

HEFT 60 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25 SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Tonspur	1653
Torpedo	1656
Tragflügelboot	1658
Trägheit	1662
Trägheitsführung	1664
Tragschrauber	1668
Traktor	1671
Transistoren	1676

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDEN WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

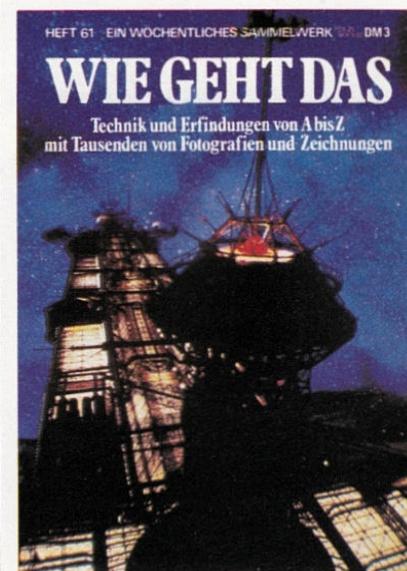
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

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

### INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen. Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

## In Heft 61 von Wie Geht Das



Die in modernen Filmen gezeigten Trickeyeffekte, besonders in Science-Fiction-Filmen, können sehr wirkungsnahe Eindrücke vermitteln. Wie diese Effekte erzielt werden, können Sie in Heft 61 von Wie Geht Das nachlesen.

Ein Flugzeug, das schneller als der Schall fliegt, ist aerodynamischen Kräften ausgesetzt, die für die Flugzeugkonstrukteure besondere Probleme schaffen. Um welche Probleme es sich handelt, und wie sie zu lösen sind, ist in der nächsten Ausgabe von Wie Geht Das beschrieben.

### 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.

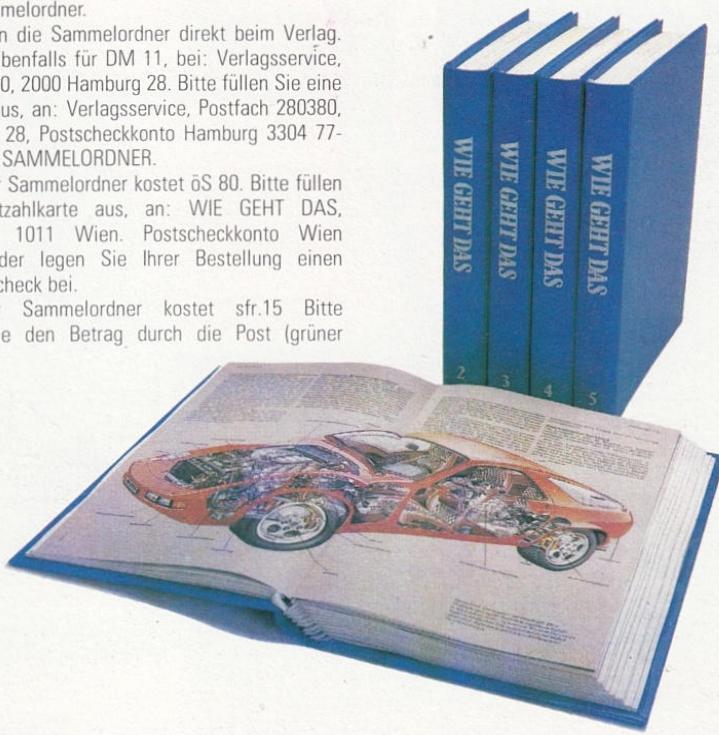
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner

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

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



# TONSPUR

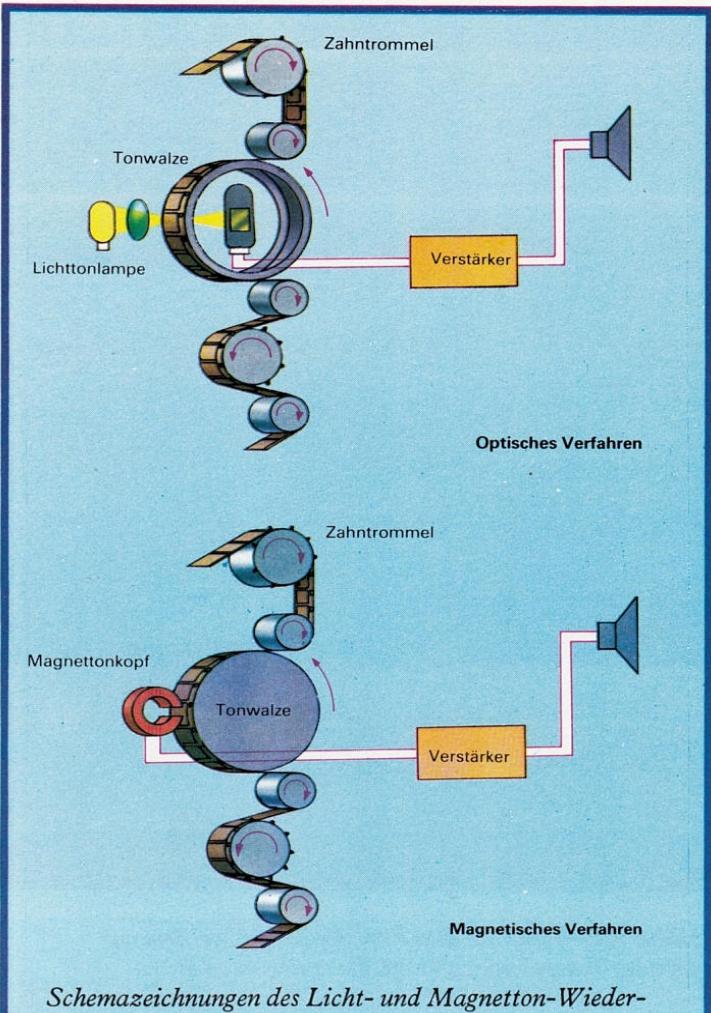
Mit Hilfe der Tonspuren können Spielfilme mit Hintergrundmusik, Geräuscheffekten und Stimmen, die mit den Lippenbewegungen der Schauspieler synchronisiert sind, versehen werden; und das sogar in Hi-Fi-Qualität.

Der erste, im Jahre 1927 gedrehte Spielfilm mit synchronisierten Tonspuren, 'Der Jazz-Sänger' mit Al Jolson in der Hauptrolle, benutzte noch eine umgearbeitete Schallplatte. In den frühen dreißiger Jahren wurde dann die optische Tonaufzeichnung, das sogenannte Lichttonverfahren, eingeführt. Hierbei wird der Ton auf einer Längsseite des Filmes in Form einer transparenten Linie aufgezeichnet, die im Rhythmus der Schallschwingungen in der Helligkeit oder in der Breite verändert wird. Zur Wiedergabe wird diese Tonspur zwischen einer Lichtquelle und einer FOTOZELLE hindurchgeführt. Die Fotozelle erzeugt dabei im Rhythmus der Intensitätsschwankungen elektrische Signale, die zunächst verstärkt und dann den Lautsprechern zugeführt werden. Schon früher waren optische Tonaufzeichnungsverfahren erprobt worden, und zwar im Jahre 1906 von dem Franzosen Eugène Lauste und im Jahre 1922 von dem Amerikaner Theodore Case. Aber erst zu Beginn der dreißiger Jahre wurde durch die Entwicklung von geeigneten Filmemulsionen die Voraussetzung für die Lichttonaufzeichnung geschaffen.

Eine weitere Möglichkeit zur Tonaufzeichnung bietet das MAGNETBAND. Noch sind die meisten Filme jedoch mit Lichttonspur versehen.

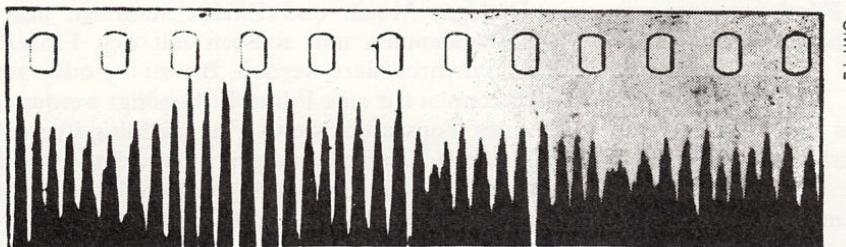
## Optische Tonaufzeichnung

Filmkameras mit Tonaufzeichnung gibt es für die Formate von 35 mm und 16 mm sowie für die Super-8-Filme. Die wesentlichen Bauteile dieser Kameras sind das lichtdichte Gehäuse, der Filmtransportmechanismus mit Schwungrad und Tonwalze, abnehmbare Magazine für den unbelichteten und den belichteten Film und eine Lichtquelle mit optischer Spaltabbildung. Mit diesem System wird eine Spur aufbelichtet, die im Rhythmus der Schallschwingungen moduliert ist. Die Lichtspur kann auf zwei Arten moduliert werden: Entweder lenken die im Mikrofon erzeugten elektrischen Wechselfrequenzen den Spiegel eines Spiegelgalvanometers mehr oder weniger stark ab oder sie steuern unmittelbar die Helligkeit der Lichttonlampe. Im ersten Falle reflektiert der Galvanometerspiegel das Licht der Lampe über eine V-förmige Maske auf einen waagerechten Spalt, der seinerseits auf den Film im Bereich der Tonwalze scharf abgebildet wird. Auf diese Weise entsteht eine Doppelzackenschrift, die als helle Doppelspur unterschiedlicher Breite in einem dunklen Randstreifen verläuft (Amplituden-

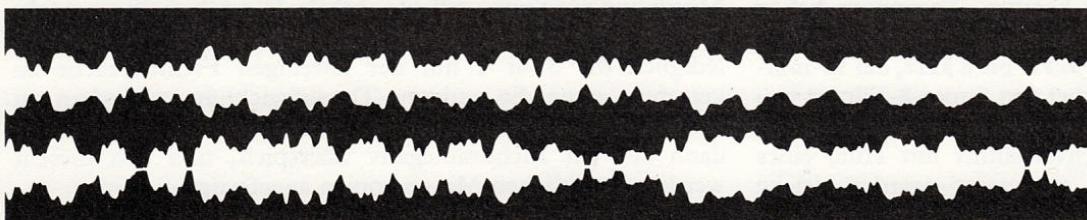


Schemazeichnungen des Licht- und Magnetton-Wiedergabesystems in einem 16-mm-Projektor. Der Film ragt mit der Lichttonspur seitlich über die Tonwalze hinaus, so daß das Licht zur Fotozelle durchdringen kann. Wechselweise zur Lichttonabspielvorrichtung kann der Magnettonkopf angebracht werden. Bei dem 16-mm-Projektor sind beide Tonabnehmersysteme hinter dem Bildfenster angeordnet.

verfahren). Mit Hilfe der Helligkeitssteuerung werden dagegen Spaltbilder mit unterschiedlichen Schwärzungen auf dem Film erzeugt. Es entsteht eine Intensitäts- oder Sprossenschrift, da die Tonspur gleich breit und nur in Längsrichtung moduliert ist (Longitudinalverfahren). Um bei geringer und erst recht bei fehlender Tonstärke den Rauschpegel klein zu halten, wird beim Amplitudenverfahren mit



SMPTE



**Links:** Der obere Teil zeigt die Tonspur eines Filmes, der im Jahre 1910 von Eugène Lauste hergestellt wurde. Dieses Prinzip wird noch heute angewendet. Aber erst als die Elektronik und gute Lautsprecher entwickelt waren, wurden die Tonfilme ein kommerzieller Erfolg. Darunter ist in einem vergrößerten Maßstab die neueste Entwicklung einer stereo-optischen Tonaufzeichnung wiedergegeben. Mit Hilfe eines 'Reintonverfahrens' kann man Hi-Fi-Qualität erzielen.



**Oben:** Eine Szene aus dem Film 'Erdbeben', bei dem mit Hilfe der Tonspur spezielle Effekte erzielt wurden.

einer sogenannten Klartonblende gearbeitet. Diese deckt bei niedriger Aussteuerung die nichtmodulierten Randflächen der Spur teilweise ab und lässt so ein Minimum an Licht hindurch.

Die Belichtung der Tonspur wird präzise gesteuert, und der Film wird dann in einer Entwicklungsanstalt vollautomatisch verarbeitet. Das Negativ wird beim Longitudinalverfahren bis zu einer definierten Schwärzung entwickelt, die zuvor mit zwei Testfrequenzen ermittelt wurde. Da das Negativ nicht zur Tonwiedergabe geeignet ist, muss zunächst eine Kopie von der Tonspur angefertigt werden.

Die Tonspur wird versetzt auf den Spielfilm kopiert, und zwar läuft sie beim 35-mm-Format um 20 Bilder, beim 16-mm-Format um 26 Bilder und beim Super-8-Film um 22 Bilder voraus. Dieser Ton-Bild-Abstand ist notwendig, um den ruckweisen Filmtransport im Bereich des Bildfensters mit kurzzeitigem Stillstand während der Projektion jedes Einzelbildes in eine absolut gleichmäßige Filmbewegung am dahinterliegenden Tonabnahmekopf überzuführen. Dies geschieht mit Hilfe von Filmschleifen, Rollen und einer relativ schweren Tonwalze.

Das Abspielgerät besteht ebenfalls aus einer Lampe mit optischer Spaltabbildung und einer Fotozelle, die hinter dem Film angeordnet ist. Heute wird an Stelle der von De Forest (1873 bis 1961) entwickelten Fotozelle eine Fotodiode oder eine den Verstärker bereits enthaltende INTEGRIERTE SCHALTUNG (Halbleiter-Chip) mit Fotodiode benutzt. Tonspuren haben je nach Filmformat einen unterschiedlichen Frequenzumfang. Er reicht bei 35-mm-Filmen von 50 Hz bis 8 kHz, bei 16-mm-Filmen von 80 Hz bis 6 kHz und bei den Super-8-Filmen von 100 Hz bis 4 kHz. Der Frequenzgang kann allerdings noch verändert und das Signal/Rauschverhältnis mit Hilfe eines speziellen Verfahrens (Dolby) verbessert werden (siehe TONBANDGERÄT).

### Magnetische Tonaufzeichnung

Die Magnetton-Aufzeichnung wurde im Jahre 1950 in die Filmtechnik eingeführt. Das neue Verfahren verlangte natürlich gegenüber der herkömmlichen Lichttonaufzeichnung eine völlige Umstellung in der Bedienung und bei der Synchronisation, nicht zuletzt, weil die magnetische Aufzeichnung ja unsichtbar war. Dafür gab es eine Reihe von Verbesserungen wie z.B. einen geringeren Pegel, einen größeren Frequenzumfang und die Möglichkeit, die Aufnahme sofort abzuspielen und auch schnell Kopien anfertigen zu können.

Praktisch alle Tonspuren werden heute auf 6,25 mm breitem Magnetband und üblicherweise mit tragbaren Tonbandgeräten aufgenommen. Zusätzlich zur Tonspur enthält das Magnetband auf einer separaten Spur Steuerpulse, die von der Kamera in Abhängigkeit von ihrer Laufgeschwindigkeit ausgelöst werden. Diese Pulse steuern bei der späteren Filmvorführung den Filmtransport im Projektor und sorgen so für eine exakte Synchronisation.

Die einzelnen, auf einem Band befindlichen Tonereignisse wie Dialoge, Musik und Effekte stammen aus getrennten Magnetbandspulen und müssen mit den Einzelbildern des Filmes synchronisiert werden. Bis zu 15 oder 20 Tonbandspulen können für eine Filmrolle benötigt werden. Am Mischpult eines Tonstudios werden sie vielfältig überspielt und die gewünschten Aufzeichnungen gemischt, wobei mehrere Toningenieure die Lautstärke und die Tonqualität der Aufnahmen regeln. Es entsteht schließlich eine dreispurige Musterkopie, die auf Spur 1 die Sprache, auf Spur 2 die Musik und auf Spur 3 Effekte enthält. Diese Aufteilung macht es möglich, beispielsweise für ein anderssprachiges Land lediglich die Spur 1 mit der jeweiligen Fremdsprache zu versehen, ohne die anderen Tonaufzeichnungen ändern zu müssen. Die magnetisch aufgezeichnete Musterkopie wird dann auf ein Lichttonnegativ überspielt, und von diesem werden die üblichen Massenkopien angefertigt.

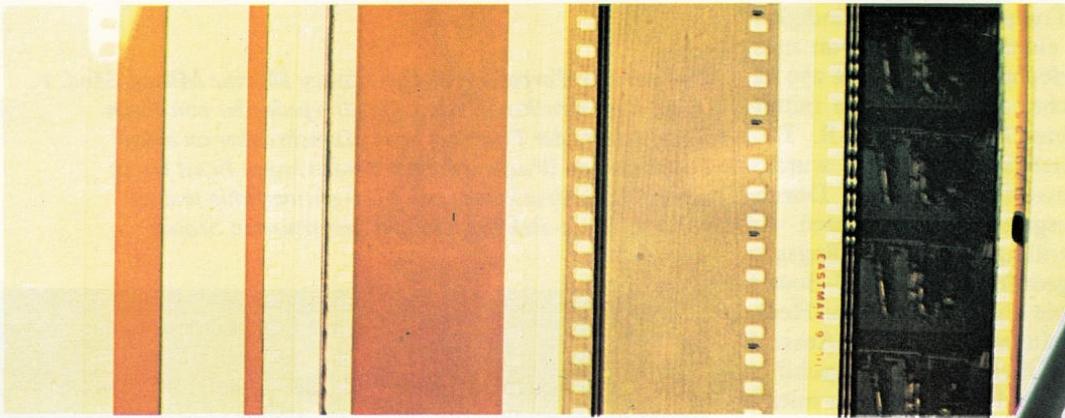
Gelegentlich besitzen Spielfilme auch eine magnetische

Tonspur. Die magnetische Beschichtung aus Eisenoxid oder besser aus Chromdioxid in einem Lackbindemittel wird nach dem Kopierprozeß auf die Filmunterlage aufgebracht. 35-mm-Filme haben drei oder bei schmalen Perforationen sogar vier Magnetstreifen. 70-mm-Filme besitzen sechs Tonstreifen, von denen fünf die Lautsprecher hinter der Leinwand versorgen und einer die Lautsprecher im Zuschauerraum mit Umgebungsgerauschen wie z.B. dem tiefen Grollen eines Erdbebens speist.

Die 16-mm-Filme können einseitig oder auch beidseitig perforiert sein. Die Magnetspur, auch Tonpiste genannt, befindet sich auf der Filmrückseite neben der Perforation, bei Super-8-Filmen dagegen an dem der Perforation gegenüberliegenden Rand. Um zu verhindern, daß sich der Film ungleichmäßig auf den Spulen aufwickelt, wird bei einseitiger Tonspur stets eine Ausgleichsspur von der gleichen Dicke entlang der anderen Filmkante aufgetragen. Neben der rein magnetischen und der rein optischen Tonspur gibt es auch die Kombination von beiden, die es ermöglicht, zweisprachig zu vertonen. Ein solches System wird meist für Filmvorführungen an Bord von Flugzeugen benutzt.

Bei den Projektoren für 35-mm- und 70-mm-Filme ist der Tonabnahmekopf zwischen der Abwickelpule und dem Bildfenster angebracht. Der Ton hinkt folglich dem zugehörigen Bild auf dem Film hinterher, und zwar im 80-mm-Film um 24 Einzelbilder, beim 35-mm-Film um 28 Bilder.

