung*. Man nannte sie auch das *flüssige Schwungrad*. Sie besteht im wesentlichen aus zwei einander gegenüberliegenden Scheiben mit radial angeordneten Schaufeln, mit einem winzigen Zwischenraum zur Vermeidung unmittelbarer Berührung. Die pumpende Scheibe (das Pumpenrad) schleudert Öl auf die Turbine, wodurch diese in Umdrehung gesetzt wird. Auf diese Weise wird ohne starren Durchtrieb zwischen der Antriebs- und der Abtriebsseite ein Drehmoment übertragen, wodurch zwischen beiden Seiten

ein Schlupf auftreten kann. (Schlupf ist jeglicher Unterschied in den Umdrehungsgeschwindigkeiten von Pumpenrad und Turbinenrad). Wichtig bei der Flüssigkeitskupplung ist, daß das Eingangs- und das Ausgangs-Drehmoment stets gleich sind. Jeder Unterschied der Drehzahl zwischen Ab- und Antriebsseite entspricht dem auftretenden Schlupf. Hieran läßt sich der Wirkungsgrad der Kupplung sogleich ermitteln.

Eine kompliziertere Form der hydrokinetischen Kupplung ist der *Drehmomentwandler*; er wird so genannt, weil er das eingespeiste Drehmoment *wandelt* oder vervielfacht. Zu dem Drehmomentwandler wird zwischen dem Pumpenrad und dem Turbinenrad ein drittes Bauteil eingefügt. Außerdem sind die Schaufeln nicht mehr gerade, sondern gekrümmt. Das dritte Bauteil, der *Stator* oder das *Leitrad*, ist so angebracht, daß der Flüssigkeitsstrom vom Pumpenrad umgelenkt wird. Er trifft in einem günstigeren Winkel auf das Turbinenrad auf und verstärkt so das auf die Turbine wirkende Drehmoment. Somit kann das in das Getriebe eingespeiste Drehmoment über dem vom Motor gelieferten Drehmoment liegen.

Diese Art von Wandler wird bei Baumaschinen verwendet und ist für Automobile ungeeignet. Er hat seinen günstigsten Wirkungsgrad bei etwa 40% Schlupf; bei den Extremwerten des Schlupfbereiches ist er äußerst unwirksam, weil dort die gesamte Motorleistung in Wärme umgewandelt wird. Die Lösung dieses Problems besteht darin, daß man das Leitrad auf einem Freilauf oder einer Freilaufkupplung anbringt.

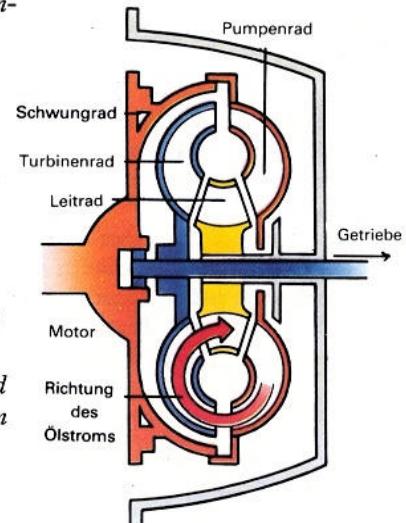




Antriebswelle vom Turbinenrad zum Getriebe

Links: Schematische Darstellung eines typischen Dreiganggetriebes. Es verfügt über zwei Planetenträgertasche, zwei Mehrscheibenkupplungen und zwei Bremsbänder. Der (in einer getrennten Abbildung gezeigte) Drehmomentwandler wurde zur Verdeutlichung des Prinzips hier nicht abgebildet. Bestimmte Teile sind starr miteinander verbunden und rotieren gemeinsam: Die Sonnenräder beider Getriebe sind ein Teil und außerdem mit einer Trommel verbunden, die bis ans vordere Ende der Einheit reicht. Der

Oben und rechts: Der Drehmomentwandler arbeitet wie zwei einander gegenüberliegende Lüfter: Durch das Drehen des einen wird der andere mitgerissen. Das Gehäuse ist mit Öl gefüllt, das durch das Pumpenrad nach außen geschleudert wird und durch das Turbinenrad zurückkehrt. Dabei wird das Turbinenrad vom Pumpenrad mitgenommen. Bei niedriger Drehzahl hat das Turbinenrad Schlupf. Das Leitrad lenkt den Ölstrom so, daß das Drehmoment des Pumpenrades kräftiger übertragen wird, und versetzt dem Leitrad einen Rückstoß.