SYNTAX FILMS



**Oben:** Tonspuren auf 35-mm-Film, von links nach rechts: Standard-Magnetspuren ohne Bilder, aber mit einer Ausgleichsspur, die normalerweise unbespielt bleibt, jedoch für Trickeyeffekte benutzt werden kann. Einige Filme sind sogar mit einer 'Geruchsspur' versehen, deren Pulse das Freisetzen von bestimmten Geruchsstoffen im Filmtheater steuern; voll beschichtetes Magnetband, wie es für die Schneidearbeiten benutzt wird; Negativ einer Lichttonspur; dieselbe Spur als Positiv mit Bildern, fertig für die Projektion.

**Rechts:** Auf diesem Filmstreifen ist klar zu erkennen, wie die optische Tonspur verläuft: links an der Seite der einzelnen Rahmen entlang.

### Weitere Verfahren

Eine neue Entwicklung in der Vertonung von Farbfilmen sieht Farbmodulationen in den drei unterschiedlich sensibilisierten Farbschichten vor. Ferner werden Versuche zur stereo-optischen Tonaufzeichnung gemacht, die mit Codier- und Decodiergeräten arbeiten. Quintophonie wird mit einer dreifachen Magnetspur auf 35-mm-Film mit Hilfe quadrophonischer Codierung möglich (siehe STEREO).



**Oben:** Die Philips VLP (= Video Long Player) Platte ist mit einer hochreflektiven Schicht bedeckt. Die Video- und Tonspursignale befinden sich verschlüsselt in dieser Schicht und werden je nach Reflexionskraft durch Laser aufgespürt.



## TORPEDO

**Der Seekrieg wurde durch die Einführung des Torpedos, der im vorigen Jahrhundert von dem österreichischen Seeoffizier Lupis erfunden und von dem englischen Ingenieur Whitehead verbessert wurde, weitgehend revolutioniert. Für U-Boote ist der Torpedo auch heute noch die wichtigste Angriffswaffe, während er für die Überwasserstreitkräfte die wichtigste U-Bootabwehrwaffe ist.**

Robert Whitehead, ein in Italien lebender englischer Ingenieur, entwickelte den ersten steuerbaren Torpedo mit Selbstantrieb. Er führte die neue Seekriegswaffe im Jahre 1867 vor. Sein Torpedo war etwa 3 m lang und hatte einen Durchmesser von etwa 35,6 cm, sein Gewicht betrug rund 135 kg; der Gefechtskopf enthielt etwa 8 kg Dynamit. Der Antrieb erfolgte durch Preßluft, die sich in einem Luftkessel befand und einen Druck von etwa 26 bar hatte. Sie wirkte auf eine oszillierende Doppelkolben-Antriebsmaschine, die dem Torpedo eine Geschwindigkeit von rund 7 sm/h und eine Reichweite von ungefähr 630 m verlieh. Der Torpedo revolutionierte den Seekrieg.

Bis zu Beginn des Zweiten Weltkrieges hatten die meisten Seestreitkräfte den ursprünglichen Whitehead-Torpedo abgewandelt. Es waren Torpedos entstanden, die etwa 6 m lang waren und einen Durchmesser von etwa 53 cm hatten; ihr Gewicht betrug mehr als eine Tonne. Die Geschwindigkeit war nunmehr rund 45 sm/h bei einer Reichweite von max. 4 500 m. Die Sprengladung im Gefechtskopf wog etwa 270 kg. Wenn der Torpedo voll traf, reichte sie aus, um ein mittelgroßes Frachtschiff oder ein kleines Kriegsschiff, z.B. Torpedoboote oder Zerstörer, zu versenken. Torpedos wurden mittels Preßluft aus normalen Ausstoßrohren, deren Durchmesser etwa 53 cm betrug, ausgestoßen. Sie waren auf Überwasser-Kriegsschiffen als Drillings- bzw. Vierlingssatz ausschwenkbar am Oberdeck angeordnet und auf U-Booten als Vierlingssatz im Bugraum sowie als Einzelrohr im Heckraum starr in den Bootskörper eingearbeitet. Der Ausstoß der Torpedos erfolgte auf den Überwasser-Kriegsschiffen mittels einer kleinen Korditladung und auf U-Booten mittels Preßluft.

### Antriebssysteme

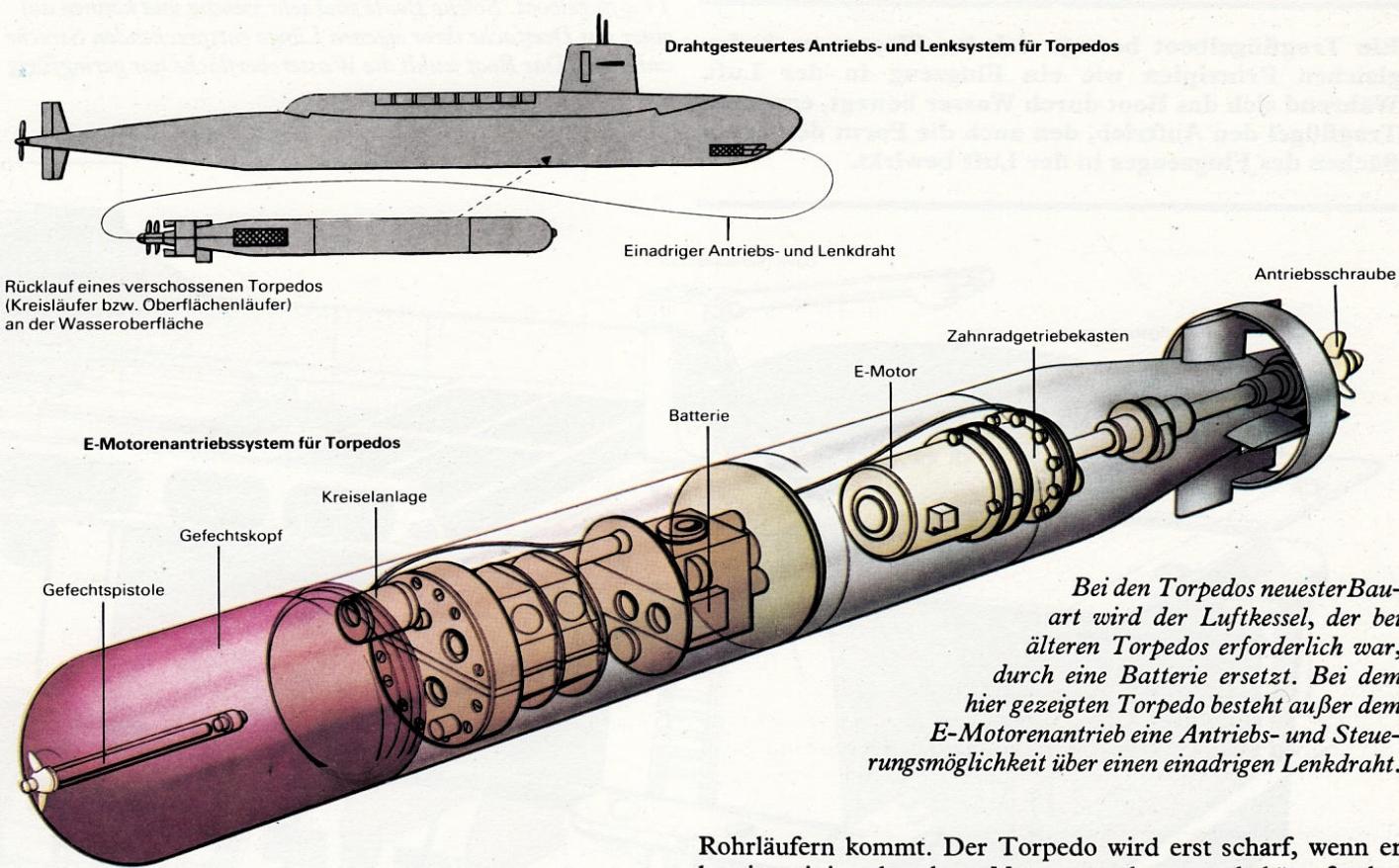
Dehnt sich Preßluft aus, so absorbiert sie Wärme und verliert Energie. Dieser physikalische Vorgang setzte der Leistungsfähigkeit des Whitehead-Torpedos Grenzen. Somit war die absolute Obergrenze der aus der Preßluft zu gewinnenden Kraft erreicht, bis im Jahre 1909 das sogenannte Fiume-Heizsystem eingeführt wurde. Hierbei wurde Kraftstoff mit Preßluft und Wasser in eine Brennkammer gespritzt. Beim Zünden dieses Gemisches aus heißem Gas und Wasserdampf durch eine Zündpatrone wird ausreichend Energie erzeugt, um eine 260-kW-Kolbenmaschine anzutreiben. Die Seewasserdichte ist für einen Torpedo von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Denn für eine nur mäßige Steigerung der Torpedolaufgeschwindigkeit ist eine erhebliche Steigerung in der Leistung der Kolbenmaschine erforderlich. Das Fiume-Heizsystem, das auch heute noch in Betrieb ist, bedeutete den technischen Durchbruch, der den Einsatz von Torpedos während der beiden Weltkriege möglich machte.

Luft enthält zu etwa 80% Stickstoff, ein chemisch trüges, in Wasser unlösliches Gas. Tritt es zusammen mit Abgasen aus einem Torpedo unter Wasser aus, wobei es sich ausdehnt, so hinterlässt es aufsteigende Luftblasen, die als Blasenbahn bekannt sind. Diese Blasenbahn, auch Torpedolaufbahn genannt, zeigte dem wachen und geübten Ausguck auf dem zu bekämpfenden Schiff die Position des Torpedos an, wodurch

Ausweichmanöver möglich waren. Dieser für den Seekrieg empfindliche Nachteil konnte erst beseitigt werden, nachdem das nach dem Prinzip der Heißluftmaschine arbeitende Antriebssystem durch den batteriegespeisten E-Motorenantrieb ersetzt worden war. Der erste einsatzfähige Torpedo mit E-Motor war der deutsche G7E, der von dem Unterseeboot U 47 unter Kapitänleutnant Günther Prien im Oktober 1939 im englischen Kriegshafen Scapa Flow benutzt wurde und das englische Schlachtschiff HMS 'Royal Oak' (29 150 BRT) versenkte. Dieser neue Torpedo war etwa 6 m lang, hatte einen Durchmesser von rund 53 cm, entwickelte eine Geschwindigkeit von etwa 30 sm/h bei einer Reichweite von ungefähr 4 500 m. Der Gefechtskopf dieses Torpedos war mit etwa 375 kg Trinitrotoluol (TNT), einem hochexplosiven Sprengstoff, gefüllt. Man unterschied die Torpedos nach ihren Gefechtpistolen, die entweder Aufschlag- oder Magnetzünder hatten. Letztere wurden vom magnetischen Feld des zu bekämpfenden Schiffes ausgelöst. Der 'Zaunkönig' war ein akustischer Torpedo, der sich sein Ziel, die Quelle stärkster Geräuschemission, selber suchte, nachdem er nur ungefähr in die Richtung, in der das zu bekämpfende Schiff stand, ausgestoßen worden war. Die letzte deutsche Entwicklung waren flächenabsuchende Torpedos, die nicht auf ein bestimmtes Ziel, sondern auf die Masse der im Geleitzug fahrenden Schiffe gerichtet wurden und im Geleitzug so lange Zick-Zackkurse liefen, bis sie ein Schiff trafen oder am Ende ihrer Laufzeit auf Grund sanken.

**Unten:** Der Torpedo vom Typ Plessey Marine Mk 44, Mod. 1, ist ein Kurzstrecken-U-Boot-Jagdtorpedo, der von einem Kriegsschiff oder Flugzeug bzw. Hubschrauber an einem Fallschirm zu Wasser gelassen werden kann. Er ist bis zu einem Wasserdruck von etwa 7 bar aktionsfähig und ist in der U-Boot-Bekämpfung auf dem neuesten Stand.





Rohrläufern kommt. Der Torpedo wird erst scharf, wenn er bereits einige hundert Meter zu dem zu bekämpfenden Schiff unterwegs ist.

## Heutiger Entwicklungsstand

Torpedos sind auch heute eine wichtige seekriegstaktische Waffe. Entsprechend ihrem derzeitigen Entwicklungsstand werden sie auch zur U-Bootbekämpfung eingesetzt. Zwei technologische Entwicklungen haben diesen Einsatz möglich gemacht. Zunächst die Entwicklung eines Miniatur-Sonars, das so klein ist, daß es in eine Torpedospitze paßt und von dort aus unter Wasser fahrende U-Boote entdeckt. Dabei werden die von dem U-Boot verursachten Geräusche zur Steuerung des Seiten- und Tiefenruders benutzt, so daß der U-Boot-Jagdtorpedo in das zu bekämpfende U-Boot gelenkt wird. Als zweite technologische Entwicklung von Bedeutung kann die Herstellung von miniaturisierten U-Boot-Abwehrwaffen, d.h. von Waffen kleinsten Ausmaßes, bezeichnet werden. Dies gilt auch für Torpedos, die so klein und leicht sind, daß sie vom Flugzeug mit dem Fallschirm abgesetzt werden können. Dieser ASW-Torpedo, d.h. U-Boot-Jagdtorpedo, ist etwa 2,60 m lang, hat einen Durchmesser von rund 32 cm und wiegt etwa 247 kg. Um die Fallgeschwindigkeit zu bremsen, hängt dieser Torpedo an einem Fallschirm, der beim Eintauchen des Torpedos in das Wasser ausgeklinkt wird. Danach geht er spiralförmig auf Tiefe und sucht dabei mittels Miniatur-Such-Sonar den Unterwasserbereich nach dem zu bekämpfenden U-Boot ab. Hat der U-Boot-Jagdtorpedo Echopulse seines Sonargerätes empfangen, so steuern diese den Torpedo in Richtung auf das U-Boot, um es zu vernichten. Durch die Verwendung von Raketenantrieben kann der Aktionsradius von U-Boot-Jagdtorpedos erheblich erweitert werden. Es gibt zwei Systeme, die einander ähnlich sind und gleichzeitig eingesetzt werden können, und zwar das von U-Boot-Jagd-U-Booten zum Einsatz kommende ASROC-System (Anti Submarine Rocket = U-Bootabwehrakete) und das von Überwasser-Kriegsschiffen eingesetzte IKARA-System.

## Steuerungssysteme

Bevor ein Torpedo ausgestoßen wird, werden alle erforderlichen Werte wie Vorhaltewinkel, Entfernung und Lage des zu bekämpfenden Schiffes sowie Tiefe, Einzel- oder Fächerschuß, Bug- oder Heckschuß über einen Torpedovorhaltecomputer in die Torpedofeuerleitanlage eingegeben, um eine optimal vernichtende Wirkung zu erzielen. Beim Eingeben der Werte wird eine Kreiselanlage gestartet und auf hochtourige Umdrehungen gebracht. Diese Anlage hält den Torpedo über einen Steuerungsmotor auf Kurs und Tiefe. Die Tiefensteuerung erfolgt dabei über eine Wasserdruckarmatur mit Pendelkreisel. Durch Messen der Druckunterschiede des Wassers und Abtasten des Neigungswinkels des Torpedos wird dieser durch das horizontale Tiefenruder auf richtige Tiefe gehalten. Um den Torpedo vertikal und horizontal zu stabilisieren, befinden sich am Heck zwei gegenläufige Antriebsschrauben, auch Propeller genannt, die u.a. den sogenannten Drall verhindern.

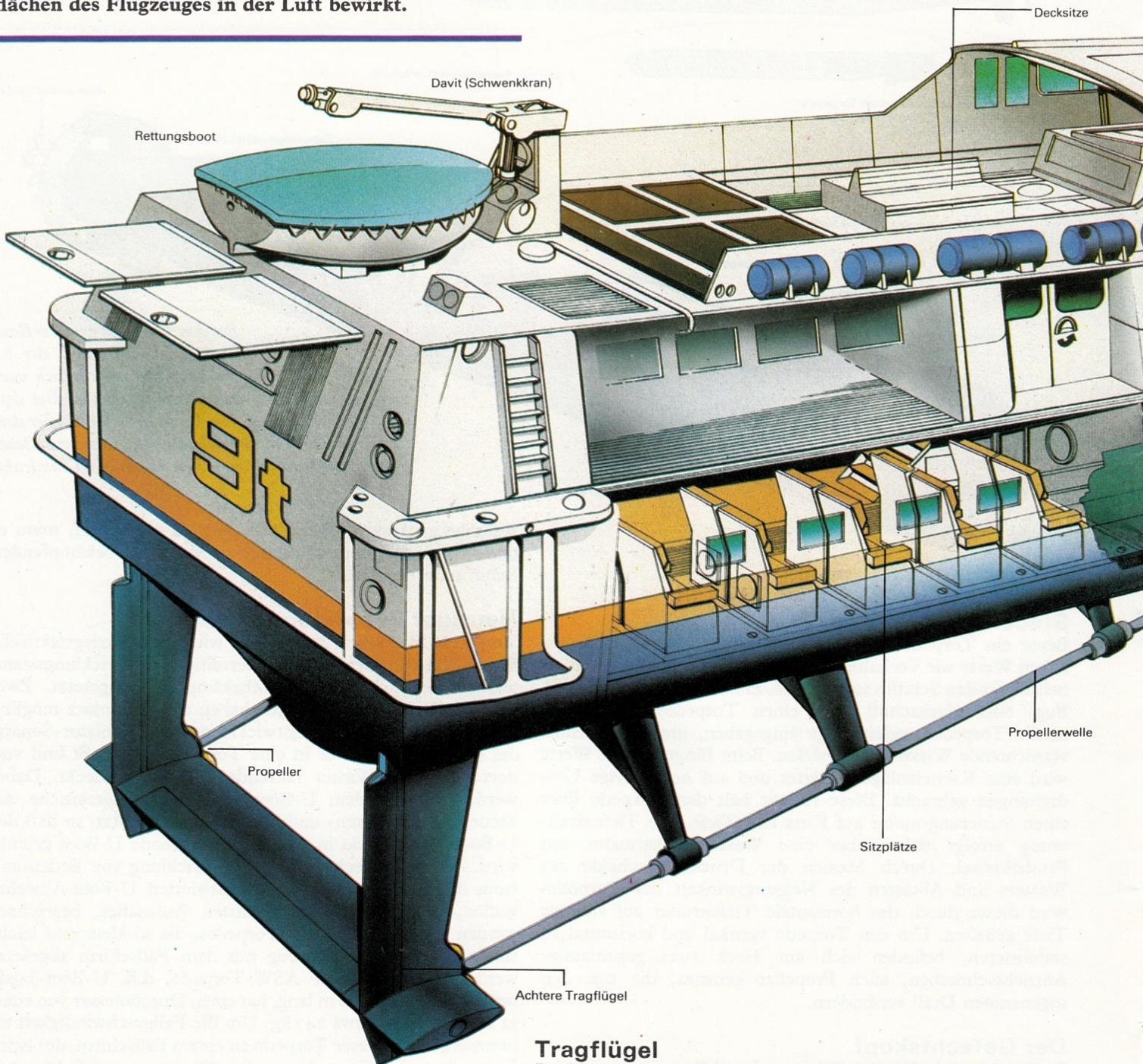
## Der Gefechtkopf

Er hat eine wulstförmige Spitze und enthält zwischen 270 kg und 370 kg des hochexplosiven Sprengstoff 'Torpex', der gegen Stoß, Vibrationen und Hitze beständig ist. Durch einen Zündmechanismus, der eine Zündstufenfolge auslöst, wird der Gefechtkopf zur Explosion gebracht. Zum Zündmechanismus gehört ein federgespanntes Schwunggewicht, das beim Aufschlagen des Torpedos, der dadurch abrupt gebremst wird, eine Massebeschleunigung entwickelt und auf einen Detonator trifft. Dieser detoniert und bewirkt die Zündung einer größeren, etwa 0,9 kg schweren Zündladung, deren Energie den Gefechtkopf zur Explosion bringt. Der Zündmechanismus ist mit Sicherheitsvorrichtungen versehen. Sie verhindern, daß der Gefechtkopf explodiert, bevor der Torpedo das Rohr verlassen hat, da es sonst zu sogenannten

## TRAGFLÜGELBOOT

Ein Tragflügelboot bewegt sich im Wasser nach den gleichen Prinzipien wie ein Flugzeug in der Luft. Während sich das Boot durch Wasser bewegt, erzeugen Tragflügel den Auftrieb, den auch die Form der Tragflächen des Flugzeuges in der Luft bewirkt.

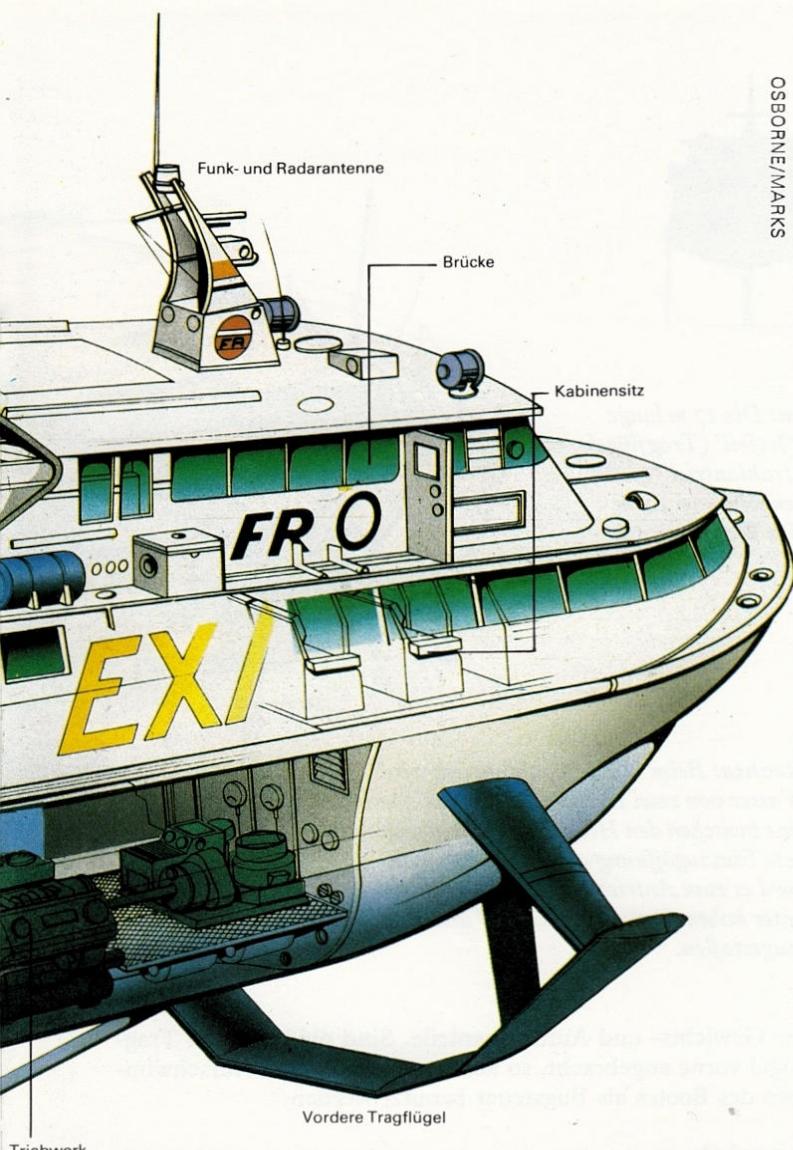
**Unten:** Ein für den Transport von Personen konstruiertes Tragflügelboot. Solche Boote sind sehr wendig und können auf einer das Dreifache ihrer eigenen Länge entsprechenden Strecke anhalten. Das Boot wühlt die Wasseroberfläche nur geringfügig auf.



Ein Tragflügelboot besitzt den Rumpf eines Schiffes. Ohne Vortrieb schwimmt es wie jedes andere Schiff auf der Wasseroberfläche. Mit steigender Vortriebsgeschwindigkeit beginnt es im Wasser aufzusteigen, bis das bei hoher Vortriebsgeschwindigkeit über die Tragflügel strömende Wasser einen so starken Auftrieb erzeugt, daß der Rumpf sich völlig aus dem Wasser hebt. Ein Tragflügelboot, das sich mit Höchstgeschwindigkeit bewegt, sieht eher wie ein auf Wasserski gestelltes konventionelles Schiff aus. Hat sich der Rumpf erst einmal aus dem Wasser gehoben, unterliegt er nicht mehr dem Reibungswiderstand zwischen Außenhaut und Wasser oder den Einflüssen einer stark bewegten Wasseroberfläche und ermöglicht demzufolge eine schnellere Fahrt.

### Tragflügel

Je dichter ein Medium ist, durch das sich ein Tragflügel bewegt, desto mehr Auftrieb kann er erzeugen. Da Wasser vielfach dichter als Luft ist, können Tragflügel viel kleiner als die Tragflächen eines Flugzeuges gehalten werden. Sie erzeugen trotzdem einen beträchtlichen Auftrieb. Die Tragflügel eines Flugzeuges wirken jedoch in einer Umgebung, deren Dichte sich im Bereich der Höhen, in denen es sich bewegt, nur geringfügig ändert. Die 'Tragflächen' eines Tragflügelbootes jedoch entfalten ihre Wirkung sehr dicht unter der Wasseroberfläche, wo eine starke und plötzliche Änderung der Dichte zwischen Luft und Wasser stattfindet. Durchbrechen die Tragflügel die Wasseroberfläche, kommt es zu einer starken Verringerung des Auftriebs, weil der Druckunterschied zwischen ihrer Ober- und Unterseite



OSBORNEMARKS

aufgehoben wird, wenn das Wasser nicht mehr über die Oberfläche strömt.

Die obere und untere Begrenzung der Tiefe, in der die Tragflügel gehalten werden müssen, sind zu eng, um mit der Hand ausgesteuert zu werden. Demzufolge müssen die Tragflügel zur Gewährleistung einer in etwa gleichbleibenden Flughöhe auf irgendeine Weise automatisch gesteuert werden. Diese konstruktionseigene Stabilität wird auf unterschiedliche Weise durch die zwei Haupt-Konstruktionsarten der Tragflügel erreicht.

### Halbgetauchte Tragflügel

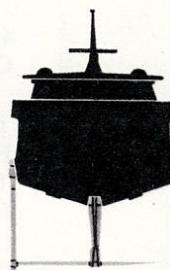
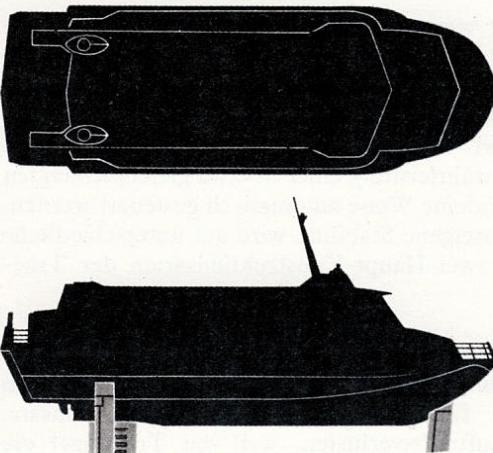
Diese Konstruktion ist wegen ihrer Einfachheit die bei weitem beliebteste Form für den verkehrsbetrieblichen Einsatz. Kommt es zu Auftriebsverlusten, weil die Tragflügel die Wasseroberfläche durchbrechen, sinkt das Boot sogleich tiefer ins Wasser ein, wodurch die Tragflügel wieder tiefer eingetaucht werden und folglich größeren Auftrieb erzeugen. Gegenwärtig ist eine große Anzahl von Fährschiffen in Betrieb, die nach dem Konstruktionsmuster der schweizerischen Gesellschaft Supramat in Lizenz gebaut wurden. Nur die ganz großen Ausführungen gehören nicht diesem Typ an.

Ein in Kanada gebautes Tragflügelboot von 200 Tonnen, die 'Bras D'Or', hat den Beweis dafür erbracht, daß das System der halbgetauchten Tragflügel zum Einsatz auf dem offenen Meer geeignet ist, wo mit starkem Wellengang gerechnet werden muß. Hierbei wurden Gleitgeschwindigkeiten von mehr als 60 Knoten (112 km/h) erreicht. Die Sowjets, die bei weitem die meisten Tragflügelboote, zumeist auf Seen und Flüssen in Betrieb haben, bauen verschiedene Ausführungen mit nur geringfügig getauchten Tragflügeln, die sich sehr stark an das System der halbgetauchten Tragflügel anlehnen.

**Unten:** Ein sowjetisches Kometta-Tragflügelboot, das zwischen dem griechischen Festland und der Insel Hydra verkehrt.



PICTUREPOINT



**Links und oben:** Die 27 m lange und 9,5 m breite 'Jetfoil' (Tragflügelboot mit Wasserstrahltrieb) gleitet bis zu einer Wellenhöhe von 3,7 m noch ruhig über das Wasser.

Beispiele für diese in Deutschland auch auf dem Rhein eingesetzten Tragflügelboote sind die Typen 'Kometa', 'Meteor' und 'Raketa'.

### Vollgetauchte Tragflügel

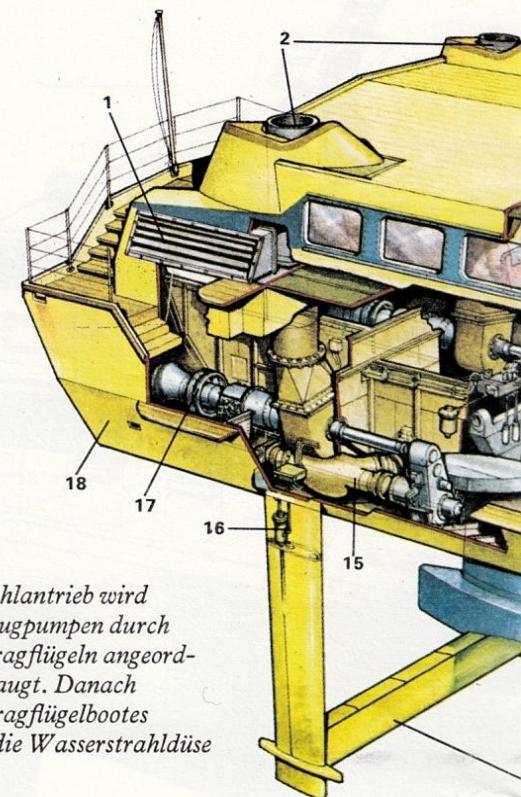
Bei dieser Konstruktionsart dringen nur senkrecht ausgerichtete Tragflügelstreben durch die Wasseroberfläche. Auftriebsänderungen werden durch Änderung des Tragflügel-Angriffswinkels zum Wasser bewirkt. Die hierzu erforderlichen Bewegungen der Tragflügel oder ihrer Klappen werden über Hydraulik- oder Pneumatikzylinder vorgenommen, die durch von einem Sonargerät übermittelte elektrische Pulse gesteuert werden. Das Sonargerät sendet auf die vor dem Boot befindliche Wasserfläche gerichtete Pulse aus, ermittelt die Höhe der jeweils nächsten Welle und bestimmt einen für den erforderlichen Auftrieb geeigneten Tragflügelwinkel.

Tragflügelboote dieses Typs werden hauptsächlich in den USA benutzt, wo man große Wasserfahrzeuge dieser Art für die Kriegsmarine gebaut hat. Einige dieser Boote sind mit nach oben aus dem Wasser herausschwenkbaren Tragflügeln ausgerüstet, so daß sie auf traditionelle Weise für Wasserstraßen mit geringer Tauchtiefe eingesetzt werden können. Eine der erfolgreichsten Konstruktionen dieses Typs ist die von der Firma Boeing gebaute 'Tucumcari'. Bei einer anderen, für kleinere Tragflügelboote benutzten Stabilisierungsanlage werden vor dem Bugbereich auf Tragstützen geführte mechanische Sensor-Schwimmer benutzt, die eine mechanische Verbindung zu den vollgetauchten Tragflügeln haben.

Eine frühe Ausführung der Tragflügel-Konstruktion war der sogenannte Leiterryp. Je mehr 'Sporen' eingetaucht waren, desto stärker war der erzeugte Auftrieb. Ein Tragflügelboot dieses Typs war die 'Bell-Baldwin HD4', die im Jahre 1919 auf den Bras-D'Or-Seen in Kanada eine Geschwindigkeit von 60 Knoten (112 km/h) erreichte.

Bei der Anordnung der Tragflügel unterscheidet man die Tandem-Anordnung, bei der die vorderen und die hinteren Tragflügel jeweils 50% des Gewichtes und des Auftriebs übernehmen, die konventionelle Anordnung, bei der auf die hinteren Tragflügel 70% und auf die vorderen 30% entfallen, und die Canard-Anordnung mit vorne 30% und hinten 70%

**Rechts:** Beim Wasserstrahltrieb wird Wasser von zwei Doppelsaugpumpen durch eine zwischen den Heck-Tragflügeln angeordnete Einsaugöffnung angesaugt. Danach wird es zum Antrieb des Tragflügelbootes unter hohem Druck durch die Wasserstrahldüse ausgestoßen.



der Gewichts- und Auftriebsanteile. Sind die kleineren Tragflügel vorne angebracht, so können sie nach dem Aufschwimmen des Bootes als Bugsteuer benutzt werden.

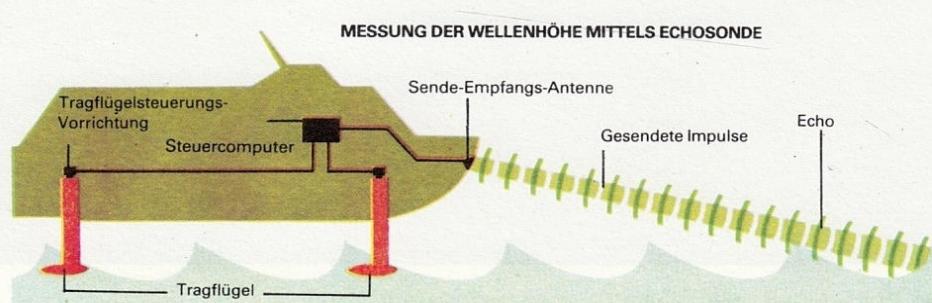
### Antrieb

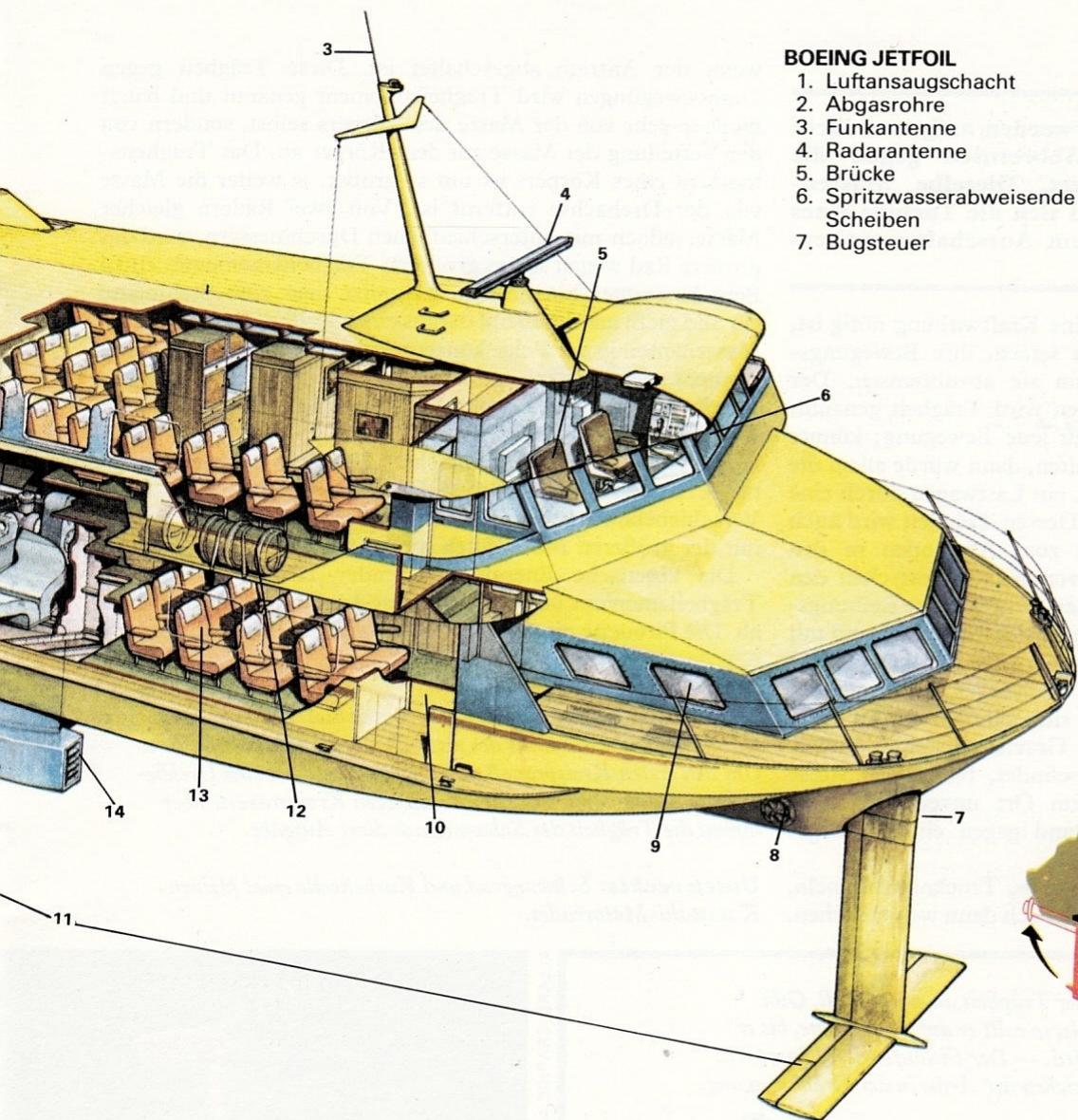
Bei den Motoren für Tragflügelboote ziviler Verwendung handelt es sich in der Regel um Schiffsdieselmotoren, die am Ende der langen Propellerwellen angebrachte Propeller antreiben. Bei Tragflügelbooten, die für Militärzwecke konstruiert sind, werden Gasturbinen eingesetzt. Diese Tragflügelboote, bei deren Konstruktion der Schwerpunkt auf Leichtgewichtigkeit und Hochgeschwindigkeiten liegt, während die Kosten nur eine untergeordnete Bedeutung haben, werden mitunter auch für die U-Boot-Abwehr eingesetzt, indem sie Unterwasser-Schallortungsgeräte schleppen. Häufig wird auch eine vollständig anders geartete Vortriebsanlage eingebaut, wenn das Boot mit niedrigen Fahrgeschwindigkeiten wie ein normales Schiff betrieben werden soll. Einige Tragflügelboote werden auch mit Wasserstrahltrieb ausgerüstet.