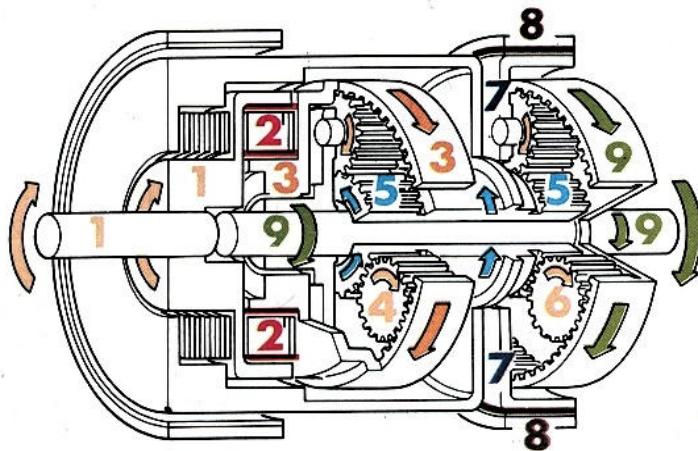
erste Planetenträger, das zweite Hohlrad und die hintere Antriebswelle, über die die Räder angetrieben werden, stehen ebenfalls miteinander in Verbindung. Die Bremsbänder halten die Trommelverlängerung des gemeinsamen Sonnenrades sowie den zweiten Planetenträger und bremsen sie ab.

... und der Antriebswelle

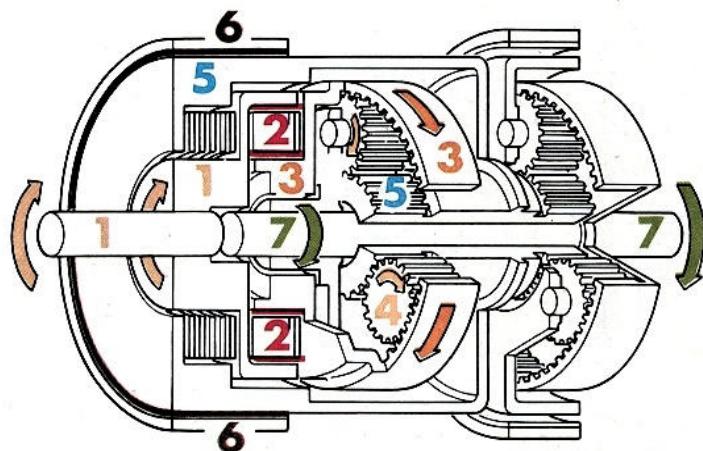
... verbunden mit dem zweiten Hohlrad ...

Wenn jetzt der Einkupplungspunkt erreicht wird, kann das Leitrad in derselben Richtung wie das Turbinenrad rotieren; gegen eine Drehung in Gegenrichtung ist es aber gesperrt. Dieses System wird bei den meisten Automobilen mit Automatikgetriebe verwendet.

Am Einkupplungspunkt trennt sich das Leitrad automatisch vom Kreislauf, in dem es keine Funktion mehr hat. Jetzt arbeitet der Mechanismus ausschließlich als Flüssigkeitskupplung ohne Drehmoment-Vervielfachung oder -umwandlung. Daher müßte man ihn streng genommen als Wandlerkupplung bezeichnen, allerdings hat sich in der Kraftfahrzeugindustrie der Begriff Drehmomentwandler durchgesetzt. Tatsächlich vereinigt diese Vorrichtung die besten Eigenschaften der Flüssigkeitskupplung und des Flüssigkeitswandlers, allerdings büßen dabei beide etwas von ihrem Wirkungsgrad ein. Der Übergang von 'Wandler' auf 'Kupplung' nach Erreichen des Einkupplungspunktes geht langsam vor sich, da



Erster Gang: Antriebswelle (1) rotiert, Kupplung für Vorwärtsfahrt (2) ist gesperrt und treibt das erste Hohlrad (3) und die ersten Planetenräder (4) an. Über diese dreht sich das Sonnenrad (5) gegenläufig. Das Sonnenrad treibt die zweiten Planetenräder (6) in Vorwärtsrichtung; der zweite Planetenträger (7) wird durch das Bremsband (8) gehalten, so daß das Hohlrad (9) sich langsam dreht und die Räder des Fahrzeugs antreibt.



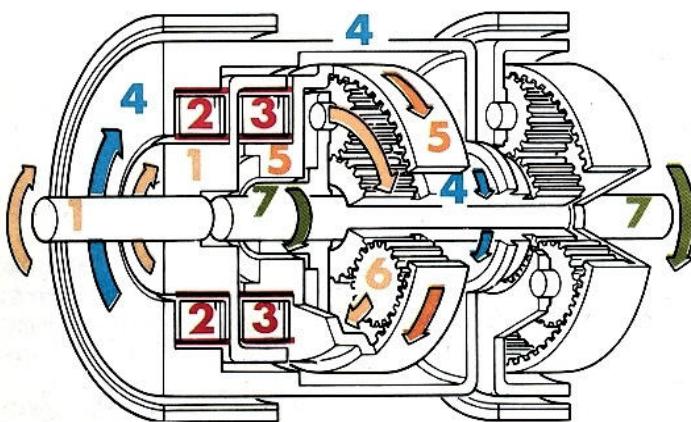
Zweiter Gang: Antriebswelle (1) rotiert, Kupplung für Vorwärtsfahrt (2) ist gesperrt, so daß das erste Hohlrad (3) und die ersten Planetenräder (4) angetrieben werden. Das gemeinsame Sonnenrad (5) wird durch das Bremsband (6) gehalten, damit dreht sich der erste Planetenträger (7) langsam in Vorwärtsrichtung und treibt durch die mit ihm verbundene Abtriebswelle die Räder und das zweite Hohlrad an, das ohne etwas anzutreiben mitläuft.