### Begrenzungen

Bei über 50 Knoten (94 km/h) liegenden Geschwindigkeiten können Tragflügel von den Auswirkungen des Hohlsoges beeinträchtigt werden. Infolge der immer stärker bewegten Wasserströmung, die über den oberen Rand der Tragflügel

**Rechts:** Schallsonden ermitteln die Höhe der anlaufenden Wellen, damit die Neigung der Tragflügel automatisch so eingestellt wird, daß das Tragflügelboot auf unruhigen Wasserflächen in waagerechter Lage bleibt.

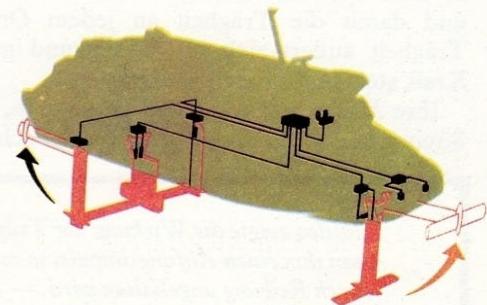


**BOEING JETFOIL**

1. Luftansaugschacht
2. Abgasrohre
3. Funkantenne
4. Radarantenne
5. Brücke
6. Spritzwasserabweisende Scheiben
7. Bugsteuer

8. Bugstrahlruder
9. Vordeck-Sitze
10. Einstieg
11. Vollgetauchte Tragflügel mit automatischen Steuerungsklappen
12. Aufblasbares Rettungsfloß
13. Passagiersitze
14. Wasser-Einsaugöffnung
15. Wasserstrahlpumpe
16. Tragflügel-Steuervorrichtung
17. Turbine
18. Rumpf

**Unten:** Die schwenkbaren Flügel der 'Jetfoil' ermöglichen den Betrieb des Bootes auch in flachem Wasser.



abfließt, kommt es zu auftriebshemmenden Hohlbildungen (Kavitation) entlang der Tragflügeloberflächen. Diese Hohlräume füllen sich in der Folge mit Luft oder mit Wasserdampf.

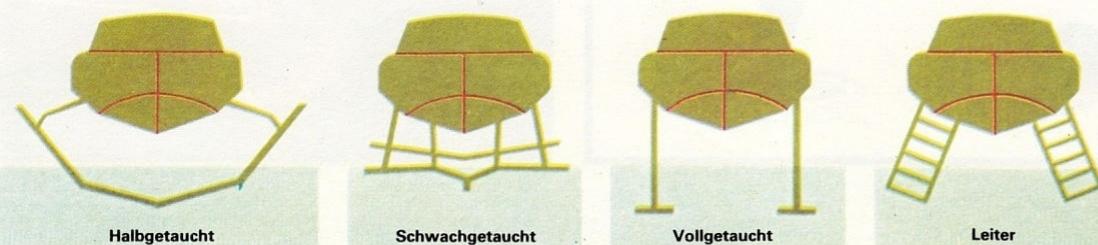
Bewegt sich das Tragflügelboot mit großer Geschwindigkeit, kann der auf die Tragflügel-Oberfläche einwirkende Wasserdruk unter den atmosphärischen Druck abfallen. Unter solchen Umständen wird ein Teil der über der Wasseroberfläche befindlichen Luft an der Tragstrebene nach unten gesaugt und an dem entsprechenden Tragflügel entlanggeführt, wodurch die Luft in die Höhlungen gelangt. Dieser Vorgang wird 'Lüftung' genannt und kann wiederum eine Änderung des Auftriebs bewirken.

Fällt der über der Tragflügel-Oberfläche herrschende Druck weit genug ab, verdunstet das Wasser und bildet Wasserdampfblasen, die die ruhig verlaufende Wasserströmung über der Tragflügeloberseite zerstören und hierdurch den Auftrieb verringern. Überdies führt das Zusammenfallen der Dampfhohlräume durch erhöhten Druck zur Freisetzung von Energie, die den zur Herstellung der Tragflügel benutzten

Werkstoff mit der Zeit mechanisch stark angreifen (Kavitationserosion) und örtlich zerstören (Kavitationskorrosion) kann. Auch die äußerst feinen, beim Platzen der Blasen mit großer Gewalt gegen die Tragflügeloberflächen geschleuderten Wasserstrahlen können im Laufe der Zeit zu Erosionsschäden im Metall führen.

Aus diesen Ausführungen geht hervor, daß für Tragflügelboote, die für größere Geschwindigkeiten als 50 Knoten (94 km/h) ausgelegt werden, besondere Tragflügel konstruiert werden müssen, um den stärkeren Turbulenzen standhalten zu können (wie es auch bei Überschallflugzeugen der Fall ist, die beim Durchbrechen der Schallgrenze ähnliche Belastungen aushalten müssen).

Tragflächenboote werden die größten Hochseeschiffe aus dem gleichen Grund nicht verdrängen, der auch die mögliche Größe von Flugzeugen begrenzt: das Fläche/Volumen-Gesetz. Mit der Vergrößerung eines Tragflügelbootes vergrößert sich sein Gewicht in der dritten Potenz, während sich seine Tragfähigkeit nur im Quadrat erhöht.

**TRAGFLÜGELBOOT-TYPEN**

**Links:** Vier Arten des Tragflügelbootes; von links nach rechts: halbgetauchte Flügel, schwachgetauchte und vollgetauchte Tragflügel. Ganz rechts die sogenannten 'Leiter'-Tragflügel.

## TRÄGHEIT

**Die Insassen eines Fahrzeugs werden aufgrund ihrer Trägheit beim plötzlichen Abbremsen gegen die Windschutzscheibe geschleudert. Dieselbe Massenträgheit ist Ursache dafür, daß sich die Turbine eines Flugzeuges auch noch nach dem Ausschalten weiterdreht.**

Aus dem Alltag ist bekannt, daß eine Kraftwirkung nötig ist, um Gegenstände in Bewegung zu setzen, ihre Bewegungsrichtung zu ändern und auch um sie abzubremsen. Der Widerstand gegen diese Änderungen wird Trägheit genannt. So bremsen Reibungskräfte nahezu jede Bewegung; könnte man solche Reibungskräfte ausschalten, dann würde allein die Trägheit bestimmen, wie stark z.B. ein Lastwagen durch eine gegebene Kraft beschleunigt wird. Dessen Trägheit wird auch aus den Kräften ersichtlich, die zum Abstoppen in den Bremsen und beim Durchfahren von Kurven zwischen den Reifen und der Straße wirken müssen. Wären keine Reibungskräfte vorhanden, so würde der Wagen sich gleichbleibend mit konstanter Geschwindigkeit längs einer Geraden bewegen.

Die Trägheit eines sich nicht drehenden Gegenstandes entspricht seiner Masse. Während sich nämlich das Gewicht eines Objektes mit der Größe des Gravitationsfeldes ändert, in dem sich dieser Gegenstand befindet, bleibt die Masse und damit die Trägheit an jedem Ort unverändert. Die Trägheit äußert sich als Widerstand gegen eine angelegte Kraft stets und überall gleich.

Ihre Massenträgheit lässt Ventilatoren, Trocknertrommeln, Sirenen und Flugzeugtriebwerke sich auch dann weiter drehen,

wenn der Antrieb abgeschaltet ist. Diese Trägheit gegen Drehbewegungen wird Trägheitsmoment genannt und hängt nicht so sehr von der Masse des Körpers selbst, sondern von der Verteilung der Masse auf dem Körper ab. Das Trägheitsmoment eines Körpers ist um so größer, je weiter die Masse von der Drehachse entfernt ist. Von zwei Rädern gleicher Masse, jedoch mit unterschiedlichen Durchmessern, wird das größere Rad wegen seines größeren Trägheitsmomentes einen Berg langsamer hinabrollen. Schmilzt man eine Stahlplatte ein und gießt anschließend daraus einen Reifen, dessen größter Massenanteil in der Felge konzentriert ist, so ist das Trägheitsmoment des Reifens größer als das der ursprünglichen Scheibe. Die Trägheit gegen Verschiebungen (die Masse) hat sich dabei nicht geändert.

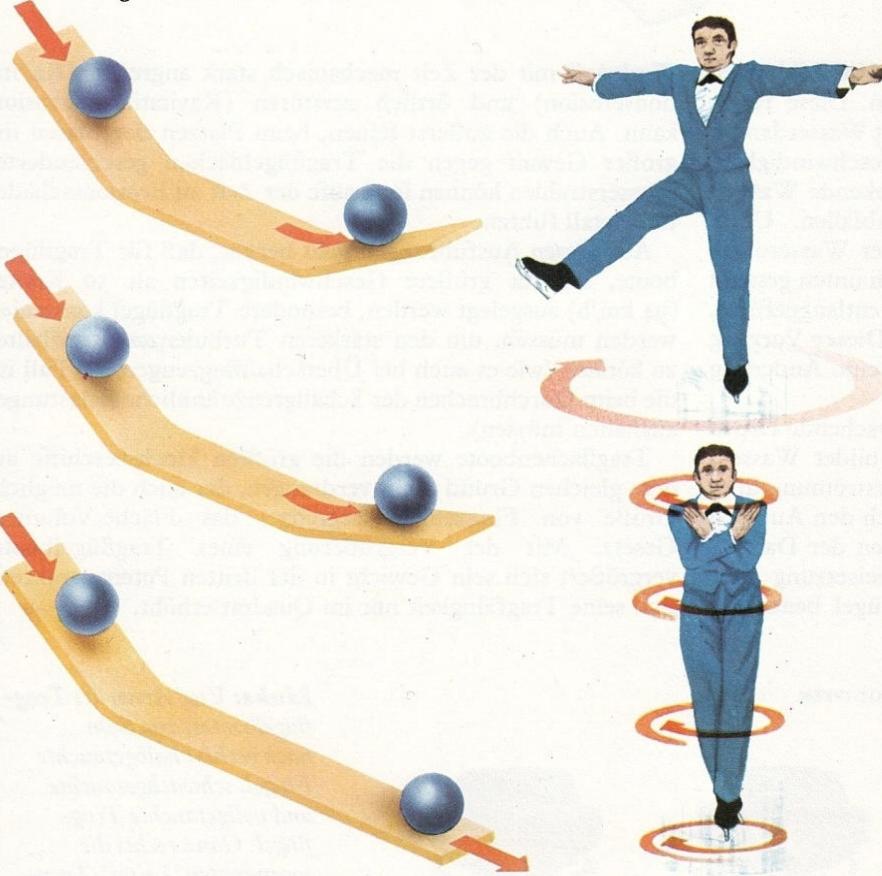
Jedes bewegte Objekt speichert Bewegungsenergie, kinetische Energie. Bei gleicher Geschwindigkeit hat in einer Verschiebungsrichtung ('Translationsbewegung') der Körper mit der größeren Masse auch die größere Bewegungsenergie.

Die kinetische Energie rotierender Körper hängt vom Trägheitsmoment und dem Quadrat der Drehgeschwindigkeit ab. Die Pirouette eines Eisläufers veranschaulicht gut, wie sich

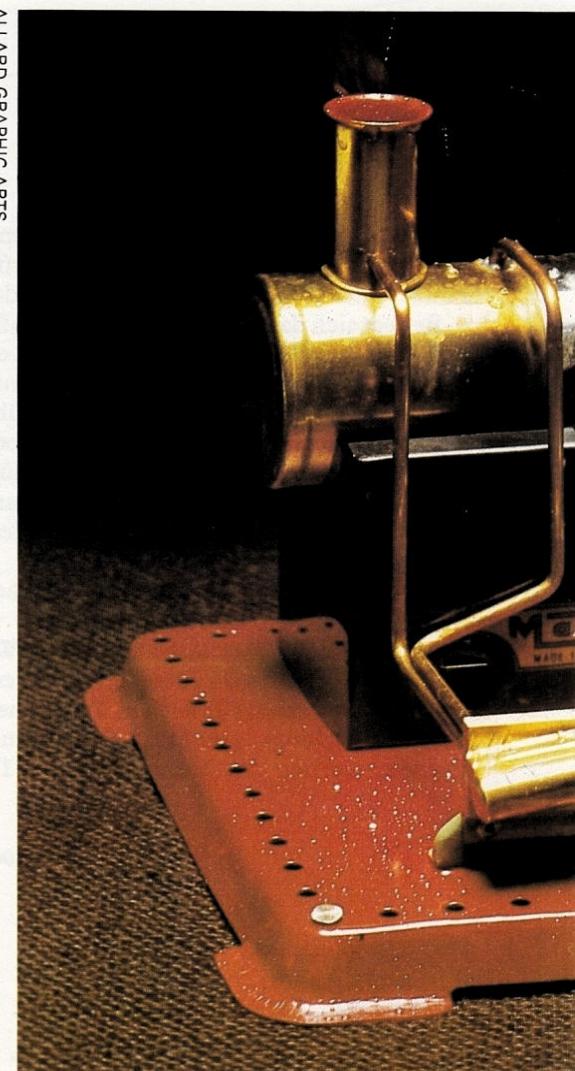
**Unten Mitte:** Ohne Schwungrad würde dieses Modell einer Dampfmaschine am Ende des ersten Kolbenhubs stehenbleiben. Um den ersten Kreisprozeß in Gang zu setzen, ist eine Drehbewegung des Rades nötig; für alle weiteren Kreisprozesse übernimmt die Trägheit des Schwungrads diese Aufgabe.

**Unten rechts:** Schwungrad und Kurbelwelle eines kleinen Kasawaki-Motorrades.

Galileo zeigte die Wirkung der Trägheit an einem Ball. Gibt man ihm einen Anfangsimpuls, so rollt er auf einer Ebene, bis er durch Reibung angehalten wird. — Der Eisläufer verkleinert sein Trägheitsmoment durch Anziehen der Arme in der Drehbewegung.



ALLARD GRAPHIC ARTS



bei gleichbleibender kinetischer Energie die Drehgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Trägheitsmoment ändert. Breitet der Eiskunstläufer die Arme aus, so wird sein Trägheitsmoment vergrößert, weil ein Teil der Masse von der Drehachse weiter entfernt wird. Da die Bewegungsenergie gleich bleibt, sinkt die Rotationsgeschwindigkeit. Zieht er die Arme wieder an, sinkt das Massenträgheitsmoment, d.h. er dreht sich wieder schneller.

## Anwendungen der Trägheit

Die meisten Kraftmaschinen geben ihre Arbeit schubweise, d.h. ungleichmäßig über den Arbeitskreislauf verteilt, ab. Hier sorgt die Trägheit eines Schwungrades für eine gleichmäßige Kraftübertragung. So empfängt z.B. die Kurbelwelle eines Automobils die Kraftübertragungsimpulse nach jeder Zündung in den Zylindern des Motors. Ist das Auto im Leerlauf, d.h. sind die Kurbelwelle und die Räder entkoppelt, wird dies ein Rütteln verursachen; ein mit der Kurbelwelle verbundenes Schwungrad glättet diese Stöße.

Umgekehrt werden für Webstühle, mechanische Hammer, Scheren und Pressen Antriebe benötigt, die schubweise Energie zuführen. Für diese Maschinen sind Elektromotoren, die kontinuierlich Energie zuführen, als Antrieb ungeeignet. In diesem Falle treiben die Motoren Schwungräder, die — eventuell über eine Kupplung — an die Maschinen angeschlossen werden. Je größer das Trägheitsmoment des Schwungrades ist, um so geringer wird der Abfall der Drehgeschwindigkeit, wenn ein Energieschub abgegeben wird.

## Bezugssysteme

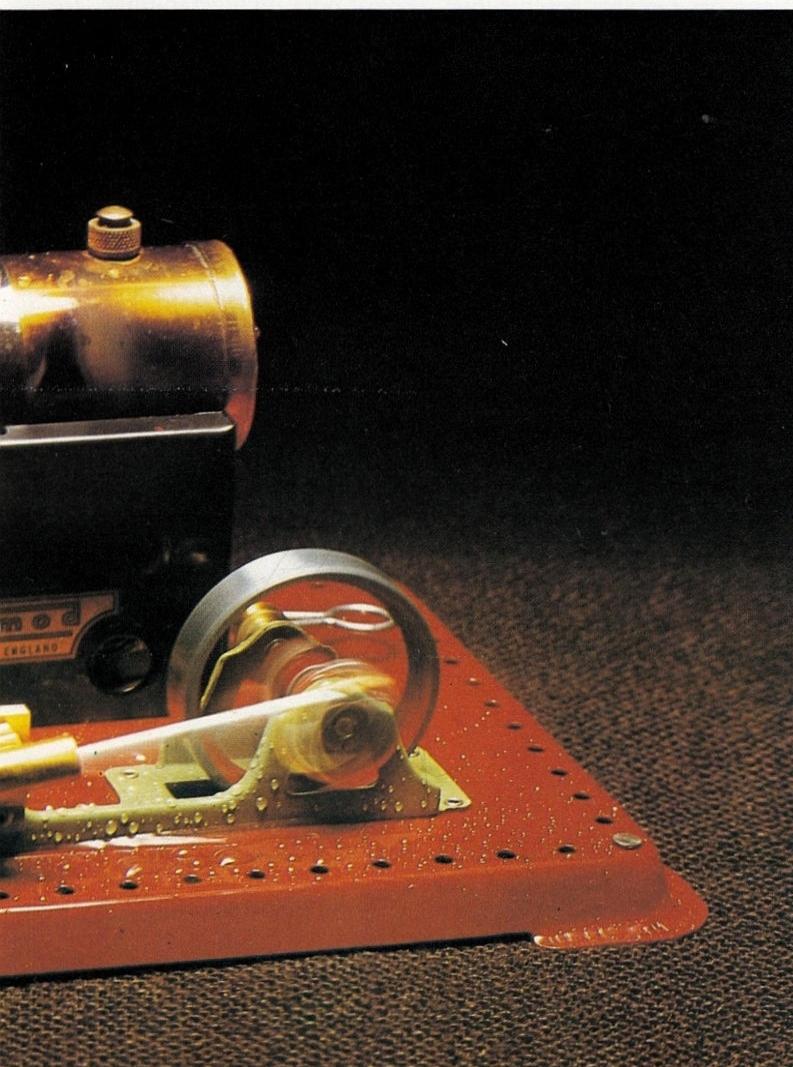
Der französische Physiker Foucault (1819 bis 1868) benutzte

die Trägheit eines massereichen Pendels zum Nachweis der Erddrehung. Während nämlich die Ebene, in der das Pendel schwingt, gleich bleibt, dreht sich im Verlaufe eines Tages die Erde einmal um ihre Achse und um die Pendelebene. Für einen mit der Erde rotierenden Beobachter scheint sich jedoch die Schwingungsebene des Pendels zu drehen. Auch die 'CORIOLIS-KRAFT', durch deren Wirken die Windrichtungen in Zyklonen (dazu zählen auch Hoch- und Tiefdruckgebiete) kreisförmig verlaufen, wird durch die Trägheit hervorgerufen.

Selbst wenn die Sterne nicht sichtbar sind, kann man also aus der Beobachtung der Pendelbewegung und der Windrichtungen schließen, daß sich die Erde dreht. Man kann diese Aussage erweitern: Selbst wenn die Sterne nicht existierten und die Erde alleine im All wäre, würden die Coriolis-Kraft und die anderen Trägheitseffekte die Erddrehung aufzeigen.