die für den Wandlerbetrieb erforderliche Krümmung der Schaufeln nicht unbedingt für den Kupplungsbetrieb geeignet ist. Außerdem wird der Einkupplungspunkt normalerweise erreicht, wenn das Eingangs- und das Ausgangs-Drehmoment gleich sind. An dieser Stelle aber ist die Drehzahl auf der Abtriebsseite noch etwa 10% geringer als auf der Antriebsseite.

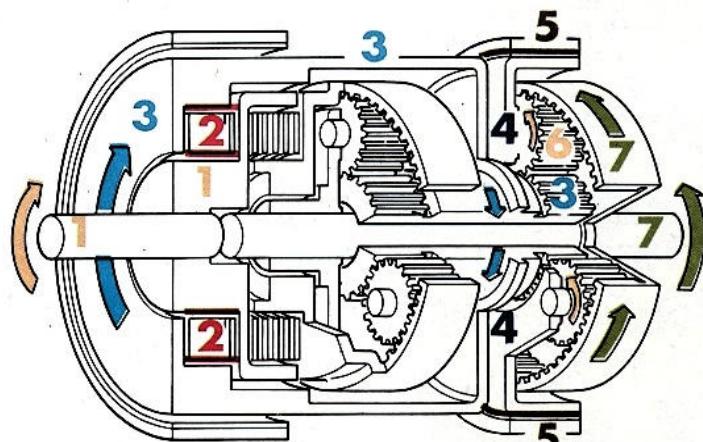
Die Verbindung einer Wandlerkupplung — mit so viel Schlupf, daß der Motor bei stehendem Fahrzeug im Leerlauf betrieben werden kann, und genug Kraftschluß, um den größten Teil der Motorleistung bei hohen Drehzahlen zu

übertragen — mit einem Automatik-Planetengetriebe findet sich fast überall in Personenwagen und anderen Fahrzeugen, die mit Automatikgetrieben ausgerüstet sind.

Bei den meisten Entwicklungsarbeiten ging es um eine Vereinfachung (und Verbilligung) der Getriebeherstellung sowie um eine Reihe von Verfeinerungen der Steuereinrichtung. Die wichtigsten sind jene, die dem Fahrer die Möglichkeit geben, den Gangwechsel zu verhindern, der sonst automatisch stattfinden würde. Damit kann er das Getriebe zur besseren Beschleunigung in einer niedrigen Gangstufe halten.



Schnellgang: Antriebswelle (1) rotiert, beide Kupplungen (2) und (3) sind gesperrt, so daß die Antriebswelle das gemeinsame Sonnenrad (4) und das erste Hohlrad (5) antreibt. Die Planetenräder (6) liegen zwischen diesen beiden und werden mitgenommen, ohne sich selbst zu drehen. Sie wiederum nehmen den ersten Planetenträger (7) und die mit ihm verbundene Abtriebswelle mit, wodurch die Räder des Fahrzeugs angetrieben werden.



Rückwärtsgang: Antriebswelle (1) rotiert, die Kupplung (2) ist gesperrt, das gemeinsame Sonnenrad (3) wird unmittelbar angetrieben. Der zweite Planetenträger (4) wird durch die Bandbremse (5) gehalten, also dreht das Sonnenrad die Planetenräder (6) gegen das zweite Hohlrad (7), wodurch es in Umdrehung versetzt wird und wiederum die mit ihm verbundenen Räder des Wagens langsam in Rückwärtsrichtung antreibt.



WAS ERWARTET SIE IN HEFT 4 VON **WIE GEHT DAS**

In 1950 gab es nur 600 000 Autos in der Bundesrepublik : heute sind es 19 Millionen, und die Zahl steigt weiterhin ständig an. Verfolgen Sie die Entwicklungsgeschichte des Autos in Heft 4 von WIE GEHT DAS.

Der größte Bagger der Welt kann an einem Tag genau soviel ausgraben wie 45 000 Arbeiter mit Schaufeln. In WIE GEHT DAS erklären wir wie Bagger funktionieren. Weshalb fliegt ein Ballon ? Oder ein Luftschiff ?



Hierüber informiert Sie
WIE GEHT DAS
Kaufen Sie Heft 4
bei Ihrem Zeitschriftenhändler.