Mit dieser Vorstellung war der um die Jahrhundertwende arbeitende Physiker Ernst Mach (1838 bis 1916) nicht einverstanden. Er hielt die Feststellung der Erdrotation für bedeutungslos, wenn die anderen Himmelskörper nicht existieren und ein ruhendes Bezugssystem schaffen. Dies führte ihn zur Vermutung, daß die von uns beobachteten Auswirkungen der Erddrehung dann nicht auftreten würden. Dies bedeutet, daß die Trägheit aller Gegenstände auf der Erde durch die Existenz des restlichen Universums verursacht wird. In gleicher Weise ist das System, auf das sich die Astronomen bei der Messung der Drehung unseres Sternensystems (unserer Milchstraße) beziehen, eine weiter entfernte Materieansammlung am Rande des beobachtbaren Universums.

So bizarr diese Ideen klingen mögen, so fruchtbar waren sie für Albert Einsteins (1879 bis 1955) Werk. In einer für Mach unvorstellbaren Art stellte Einstein mit seiner allgemeinen RELATIVITÄTSTHEORIE die Verbindung zwischen der Trägheit jedes einzelnen Materienteilchens und der Verteilung aller übrigen Materie im Universum her.



MICHAEL NEWTON



ADVERTISING ARTIST/KAWASAKI

## TRÄGHEITSFÜHRUNG

**Unterseeboote, Raketen, Satelliten und andere Flugkörper sind mit Trägheitsführungssystemen ausgerüstet. Sie übernehmen entweder die Navigation allein oder werden als Navigationshilfen eingesetzt.**

Die Trägheitsführung ist eine Navigationsmethode, bei der trägeitsempfindliche Vorrichtungen ohne Hilfe oder Beeinflussung von außen ein Objekt von einer Stelle zu einem bestimmten Ziel führen. Auch der Ausdruck 'Inertialnavigation' für dieses Verfahren ist verbreitet.

Trägheitsempfindliche Apparate messen die Beschleunigung, Richtung und Lage eines Objekts auf der Grundlage der NEWTONSCHEN GESETZE der Mechanik. Einfache Rechnungen liefern Geschwindigkeit und Position aus den Beschleunigungsdaten und vervollständigen die zur NAVIGATION notwendige Information. Während einfache lineare Vorrichtungen die Beschleunigung messen, geben sehr empfindliche Kreisel- systeme Änderungen der Lage und Richtung an.

Trägheitsführungssysteme werden überwiegend zur Navigation und Steuerung von Raketen, Satelliten und Raumsonden, Flugzeugen, Schiffen und Unterseebooten benutzt. Daneben sind sie beispielsweise auch bei der Tiefsee- Erkundung und bei Bohrprojekten eingesetzt worden. Die Trägheitsführung kann im Grunde zur Kontrolle aller Bewegungen in zwei oder drei Dimensionen benutzt werden. Wegen der hohen Kosten findet man sie aber fast ausschließlich in der Raumfahrt und im militärischen Bereich.

Die Trägheitsnavigation geht auf L. Foucault (1819 bis 1868) zurück. Er zeigte im Jahre 1852, daß ein Kreisel wegen

**Unten:** Die Miniaturform einer Trägheitsplattform, die nur 11,3 kg wiegt. Sie ist 28 cm lang, 21 cm breit und ebenso hoch. Sie wird in Raketen, Schiffen, Unterseebooten und Flugzeugen benutzt.

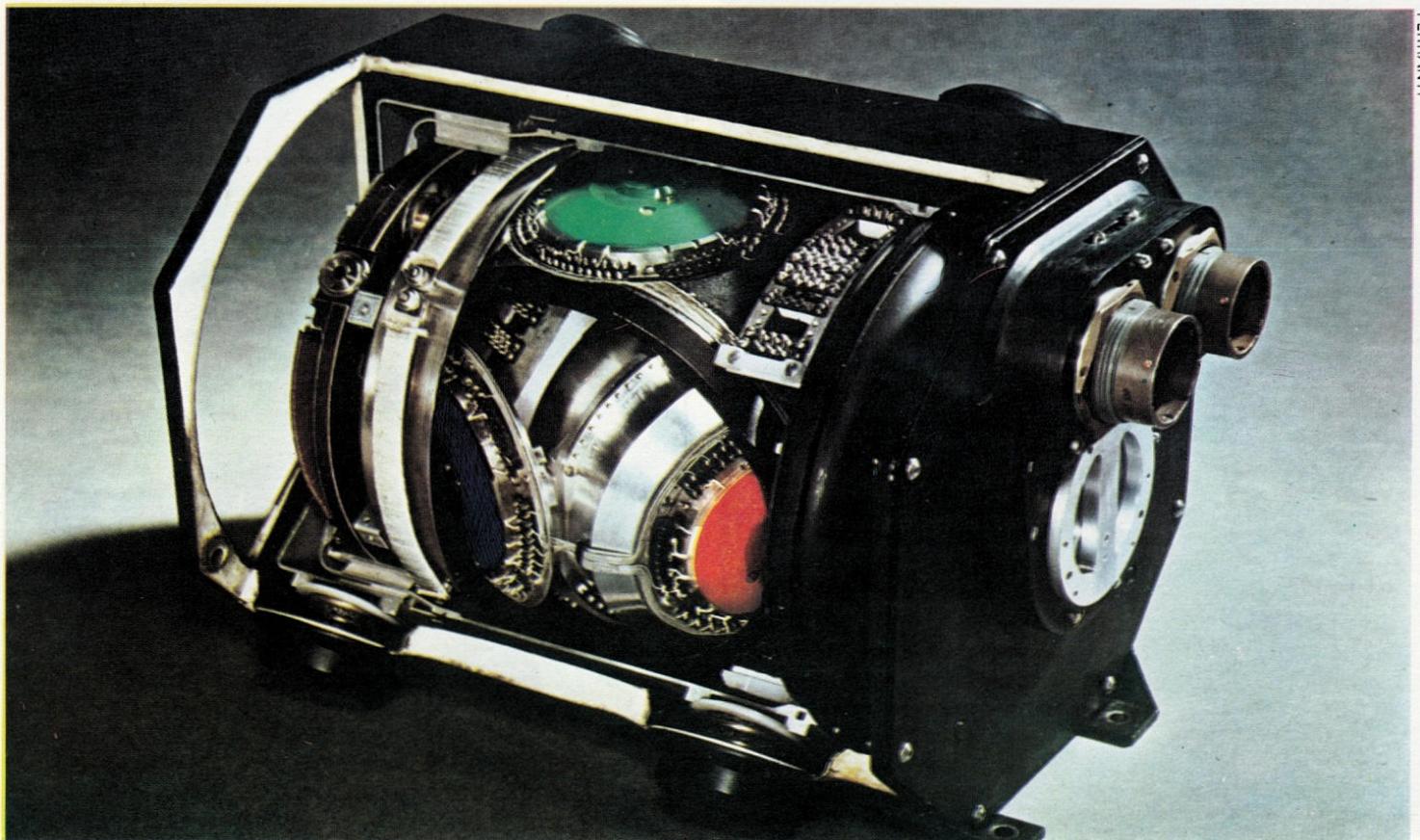
der festen Lage seiner Drehachse gegenüber dem Fixstern- himmel die Drehung der Erde messen kann. Diese Entdeckung blieb fünfzig Jahre ungenutzt, bis die Präzision beim Bau von Kreiseln so weit fortgeschritten war, daß sie zur Navigation brauchbar wurden. Im Jahre 1908 baute der deutsche Erfinder Anschütz-Kaempfe (1872 bis 1931) den ersten seetüchtigen KREISELKOMPASS, der aber beim Manövrieren des Schiffes noch große Schwierigkeiten bereitete. Kreiselkompassen zeigen die wahre Nordrichtung an, aber sie führen nach Störungen Pendelbewegungen aus. Dem Göttinger Professor Maximilian Schuler (1882 bis 1972) gelang es, diese Pendelbewegungen durch geeignete Konstruktion zu unterdrücken. Er schlug die Kombination eines Kreisels mit einem Geschwindigkeits- meßinstrument zur automatischen Schiffssteuerung vor.

Auch in den USA und in England wurde an Kreiselsystemen gearbeitet, aber die erste echte Trägheitsführung wurde im Zweiten Weltkrieg für die V2 (Vergeltungswaffe 2) gebaut. Die Vorrichtung war einfach, aber hinreichend: Ein Kreisel diente zur Kontrolle der Stellung des Flugkörpers, und ein einziger Beschleunigungsmesser bewirkte nach Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit das Abstellen des Raketen- triebwerks. Um 1948 hatten die USA die Führung übernommen und vollwertige Inertialnavigationssysteme entwickelt. Zehn Jahre später steuerte eine dieser komplizierten Anlagen das mit Kernenergie angetriebene amerikanische Unterseeboot Nautilus zuverlässig unter der Eiskappe des Nordpols hindurch.

### Beschleunigung, Geschwindigkeit und Ort

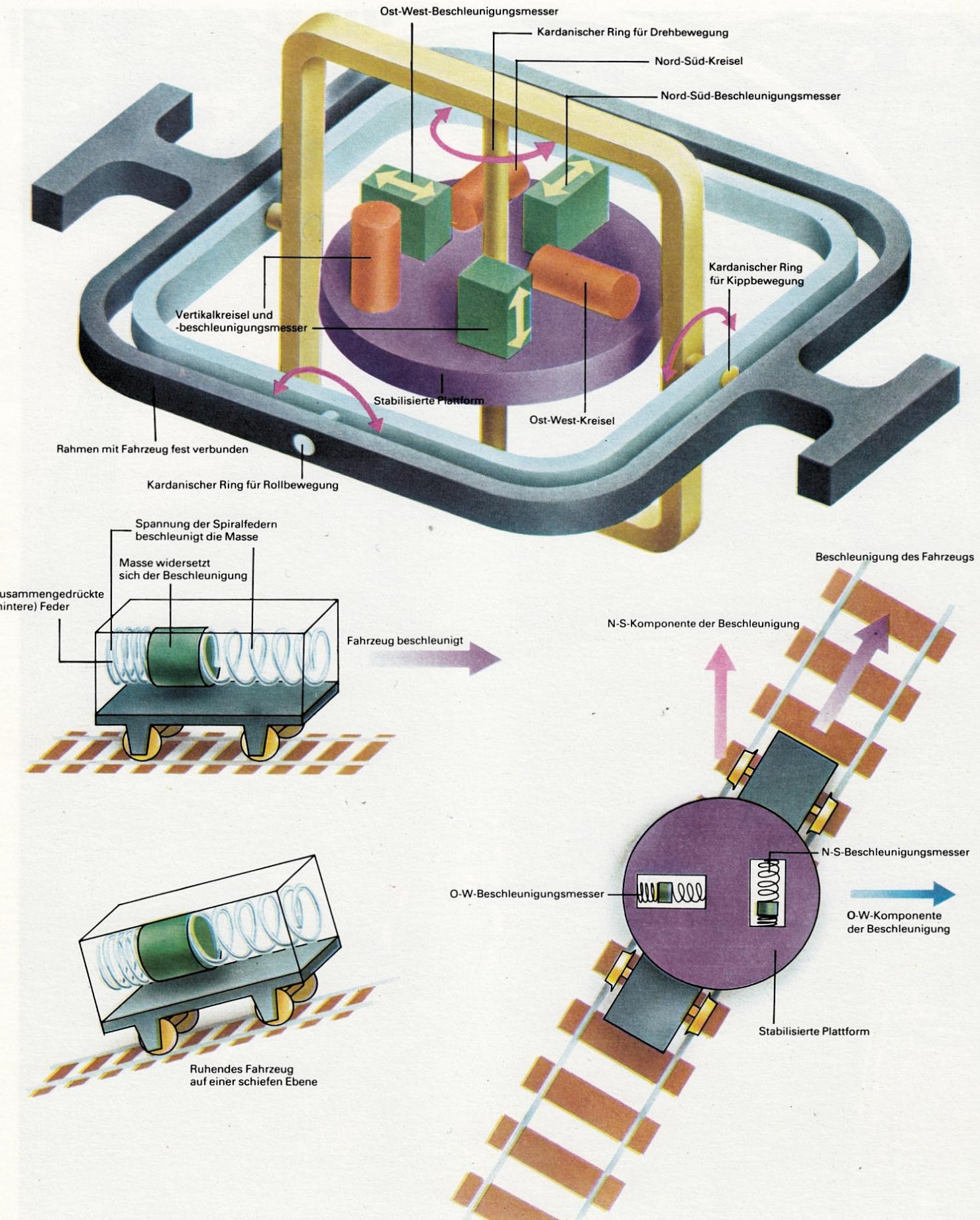
Die Konsequenzen der 'Trägheit' erfährt man leicht, wenn man sich in einem beliebigen Fahrzeug transportieren läßt. Wenn das Gefährt beschleunigt, bremst oder nichtgeradlinige Bewegungen ausführt, unterliegt der Passagier ständig wechselnden Kräften. Setzt er diesen Kräften keine oder eine zu geringe Kraft entgegen, so wird er im Fahrzeug hin und her geschleudert.

Die Trägheit eines Körpers wird mit seiner Masse in



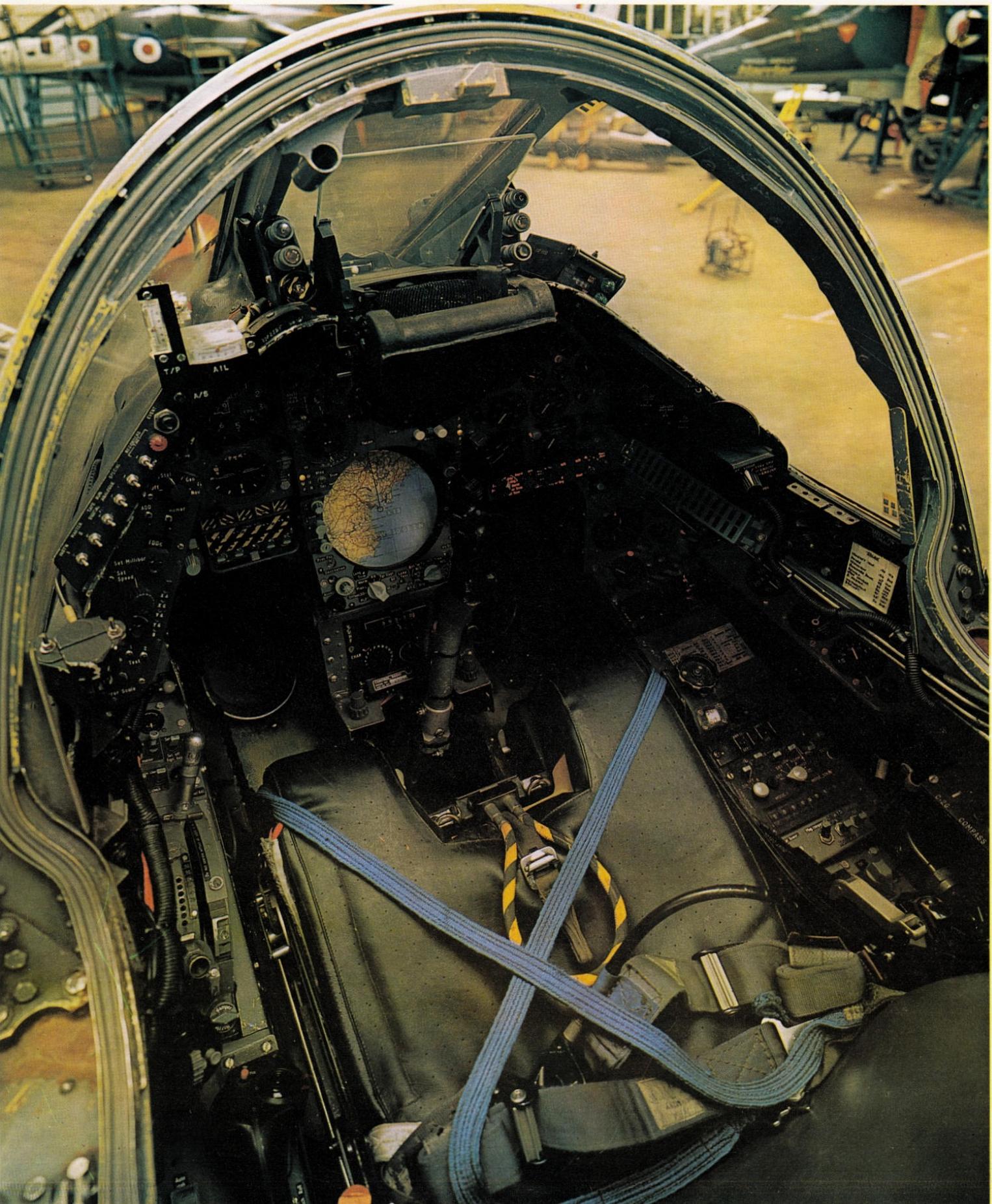
Vereinfachtes Schema einer stabilisierten Plattform mit kardanischen Ringen, Beschleunigungsmessern und Kreiseln. Die stabilisierte Plattform ist das Kernstück jedes Inertialnavigationssystems. Mit den drei Beschleunigungsmessern und drei Kreiseln lassen sich alle Bewegungs- und Stellungsänderungen eines sich bewegenden Objekts feststellen. Ursprünglich wurden solche Systeme für Raketen-

waffen entwickelt; sie finden heute in Flugzeugen und Schiffen, aber auch in der bemannten und unbemannten Raumfahrt Anwendung. Als in sich geschlossene Systeme sind sie gegen äußere Störungen wenig anfällig. Die drei kleinen Skizzen erläutern die Funktionsweise der Beschleunigungsmesser und ihre Kombination zur Bestimmung der Beschleunigung in beliebiger Richtung.



Verbindung gebracht, denn die Kräfte, die man zum Beschleunigen oder Bremsen eines Gegenstandes braucht, sind seiner Masse proportional. Die 'träge Masse' widersetzt sich einer Änderung des Bewegungszustands. Auf dieser Grundlage lässt sich ein einfacher Beschleunigungsmesser bauen, indem man einen Metallklotz in einem Gehäuse zentral zwischen zwei Federn aufhängt. Bei einer Beschleunigung

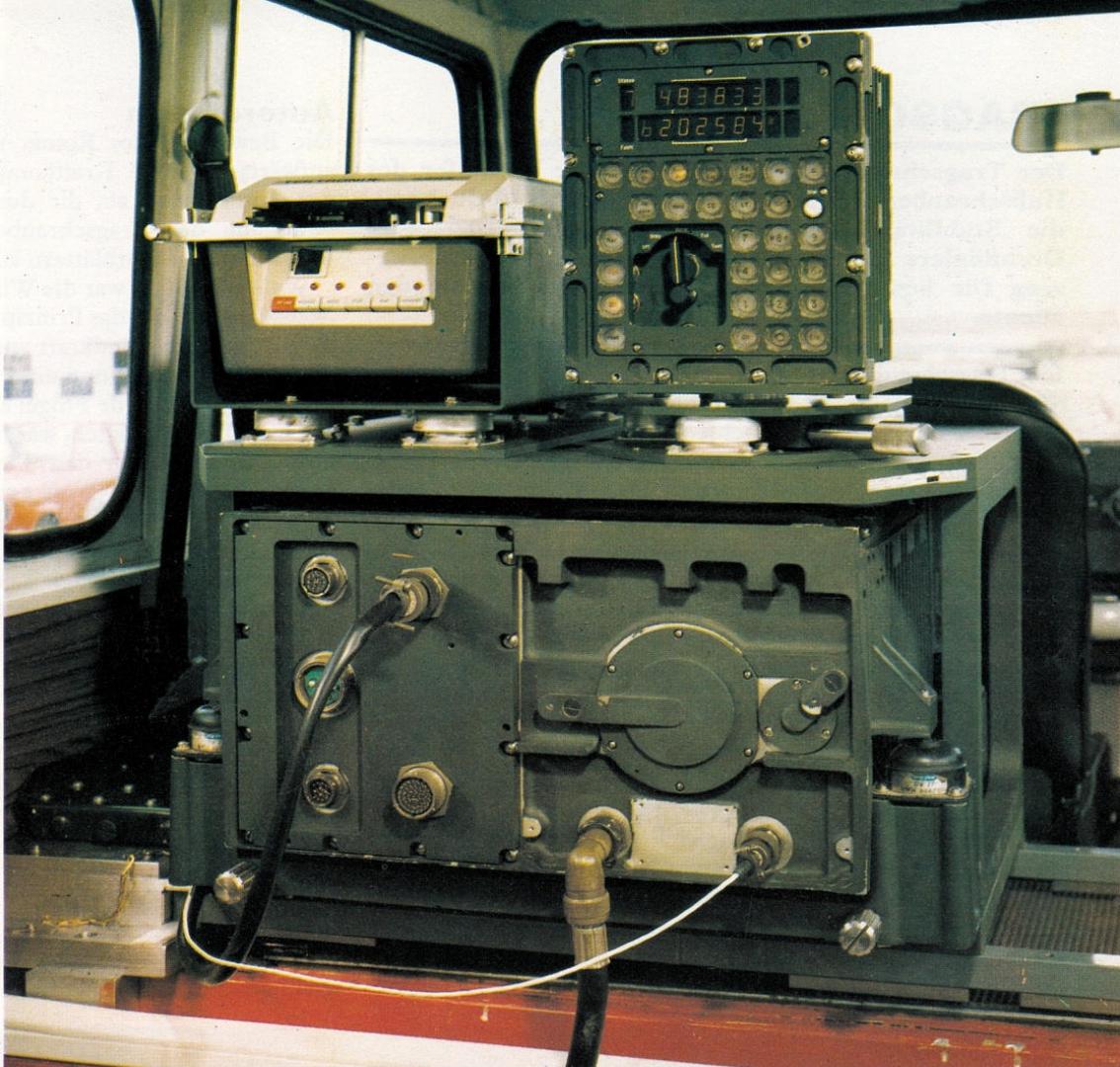
des Gehäuses (das an einem Fahrzeug sitzt) drückt der Klotz gegen die hintere Feder und zieht an der vorderen, da er wegen seiner Trägheit im vorherigen Bewegungszustand verharren möchte. Die Verkürzung der zusammengedrückten Feder ist proportional zur Beschleunigung und lässt sich leicht auf elektrischem Wege messen. Wenn man die Richtung des Beschleunigungsmessers kennt, lässt sich aus diesem elek-



**Rechts:** Die Eigenschaft der Trägheitsführungssysteme, ihre Position mit großer Genauigkeit aufzuziehen und zu messen, wird jetzt auch bei der Straßenvermessung eingesetzt. Das System befindet sich auf einem Fahrzeug, das dann entlang der zu vermessenden Strecke mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h gefahren wird. Aus den sich daraus ergebenden Daten kann ein bis auf den Meter genaues dreidimensionales Profil der vermessenen Strecke über einen Computer errechnet werden.

FERRANTI

**Links:** Auch der britische Kampfjäger 'Harrier' besitzt eine Trägheitsplattform als Basis für die Inertialnavigation und die Steuerung der Bordwaffen. Dazu gehört auch der Bildschirm in der Mitte der Instrumententafel.



trischen Signal die Geschwindigkeit und daraus die in dieser Richtung zurückgelegte Strecke berechnen.

Beschleunigungen verursachen Änderungen der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs. Findet man also zu zwei verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Geschwindigkeiten vor, so muß dazwischen eine Beschleunigung (im positiven oder negativen Sinne) stattgefunden haben, die man aus dem Unterschied der Geschwindigkeiten berechnen kann. Bei den Trägheitsführungssystemen geht man umgekehrt vor: Aus den Messungen der Beschleunigung erhält man durch Addieren die Geschwindigkeit. Bei kontinuierlicher Ausführung dieser Operation spricht man von 'Integration'.

Auf entsprechende Weise erhält man durch Integration der Geschwindigkeit den zurückgelegten Weg und damit den momentanen Ort eines Fahrzeugs.

## Achsen

Ein einzelner Beschleunigungsmesser, der parallel zur Längsrichtung eines Fahrzeugs angebracht ist, kann nur Beschleunigungen in einer Richtung aufnehmen. Zum zuverlässigen Betrieb ist auch eine Stabilisierung der Lage oder eine Kompensation der Schwerkraft nötig. Ein solches Gerät kann nützlich sein, aber ein vollständiges Inertialnavigationssystem braucht zwei weitere Beschleunigungsmesser, damit Bewegungen in allen Richtungen bestimmt werden können. Die drei Beschleunigungsmesser stehen jeweils senkrecht zueinander und definieren die drei 'Achsen' des Systems.

## Stabilisierte Plattformen

Eine stabilisierte Plattform ('Trägheitsplattform'), auf der die Beschleunigungsmesser sitzen, sorgt dafür, daß die drei Achsen immer in dieselben Richtungen zeigen — unabhängig von der Stellung des Fahrzeugs. Dazu wird die Plattform

kardanisch aufgehängt. Kardanische Ringe erlauben nahezu unbehinderte Freiheit für Drehbewegungen der Plattform.

Drei Kreisel sind an der Plattform befestigt, um im Falle von Raumsonden ihre Ausrichtung nach den Himmelsrichtungen oder auf die Sonne und die Sterne ('künstlicher Horizont') zu stabilisieren. Wird die Plattform aus irgendeinem Grunde aus ihrer normalen Richtung gebracht, so nehmen die Kreisel diese Veränderung auf und setzen Motoren in Gang, die die Plattform wieder in die ursprüngliche Position bringen.

Mit den stabilisierten Beschleunigungsmessern auf einer Trägheitsplattform erhält man also Geschwindigkeiten und zurückgelegte Wege für die drei Achsenrichtungen. Gleichzeitig messen elektrische Instrumente die Korrekturtätigkeit der Kreisel, aus der sich Neigung, Drehung und Rollbewegung (Drehung in die Längsachse) des Fahrzeugs bestimmen lassen. Diese Informationen lassen sich zur präzisen Selbststeuerung auf einem gegebenen Weg und bis ins Ziel benutzen — ohne Hilfe oder Einflußnahme von außen.

Leider ist kein Meßinstrument absolut; es gibt immer eine gewisse Ungenauigkeit. Die Genauigkeit eines Inertialnavigationssystems hängt fast ausschließlich von der Empfindlichkeit der drei Kreisel ab. Viele kleine Unvollkommenheiten, die während der Fertigung der Bauteile des Kreisels unvermeidlich sind, führen dazu, daß die Kreiselachsen nicht ganz stabil sind, sondern 'driften'. Dadurch wird die Trägheitsplattform langsam aus der gewünschten Richtung gebracht.

Die aus der Drift folgenden Navigationsfehler sind sehr schwer zu überblicken, aber durch verfeinerte Korrekturverfahren lassen sie sich klein halten. Ein gutes Schiffsnavigationssystem bringt heute Kursabweichungen von nur wenigen Kilometern pro Tag. Bei einigen Anwendungen der Trägheitsführung können Positions- und Geschwindigkeitsstützwerte durch Navigationshilfen von außen herangezogen werden, um die Fehler zu korrigieren.

## TRAGSCHRAUBER

Der Tragschrauber (Autogiro) war der Vorläufer des Hubschraubers (Helikopter). Die relative Einfachheit, die Stabilität und das Leistungsvermögen dieses Drehflüglers lassen jedoch erkennen, daß er als Flugzeug für besondere Zwecke 'wiederentdeckt' werden könnte.

Ein Tragschrauber ist ein Luftfahrzeug 'schwerer als Luft', das seine Flugfähigkeit hauptsächlich von dem Auftrieb einer auf seiner Oberseite angebrachten Rotoranlage mit mehr oder weniger waagerecht umlaufenden Blättern erhält.

Tragschrauber unterscheiden sich von HUBSCHRAUBERN darin, daß ihre Rotorblätter durch die zwischen ihnen nach oben strömende Luft (durch Autorotation) angetrieben werden, während ein Hubschrauber mit einem mechanisch angetriebenen Rotor ausgerüstet ist, dessen Blätter auf einen größeren Steigungswinkel eingestellt sind, damit er sich durch die Luft 'emporschrauben' kann.

Zur Beibehaltung der Flughöhe oder für den Steigflug benötigt ein Tragschrauber ein Antriebssystem, das den erforderlichen Vortrieb entweder über Motor und Propeller oder durch einen Düsenstrahl erzeugt. Wird dann die Rotoranlage leicht nach hinten geneigt, bewirken die Rotorblätter den dynamischen Auftrieb, obgleich die Luft nach oben und zwischen den Rotorblättern hindurchströmt.

Ein einfacher Tragschrauber benötigt zur Beibehaltung seiner Flughöhe eine bestimmte Fluggeschwindigkeit, weshalb er, im Gegensatz zum Hubschrauber, weder unbeweglich in der Luft schweben noch beim Start senkrecht abheben kann.

### Autorotation

Die Bewegung des Rotors und die sich daraus ergebende aufwärtsgerichtete Kraftkomponente hängen vollständig von der Autorotation ab, die durch die während der Vorwärtsbewegung des Tragschraubers in der Luft zwischen den umlaufenden Rotorblättern aufsteigende Luft bewirkt wird.

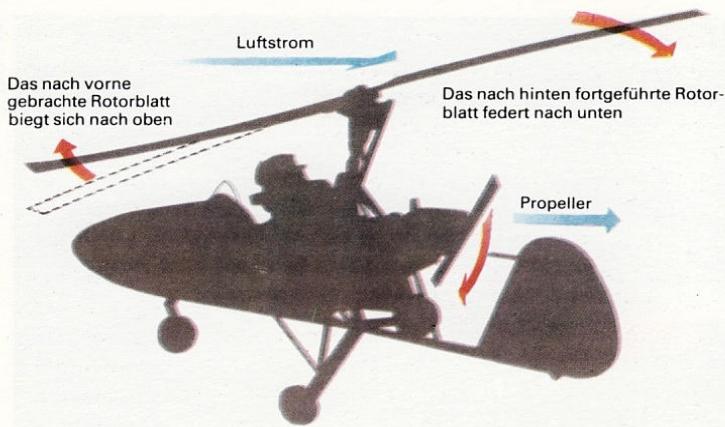
Wahrscheinlich war die Windmühle die erste Erfindung des Menschen, bei der das Prinzip der Autorotation benutzt wurde, indem man die Windkraft zur Erzeugung der Drehbewegung nutzte. Die Vorstellung einer fliegenden Windmühle, bei der im Kreis umlaufende Flügel eine Luftströmung zum Anheben der Maschine erzeugten, war für die Erfinder ein faszinierender Gedanke, und unter den Tausenden von Zeichnungen Leonardo da Vincis (1452 bis 1519) findet sich auch eine Vorstellung des Fliegens nach diesem Prinzip. Die tatsächliche Möglichkeit, eine solche Maschine zu bauen, ergab sich erst mit der Entwicklung der Tragfläche und des Flugzeugs, das mit dieser Vorrichtung ausgerüstet wurde.

Eine Windmühle ist im Grunde genommen eine in umgekehrter Richtung arbeitende Luftschaube (Propeller), bei der die über die Flügel strömende Luft von den Flügeln abgelenkt wird und eine Kraft auf sie einwirken läßt, die sie in Drehbewegung versetzt. Die Flügel 'weichen' dem Wind mit Erfolg aus und werden von ihm im Kreise gedreht.

Bereits im Mittelalter erkannte man jedoch, daß in stumpfem Winkel gegen den Wind gerichtete Windmühlenflügel gegen den Luftstrom gedreht und somit in den Wind 'hinein-

**Unten:** Ein Tragschrauber vom Typ 'Wallis' — ähnlich wie der auf dem Schaubild gegenüber gezeigte.





Der Tragschrauber vom Typ Wallis WA-116 steht stellvertretend für eine neue Generation kleiner Tragschrauber. Er wird von einem kleinen Vierzylindermotor angetrieben und wiegt in der Grundausstattung weniger als 115 kg. Die kleinere Abbildung links zeigt, wie sich das jeweils vordere Rotorblatt, das beim Eintritt in den Luftstrom eine größere Auftriebskraft erzeugt, aufwärtsbiegt, um Energie zu 'speichern', die es bei der Fortführung der Drehbewegung nach hinten durch Zurückfedern nach unten freigibt. Diese Elastizität gleicht die Auftriebskräfte auf beiden Rotorseiten einander an. Ohne diese Wirkung würde sich der Tragschrauber im Augenblick der Vorwärtsbewegung um seine Längsachse drehen ('rollen').



JIM MARKS

gezogen' werden. Das in diesem Falle geltende Prinzip entspricht dem bei Segelschiffen genutzten Effekt. Sie können durch Kreuzen dicht am Wind segeln, d.h. im Zickzack gegen den Wind segeln, der im spitzen Winkel schräg von vorne auf das Segel trifft. Auf ungefähr die gleiche Weise bewegt sich ein Gleiter beim Niedergehen durch die Luft vorwärts.

Die Rotorblätter eines Tragschraubers sind so geformt, daß sie den gleichen Effekt erzielen können und im spitzen Winkel von ungefähr  $3^\circ$  zur horizontalen Ebene, in der sie sich drehen, ausgerichtet sind. Ihre Form entspricht einer Tragfläche, weshalb sich die Rotorblätter in den Luftsog hineindrehen können, anstatt von ihm abgelenkt zu werden.

Wenn sich diese Rotorblätter schnell drehen, setzen sie der aufwärtsströmenden Luft beträchtlichen Widerstand entgegen, und genau dieser Widerstand kann für den Auftrieb benutzt werden. Die Stärke des erzeugten Auftriebs hängt von der Drehgeschwindigkeit der Rotoren und dem Widerstand ab, den die sich drehenden Rotorblätter dem an ihnen vorbeifließenden Luftstrom entgegensetzen. In der Praxis wird

die gewünschte Auftriebskraft nur dann erzeugt, wenn die Drehgeschwindigkeit des Rotors die Fluggeschwindigkeit des Tragschraubers erheblich überschreitet.

### Starten

Für den Start bzw. zum Abheben muß der Rotor einen ausreichenden Auftrieb erzeugen, weshalb er zunächst auf die erforderliche Drehzahl gebracht werden muß. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten.

Die erste und einfachste Möglichkeit besteht darin, dem Tragschrauber Vortrieb zu geben und durch Zurückneigen des Rotorblattes den zwischen den Rotorblättern hindurchfließenden Luftstrom zur Erhöhung der Drehgeschwindigkeit des Rotors zu nutzen. Dies setzt jedoch eine ausreichend lange Rollbahn voraus. Die zweite Möglichkeit erfordert zwar ein komplizierteres System, ermöglicht es aber auch andererseits, die Startbahn sehr kurz zu halten. In diesem Falle wird der Rotor über ein mit dem zur Erzeugung des Vortriebes benutzten Motor verbundenes Gestänge auf die entsprechend hohe Drehzahl gebracht. Hat der Rotor die richtige Drehzahl erreicht, so wird das Gestänge ausgekuppelt. Danach läßt man



**Oben:** Ein sich im Flug befindlicher Tragschrauber. Der Vorwärtsantrieb erfolgt durch den hinteren Propeller.

den Tragschrauber in die Flugrichtung rollen und hebt durch Zurückneigen des Rotorystems ab. Einige Tragschrauber können nach Überdrehen des Rotors mit Hilfe des für den Vortrieb benötigten Motors durch 'Sprungstart' abheben. In diesem Falle wird nach Überdrehen des Rotors die Verbindung zum Motor ausgekuppelt und der Steigwinkel des Rotors erhöht. Der Tragschrauber erhebt sich unter Ausnutzung der gespeicherten Energie ruckartig in die Luft und fliegt dann nach dem Prinzip der selbsttätig frei drehenden Rotoren (Autorotation) weiter.

### Landung

Wird die Drehzahl von Motor und Vortriebspropeller gedrosselt, verringert sich die Fluggeschwindigkeit, und der Tragschrauber geht in einen gleichförmig absinkenden Gleitflug über. Das Prinzip der Autorotation bleibt jedoch weiterhin bestehen, da die nach oben und zwischen den Rotorblättern hindurchströmende Luft die Umlaufgeschwindigkeit des Rotors aufrechterhält. Demzufolge wird eine Auftriebskraft erzeugt, die zwar nicht ausreicht, die Flughöhe beizubehalten, aber doch verhindert, daß der Tragschrauber wie ein Stein herunterfällt. Selbst wenn der Propeller nicht mehr in Betrieb ist, wird ein Tragschrauber unter Verlust des Vortriebes sicher niedergehen.

In dieser Hinsicht bietet der Tragschrauber gegenüber dem Hubschrauber einen gewissen Vorteil, da dessen Rotorblätter durch ihren Steigwinkel (etwa 11°) im Falle einer Betriebsstörung des Motors schnell zum Stillstand kommen. Die Folgen sind katastrophal. Um die Drehbewegung seines Rotors bzw. seiner Rotoren aufrechtzuerhalten, muß der Pilot in einem solchen Falle den Steigwinkel der Rotorblätter auf einen Wert verringern, der die 'Autorotation' für eine sichere Notlandung ermöglicht. Jedoch kann der Hubschrauber während der Durchführung dieser Einstellung wertvolle Höhe verlieren.

### Überwindung der Instabilität

Der erste erfolgreich in Betrieb genommene Tragschrauber wurde von Juan de la Cierva (1895 bis 1936) konstruiert und am 9. Januar 1923 auf dem Gelände des Getafe Airdrome bei Madrid geflogen. Dieser Tragschrauber war der vierte von Ciervas Konstruktionen — die drei anderen zeigten einen

gefährlichen Hang zum Rollen.

Diese Instabilität ergab sich daraus, daß starre Rotorblätter benutzt wurden. Wenn sich ein Tragschrauber bei umlaufendem Rotor vorwärtsbewegt, wird das sich in den Luftstrom hineinbewegende Rotorblatt einer stärkeren Auftriebskraft ausgesetzt, als es bei dem gegenüberliegenden Rotorblatt, das sich im Verhältnis zur Luftströmung nach unten bewegt, der Fall ist. Bei starren Rotorblättern wird dieses Ungleichgewicht auf das gesamte Luftfahrzeug übertragen, wodurch bewirkt wird, daß es sich um seine Längsachse dreht (Rollen). Zur Überwindung dieser Instabilität konstruierte Cierva eine Rotoranlage, bei der die Rotorblätter mit Scharnieren an der Rotornabe befestigt waren, so daß das Ungleichgewicht — anstatt auf das gesamte Luftfahrzeug übertragen zu werden — von den einzelnen Rotorblättern, die sich entsprechend bewegen konnten, aufgefangen wurde.

In die 'Wurzel' eines jeden Rotorblattes führte Cierva zwei Scharniere ein. Das eine ermöglichte eine Auf- und Abbewegung des Rotorblattes und wurde Schlaggelenk genannt, während das andere Scharnier eine seitwärts gerichtete Bewegung des Rotorblattes ermöglichte und als Schwenkgelenk bezeichnet wurde.

Die Rotorblätter eines Drehflüglers (Trag- oder Hubschrauber) sind allein nicht starr genug, um das Gewicht des Luftfahrzeugs zu tragen. Dies geschieht durch die ungeheure Zentrifugalkraft, die ein Umlaufen der Rotorblätter auf einer fast waagerecht gehaltenen Bahn bewirkt — und trotz der Tatsache, daß die Rotorblätter an ihrem unteren Ende über Schlaggelenke mit der Rotornabe verbunden sind (Blattanschluß), wird das Gewicht eines Drehflüglers genau an dieser Stelle getragen.

### Modifizierungen

Der Tragschrauber war der Vorläufer des Hubschraubers und trug viel zu seiner Entwicklung bei. Die Blütezeit der Tragschrauber waren die ausgehenden zwanziger sowie die dreißiger Jahre. In diese Zeit fallen viele Verbesserungen und Modifizierungen, die zu bleibenden Eigenschaften der damals neuen, senkrecht startenden und landenden 'Hubschrauber' genannten Drehflügler werden sollten. Nach einer geraumten Zeit des Stillstandes gibt es jedoch Anzeichen für ein wiedererwachtes Interesse am Tragschrauber. Seine verhältnismäßig unkomplizierte Konstruktion und Wartung in Verbindung mit zuverlässigem und wirtschaftlichem Einsatz in einem zweckdienlichen Geschwindigkeitsbereich könnten ihn zu einem geeigneten Flugzeug für besondere Aufgaben machen.

## TRAKTOR

Im modernen landwirtschaftlichen Betrieb unserer Tage ist der Traktor ein alltäglicher Anblick — in den entwickelten Gebieten der Erde hat er das Zugtier bei der Landarbeit weitgehend abgelöst.



Ein Traktor modernster Bauart vom Typ Ferguson MF 1200. Er besitzt einen 6-Zylinder-Dieselmotor mit 77 kW (105 PS) sowie Vierradantrieb und eine selbständig operierende Zapfwelle. Ferner ist er mit einem kompletten Hydrauliksystem für Pflugscharen und andere anzuschließende Geräte ausgestattet.

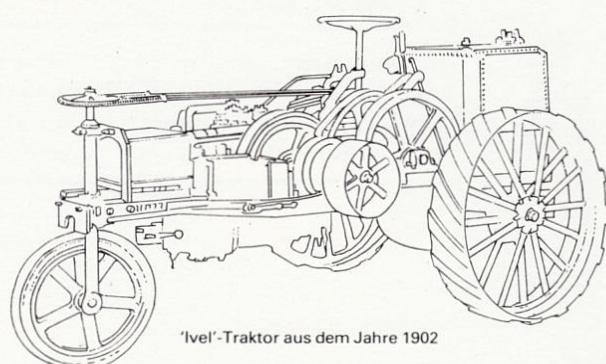
Bereits im Jahre 1889 wurde von der Charter Gas Engine Company in Chicago der Versuch unternommen, eine Art Traktor zu bauen, indem man einen 1-Zylinder-Benzinmotor auf das Chassis einer alten Dampfmaschine setzte. Diesem ersten Ansatz folgten bald mehr oder weniger erfolgreiche Prototypen anderer Hersteller und Konstrukteure. Um 1900 wurden in Amerika bereits verschiedene noch recht grobe, aber leistungsfähige Maschinen gebaut.

In England konstruierte Dan Albone im Jahre 1904 einen Zweizylindermotor mit einer Leistung von 15 kW (etwa 20 PS) und zwei Vorwärtsgängen sowie einem Rückwärtsgang. Mit einem Gesamtgewicht von 1,5 t war dieses kleine und leistungsfähige Fahrzeug das Ergebnis mehrjähriger Entwicklungsarbeit und wurde in beträchtlichen Stückzahlen verkauft. Die Farmer in den Vereinigten Staaten von Amerika standen der Neuerung aufgeschlossener gegenüber als ihre Kollegen in Europa und sorgten durch eifrige Käufe für ein gutes Geschäft der bis zum Jahre 1914 auf diesem Markt tätigen sechzig Hersteller.

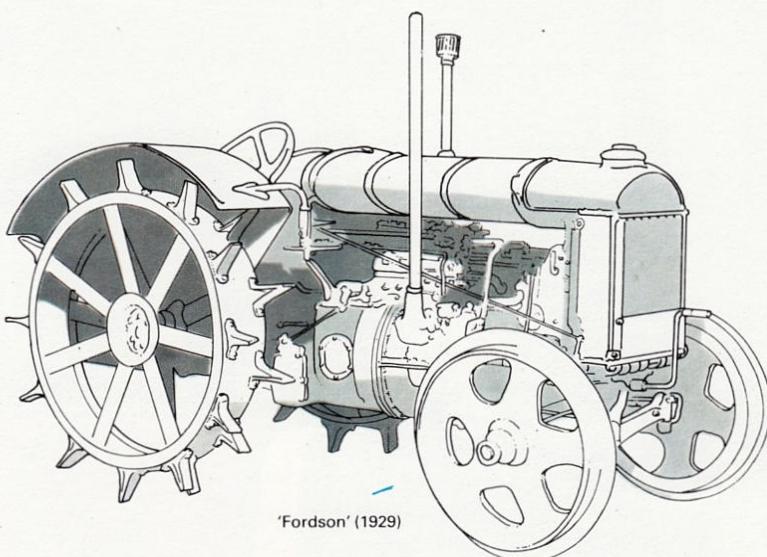
Der Erste Weltkrieg erforderte weltweit die Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion. Mit Hilfe von Traktoren ließen sich große Landflächen kultivieren und für den Getreideanbau nutzen. England importierte jahrelang viele amerikanische Maschinen verschiedener Fabrikate; zu den bekanntesten zählten die Produkte der International Harvester Company und später der Ford Motor Company. Die britische Regierung bezog in wenigen Jahren 7000 Ford-Traktoren aus den USA; diese waren kleiner, von geringerem Gewicht und außerdem in der Regel leichter zu handhaben als die der Konkurrenz und wurden deshalb sehr populär. Bis zum Jahre 1925 kamen mehr als die Hälfte der insgesamt in den USA gebauten Traktoren von der Firma Ford. Der Traktor war in vielen landwirtschaftlichen Betrieben zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel geworden und hatte zudem konstruktive Verbesserungen erfahren, die ihn noch vielseitiger einsetzbar machten.

Die wohl einschneidendste konstruktive Änderung gelang

FRANK KENNARD



'Ivel'-Traktor aus dem Jahre 1902



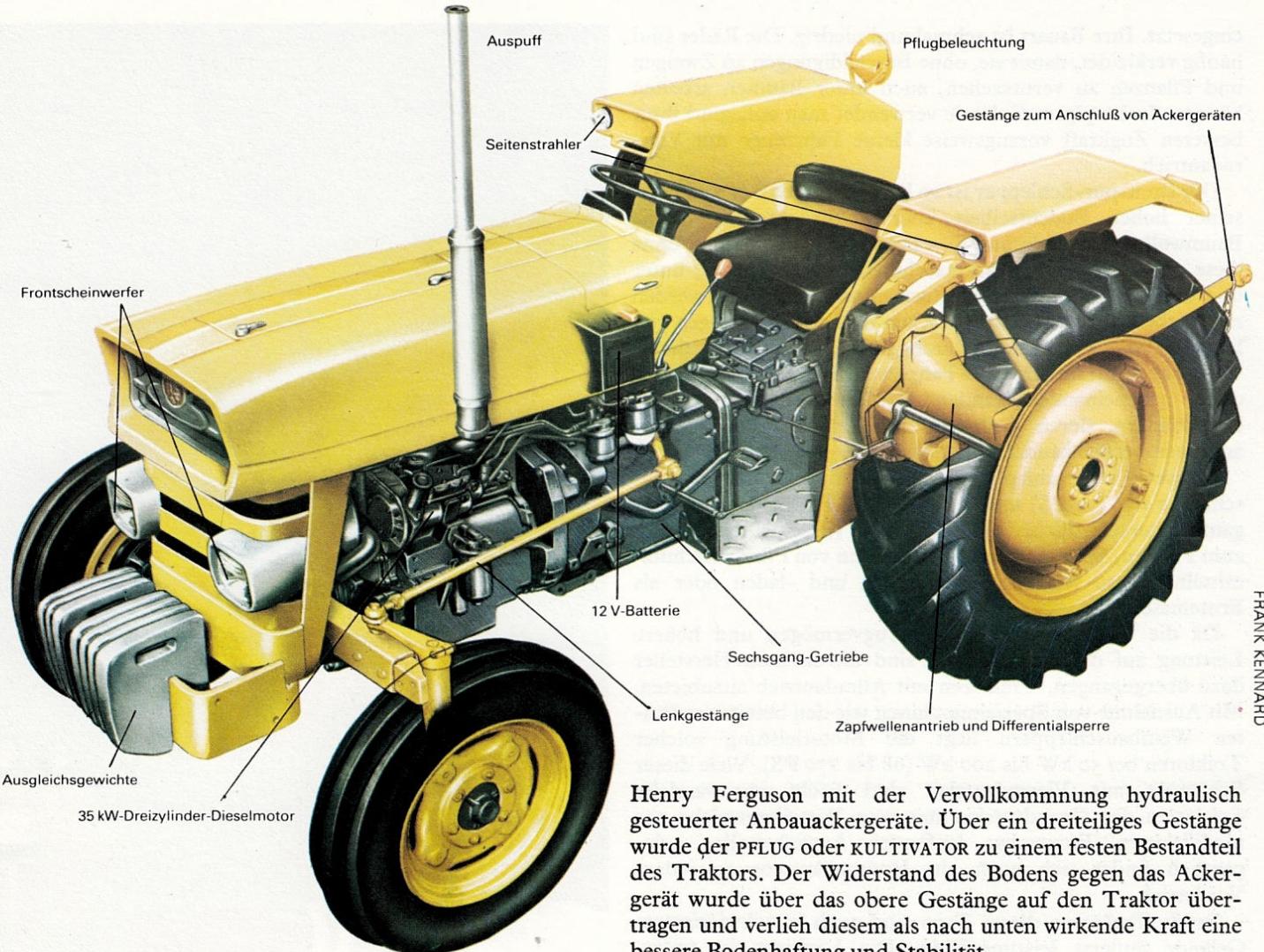
'Fordson' (1929)



**Oben und rechts:** Zwei frühe Modelle und ein Traktor moderner Bauart. Der Ivel-Schlepper war englischer Herkunft. Ford exportierte jahrelang Traktoren nach Großbritannien und baute schließlich im Jahre 1929 den 'Fordson' (siehe Abbildung) in England selbst.

**Links:** Fünffurchenpflug mit einem Raupenschlepper als Zugmaschine. Gegenüber dem herkömmlichen Traktor weist der Schlepper eine größere Zugkraft und gleichmäßige Gewichtsverteilung auf.

**Rechts:** Ein Traktor mittlerer Größe, der von einem 4-Zylinder-Dieselmotor (66 PS) angetrieben wird. Er ist insgesamt 4,12 m lang und wiegt — mit Kraftstoff, Öl und Wasser — 3486 kg. Das Führerhaus ist mit Ventilations- und Heizungssystemen ausgerüstet.



FRANK KENNARD

Henry Ferguson mit der Vervollkommenung hydraulisch gesteuerter Anbauackergeräte. Über ein dreiteiliges Gestänge wurde der PFLUG oder KULTIVATOR zu einem festen Bestandteil des Traktors. Der Widerstand des Bodens gegen das Ackergerät wurde über das obere Gestänge auf den Traktor übertragen und verlieh diesem als nach unten wirkende Kraft eine bessere Bodenhaftung und Stabilität.

Die meisten in der Landwirtschaft eingesetzten Traktoren (Ackerschlepper) haben vier Räder, von denen die Hinterräder angetrieben werden, und sind nach dem Baukastenprinzip konstruiert, d.h. Motor, Getriebe und alle sonstigen Kraftübertragungsorgane sind als Bauteile so angeordnet, daß ein separates Chassis nicht erforderlich ist.

Dieses Prinzip wurde zuerst von der Wallis Tractor Company in Ohio im Jahre 1913 erprobt und später mit großem Erfolg von Ford übernommen. Motor und Kupplung sind direkt mit dem Getriebegehäuse verschraubt, das seinerseits mit den übrigen Kraftübertragungsorganen verbunden ist. Dadurch erhält das ganze Fahrzeug eine Art starres Rückgrat. Befestigungsvorrichtungen für Ackergeräte verschiedenster Art befinden sich in der Regel an den Seiten und am hinteren Ende des Traktors; eine Schleppstange oder auch eine automatische Anhängevorrichtung erleichtern das Ziehen landwirtschaftlicher Geräte.

Fahrzeuge moderneren Zuschnitts verfügen gewöhnlich über eine Art Führerhaus, das den Fahrer nicht nur von Witterungseinflüssen unabhängiger macht, sondern aufgrund seiner speziellen Konstruktion auch als eine Art Überrollbügel bei einem eventuellen Umschlagen des Traktors schützt.

Front- und Rückscheinwerfer machen den Traktor, wo erforderlich, auch im Dunkeln einsatzfähig. Ein gefederter Sitz und ausreichende Bewegungsfreiheit für den Fahrer sind beim Arbeiten unter erschwerten Bedingungen ebenfalls von grundsätzlicher Bedeutung.

### Verschiedene Traktortypen

Je nach Größe und Verwendungszweck liegt die Leistung eines Ackerschleppers bei 15 kW bis 200 kW (20 PS bis 270 PS); die kleinsten Modelle werden im Garten- und Weinbau



eingesetzt. Ihre Bauart ist schmal und niedrig. Die Räder sind häufig verkleidet, damit sie, ohne Beschädigungen an Zweigen und Pflanzen zu verursachen, auch unter Bäumen arbeiten können. In bergigem Gelände verwendet man aufgrund ihrer besseren Zugkraft vorzugsweise kleine Fahrzeuge mit Vierradantrieb.

Der Breitspur-Schlepper ist so konstruiert, daß er aufgrund seiner hohen Bodenfreiheit über Feldfrüchte wie Mais, Baumwolle, Kartoffeln und Gemüse hinwegfahren kann, ohne diese zu beschädigen. Hackmaschinen lassen sich vor, unter und hinter dem Traktor befestigen, und nicht selten werden zwei Arbeitsgänge, wie etwa Hacken und das Aufbringen von Insektiziden, gleichzeitig durchgeführt. Traktoren dieses Typs haben oft ein Dreirad-Fahrgestell mit einem oder zwei dicht nebeneinanderliegenden Vorderrädern und großen Hinterrädern, deren Spurweite problemlos der Ackerspur angepaßt werden kann.

Allzweck-Ackerschlepper liegen in der Motorleistung zwischen 20 kW (24 PS) und 100 kW (136 PS) und sind unter ganz unterschiedlichen Bedingungen vielseitig einsetzbar: zum Pflügen, Säen, Pflanzen, Versprühen von Pflanzenschutzmitteln ebenso wie zum Heuwendern und -laden oder als Erntemaschinen.

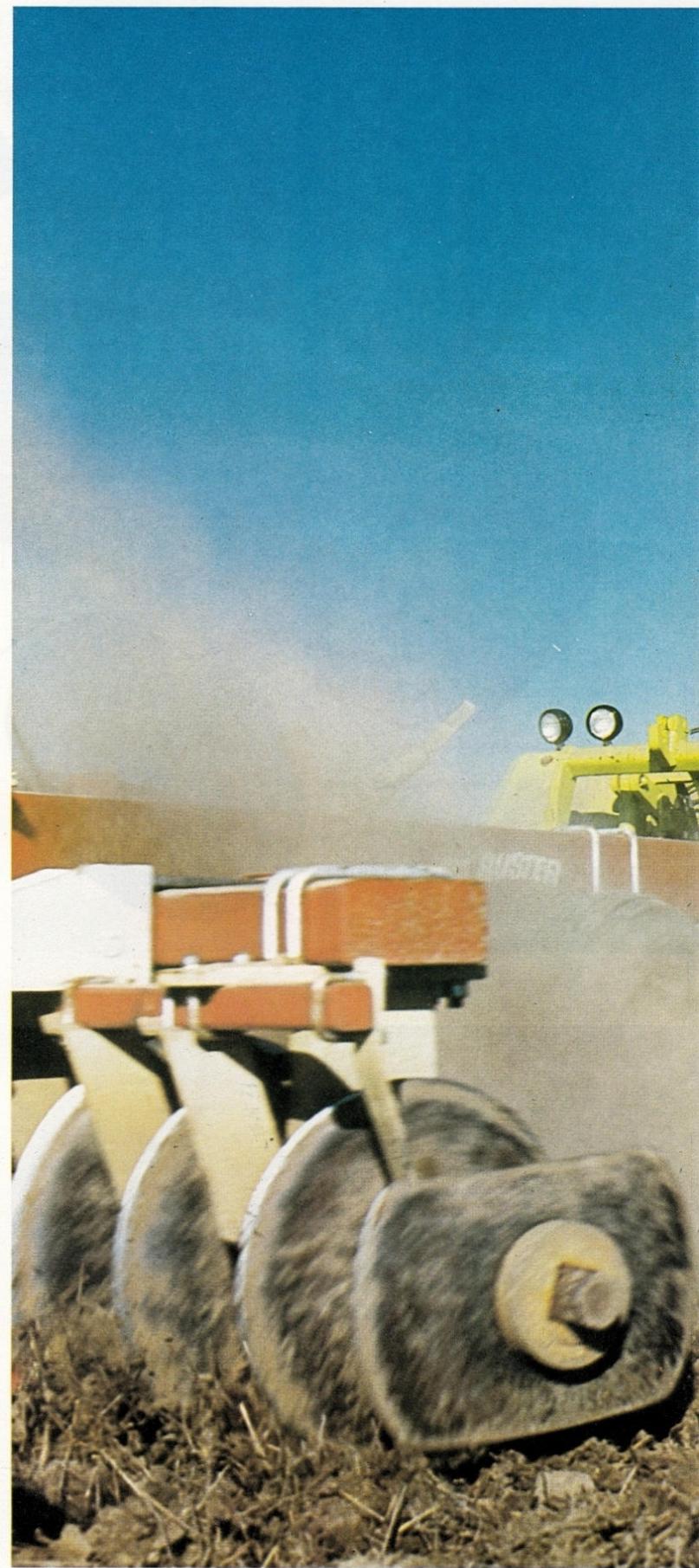
Da die Vorteile wie besseres Zugvermögen und höhere Leistung auf der Hand liegen, sind die meisten Hersteller dazu übergegangen, Traktoren mit Allradantrieb anzubieten. Mit Ausnahme von Spezialmaschinen wie den bereits erwähnten Weinbauschleppern liegt die Motorleistung solcher Traktoren bei 50 kW bis 200 kW (68 bis 270 PS). Viele dieser Schlepper mit Vierradantrieb sind leicht abgewandelte Spielarten der Grundversion mit vom Verteilergetriebe zur modifizierten Frontachse laufender Antriebswelle; gelegentlich findet sich auch ein Hydraulikmotor an jedem Vorderrad.

Große Traktoren dieses Typs sind auch in schwierigstem Gelände äußerst leistungsfähig. Die Lenkung ist unterschiedlich; bei manchen Fahrzeugen sind nur die Vorderräder lenkbar, bei anderen im Interesse einer besseren Manövriergängigkeit alle vier Räder. Gelenk-Schlepper haben einen kleineren Wendekreis und, da die beiden Fahrzeughälften im Winkel zueinander stehen können, auch eine bessere Geländegängigkeit.

Raupenschlepper werden aufgrund ihres geringen Bodendrucks bevorzugt in feuchtem Gelände eingesetzt und sind auch auf extrem hartem, trockenem Boden, wo Gummireifen einem übermäßig hohen Verschleiß ausgesetzt wären, von Vorteil. Ihre Haupteinsatzbereiche sind Pflügen, schwierige Bodenbearbeitung und Entwässerungsarbeiten, doch verwendet man sie auch zum Säen in Reihen, wenn mehrere Reihensämaschinen (Drillmaschinen) gleichzeitig über den Acker gezogen werden können. Die Arbeitsgeschwindigkeit dieser Traktoren ist geringer als die von Räderfahrzeugen, doch können sie breitere Ackergeräte ziehen.

### Konstruktive Merkmale

Ackerschlepper, wie sie in der Landwirtschaft verwendet werden, haben heute fast ausschließlich Dieselmotoren, die sehr wirtschaftlich sind und ein gutes Drehmoment aufweisen. In manchen Gegenden gelangen, je nach örtlichen Gegebenheiten, auch Benzin- oder Flüssiggasmotoren zum Einsatz. Bei den Motoren handelt es sich in der Mehrzahl um Viertaktmotoren mit 1 bis 8 Zylindern, gelegentlich mit Turboladern zur Erzielung höherer Leistungen. Ein elektrischer Anlasser ist heute allgemein üblich. Die Betriebsdrehzahlen der Motoren liegen meist zwischen 800 U/min und 2800 U/min. Luftkühlung kommt vor, Wasserkühlung ist die Norm. Aufgrund der schwierigen Bedingungen, unter denen diese Traktoren arbeiten, sind äußerst leistungsstarke Luft- und



Ölfilter erforderlich. Zudem sollten alle Teile für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten leicht zugänglich sein.

Traktoren sind mit einer Hochleistungskupplung ausgerüstet, die häufig zwecks Kühlung belüftet ist und in zwei Stufen arbeitet. Die erste Stufe stoppt die Vorwärtsbewegung der Maschine, die zweite Stufe die Zapfwelle und die Hy-



Ein großer Traktor mit Vierradantrieb bei der Feldarbeit.  
Er zieht eine schwere Scheibenegge.

Hydraulikpumpe.

Angesichts der vielfältigen Einsatzbedingungen — manchmal, z.B. beim Kartoffellegen, ist das Durchhalten einer ganz

PICTUREPOINT

bestimmten Geschwindigkeit erforderlich — ist eine größere Zahl an Vorwärtsgängen wünschenswert. Dies erreicht man mit einem gut abgestuften Drei- oder Vierganggetriebe, das häufig zwecks Verdoppelung der Zahl der zur Verfügung stehenden Gänge durch ein Planetengetriebe ergänzt wird. Der Einbau eines vollsynchroisierten Flüssigkeitsgetriebes, der gelegentlich vorgenommen wird, erleichtert den Gangwechsel und erlaubt eine stufenlose Geschwindigkeitsregelung. Wegen der höheren Belastung ist das ganze Getriebe sehr viel robuster gebaut als bei normalen Straßenfahrzeugen mit vergleichbarer Motorleistung. Die Zapfwelle dient zur Kraftübertragung auf angebaute oder angehängte Ackergeräte und lag ursprünglich am hinteren Ende des Traktors, in jüngster Zeit jedoch auch zusätzlich an den Seiten oder vorne, so daß sich auch in der Mitte und vorne Geräte zur Bodenbearbeitung anschließen lassen.

Die Entwicklung des unabhängigen Zapfwellenantriebes im Jahre 1947 brachte eine wesentliche Verbesserung. Dadurch läßt sich die Zapfwelle ohne Beeinträchtigung der Vorwärtsbewegung des Traktors verwenden, was beim Einsatz von Heupresse und Feldhäcksler von besonderem Vorteil ist. Die Grundgeschwindigkeit des Zapfwellenantriebs, die proportional der Fahrgeschwindigkeit ist, wird bei verschiedenen Pflanzarbeiten genutzt.

Der Einsatz der Hydraulik hatte wesentlichen Anteil daran, daß der Ackerschlepper zu einer so vielseitigen Maschine wurde. Früher wurden zum Heben bzw. Absenken von Zug- oder auch Breitspur-Ackergeräten sowie zum Kippen von Anhängern und Einsatz von Düngerstreuern außerhalb des Traktors liegende Hebevorrichtungen verwendet. Mit der Erfindung des bereits erwähnten dreiteiligen Gestänges durch Ferguson wandelte sich der Traktor vom reinen Zugmittel, das das Pferd ersetzte und die Ackergeräte hinter sich herzog, zu einer Maschine, an die zahlreiche Zusatzgeräte angeschlossen werden können. Leistungsfähigere Pumpen machen es möglich, landwirtschaftliche Geräte wie z.B. Heckenschneider und Zuckerrübenerntemaschinen mit Hydraulikmotoren auszurüsten. Mit Hilfe eines Ventilsystems lassen sich mehrere Hilfsgeräte gleichzeitig oder nacheinander einsetzen.

Eine Differentialsperre, die in der Regel über ein Fußpedal betätigt wird, verhindert, daß das Ausgleichsgetriebe auf die übliche Weise arbeitet. Dadurch wird es möglich, bei entsprechend schwierigen Arbeitsbedingungen die volle Motorleistung auf die beiden Hinterräder zu übertragen. Das wiederum reduziert die Gefahr des Durchdrehens der Räder und verbessert somit die Fahreigenschaften des Traktors in nassem Gelände.

Die Bremsen spielen bei jedem Traktor eine wichtige Rolle, da sie nicht nur dazu dienen, die Maschine abzubremsen, sondern auch einzeln betätigt werden können, um dem Schlepper während der Feldarbeit enges Wenden zu erlauben. Üblich sind Scheibenbremsen, da sie hohe Bremsleistung mit guter Verschleißfestigkeit, langer Lebensdauer und geringen Ansprüchen an die Wartung vereinen.

Traktoren mit Zweiradantrieb sind heute nahezu ausnahmslos mit einer Achsschenkellenkung, der sogenannten Ackermannlenkung, ausgerüstet. Eine Servolenkung ist bei den kleineren Schleppern mit Zweiradantrieb auf Wunsch als Sonderausstattung erhältlich, bei den größeren und bei Fahrzeugen mit Vierradantrieb hingegen serienmäßig. Angesichts der hohen Stoßbeanspruchung sind die Radlager der Vorderräder besonders robust gehalten. Eine für den Fahrer optimale Aufhängung und Federung eines solchen Fahrzeuges ist schwer zu realisieren, will man nicht die Zugleistung mindern. So beschränkt sich der dem Fahrer gebotene Federungskomfort gewöhnlich auf Luftreifen und einen gut gefederten Sitz.

# TRANSISTOREN

**Das bedeutendste Ereignis in der Elektronik nach dem Zweiten Weltkrieg war die Einführung des Transistors.**

Der Transistor ist ein kleines Halbleiterbauelement. Bei Anwendungen im Kleinleistungsbereich hat er die ELEKTRONENRÖHRE abgelöst. Dies liegt darin begründet, daß der Transistor kleiner und robuster als die Elektronenröhre ist und keine externe Heizung benötigt.

Seit der Entwicklung des Spitzentransistors aus Germanium im Jahre 1948 hat der Transistor eine stürmische Entwicklung hinter sich. Der Spitzentransistor wurde bald von dem noch heute gebräuchlichen Typ abgelöst, der auf Halbleiterübergängen (Bipolartransistor) beruht. Das Halbleitermaterial war zuerst Germanium, später SILICIUM. Ein neueres Halbleiterbauelement ist der Feldeffekttransistor, der sich in seinen Eigenschaften vom Bipolartransistor unterscheidet und mit der Elektronenröhre vergleichbar ist. Transistoren findet man sowohl als diskrete wie auch als integrierte Bauelemente in allen elektronischen Geräten der professionellen und Konsumelektronik vor (siehe INTEGRIERTE SCHALTUNGEN).

## Bipolartransistor

Um die Wirkungsweise eines Transistors zu verstehen, muß man das Verhalten eines PN-Überganges verstanden haben (siehe DIODE). Ein PN-Übergang tritt in einem Halbleiterkristall auf, das auf der einen Seite mit Elektronen (N-Bereich) und auf der anderen Seite mit Defektelektronen (P-Bereich) dotiert wurde. Liegt an dem N-Bereich ein negativeres Potential als an dem P-Bereich an, so bewegen sich Elektronen in den P-Bereich und Defektelektronen in den N-Bereich. Diese Ladungsträger nennt man Majoritätsträger. Der PN-Übergang ist in Durchlaßrichtung geschaltet.

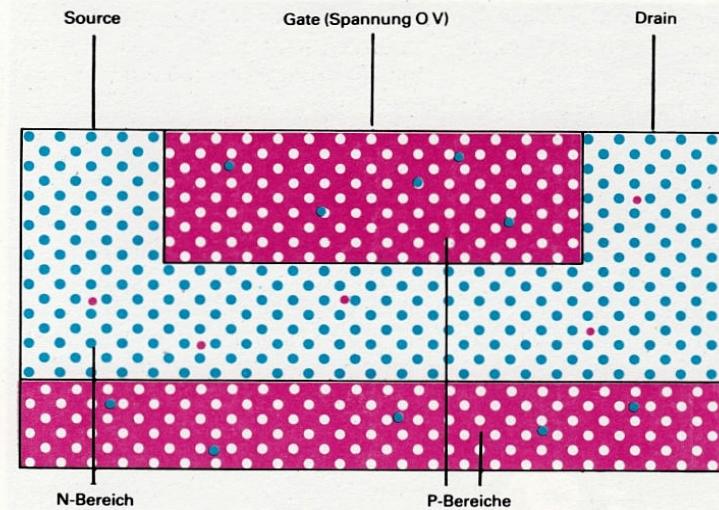
Bei umgekehrter Polung können die Majoritätsträger nicht mehr in die jeweils anderen Bereiche wandern, da sie von dem betreffenden Potential angezogen werden. Dies bedeutet, daß sich am PN-Übergang eine ladungsfreie Zone — die sogenannte Raumladungszone — ausbildet. Diese Zone kann von Majoritätsträgern nicht überwunden werden, d.h. der PN-Übergang ist in Sperrrichtung geschaltet. Je nach Polung kann sich also ein PN-Übergang in einem leitenden und einem nichtleitenden Zustand befinden. Als Halbleiterdiode wird er zur Gleichrichtung (siehe GLEICHRICHTER) und zur Signalerfassung (siehe MODULATION) herangezogen.

Es ist wichtig zu wissen, daß in Halbleitern auch sogenannte Minoritätsträger, d.h. Defektelektronen im N-dotierten und Elektronen im P-dotierten Material, auftreten. Sie können einen in Sperrrichtung geschalteten PN-Übergang durchdringen. Da sich auch in diesem Falle Ladungsträger bewegen, fließt bei einem in Sperrrichtung geschalteten Halbleiterbauelement immer ein kleiner elektrischer Strom, der sogenannte Leckstrom.

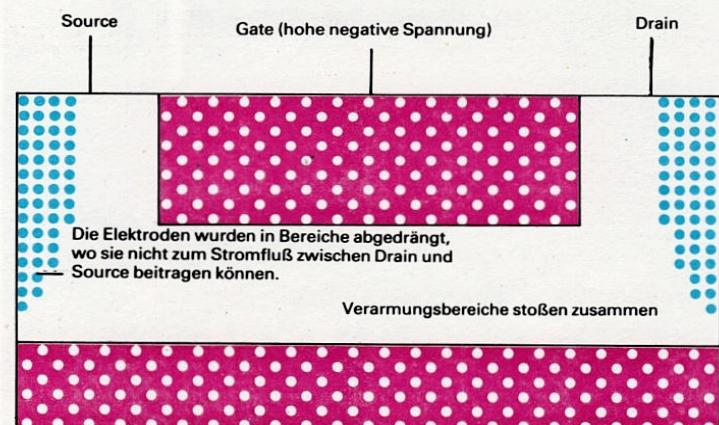
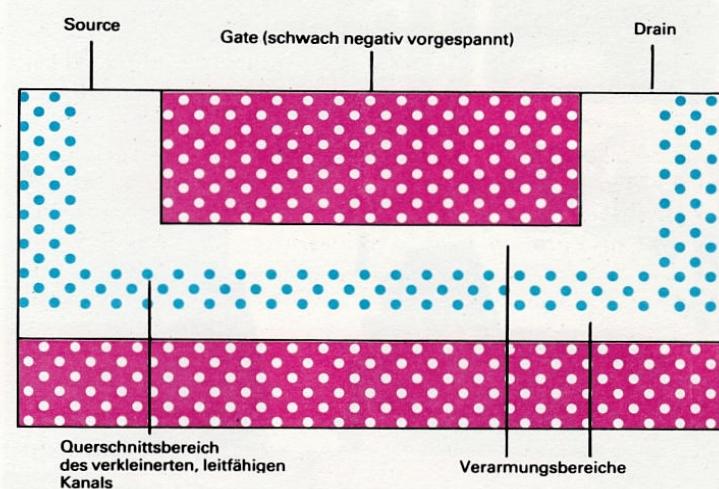
Ein Bipolartransistor ist ein Bauelement, in dem sich eine N-Schicht zwischen zwei P-Schichten (PNP-Transistor) befindet; ein anderer Typ ist der NPN-Transistor. Bringt man an die drei Bereiche Anschlüsse an, so spricht man von Emitter, Basis und Kollektor. Wesentlich ist, daß bei dem Herstellungsprozeß der mittlere Bereich (Basis) sehr dünn gemacht wird. In einer Modellvorstellung kann der Transistor als zwei gegeneinander geschaltete Halbleiterdioden angesehen werden. Mit diesem Modell läßt sich die Wirkungsweise des Transistors sehr einfach verstehen.

## Funktionsweise des Bipolartransistors

Befindet sich der Bipolartransistor in normaler Betriebsweise, so ist der Basis/Emitter-Übergang in Durchlaßrichtung und



ALLARD GRAPHIC ARTS



**Oben:** Wirkungsweise eines N-Kanal-JEFTs. Es wird angenommen, daß der untere P-Bereich mit dem oberen P-Bereich elektrisch verbunden ist — dieser Anschluß ist das Gate. Bei einer Gatespannung von 0 V sind Elektronen als Majoritätsträger innerhalb des gesamten N-Bereichs gleichmäßig verteilt. Sie bilden einen Leitungspfad zwischen Source und Drain (sehr niedriger Ohmscher Widerstand). Wird an das Gate eine negative Spannung angelegt, so werden die Elektronen auf einen kleineren Bereich in der Mitte des N-Bereichs eingeschränkt. Bei weiterer Steigerung der Gatespannung berühren sich die beiden Verarmungsbereiche, d.h. es kann kein Strom mehr fließen.

der Kollektor/Basis-Übergang in Sperrichtung geschaltet. Die Potentialbedingungen können durch Batterien erzielt werden. Bei dem in Durchlaßrichtung gepolten Basis/Emitter-Übergang können viele Elektronen und Defektelektronen den Übergang durchdringen. Der Begriff Bipolartransistor röhrt daher, daß zwei Ladungsträgertypen zum Stromfluß beitragen. Allerdings übersteigt beim NPN-Transistor die Anzahl der Elektronen die Anzahl der Defektelektronen. Dies kann beim Herstellungsprozeß dadurch erzielt werden, daß der Emitterbereich (N-Bereich) eine hohe Elektronenkonzentration aufweist. Dies bedeutet, daß der Strom durch den Basis/Emitter-Übergang weitgehend von Elektronen herrührt. Die in die Basis gelangenden Elektronen sind, bezogen auf den Kollektor/Basis-Übergang, Minoritätsträger.

Man betrachte nun den Kollektor/Basis-Übergang: Dieser Übergang ist in Sperrichtung geschaltet, so daß keine Majoritätsträger den Übergang durchqueren können. Minoritätsträger hingegen können den Halbleiterübergang durchqueren. Da die vom Emitter in die Basis gelangten Elektronen für den in Sperrichtung geschalteten Kollektor/Basis-Übergang Minoritätsträger sind, können sie sehr einfach in den Kollektorbereich gelangen. Es fließt ein großer Elektronenstrom vom Emitter zum Kollektor. Damit möglichst viele Elektronen vom Kollektor 'eingesammelt' werden können, macht man den Basis-Bereich sehr dünn.

Die wenigen Elektronen, die nicht zum Kollektor gelangen, rufen einen kleinen Basisstrom hervor, der etwa 1% bis 2% des Emitterstromes beträgt. Der Kollektorstrom ist daher etwa genauso groß wie der Durchlaßstrom am Basis/Emitter-Übergang. Er kann durch die Durchlaßspannung gesteuert werden. Die wichtigste Eigenschaft des Transistors ist aber das Verhältnis zwischen dem Kollektor- und dem Basisstrom. Der Kollektorstrom kann bei einem Verlust von 1% der Elektronen in der Basis nochmal höher sein als der Basisstrom. Beide Ströme sind in weiten Bereichen genau proportional. Dies bedeutet, daß jede Änderung des Basisstromes eine

allerdings sehr viel größere Änderung des Kollektorstroms nach sich zieht. Mit anderen Worten: Wird die Basis als Eingangsanschluß und der Kollektor als Ausgangsanschluß betrachtet, so verhält sich der Bipolartransistor als ein stromverstärkendes Element mit einem hohen Stromverstärkungsfaktor. Dieses Verhalten steht im Gegensatz zu einer Elektronenröhre oder einem Feldeffekttransistor, die spannungsverstärkende Bauelemente sind.

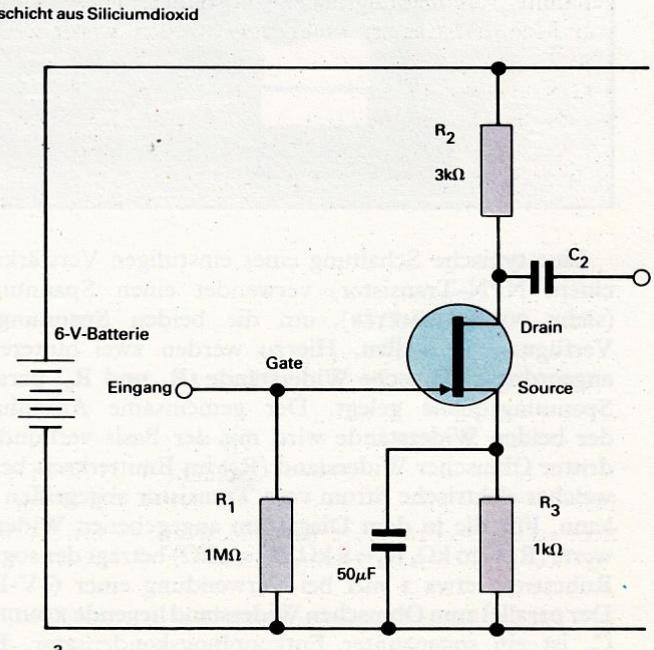
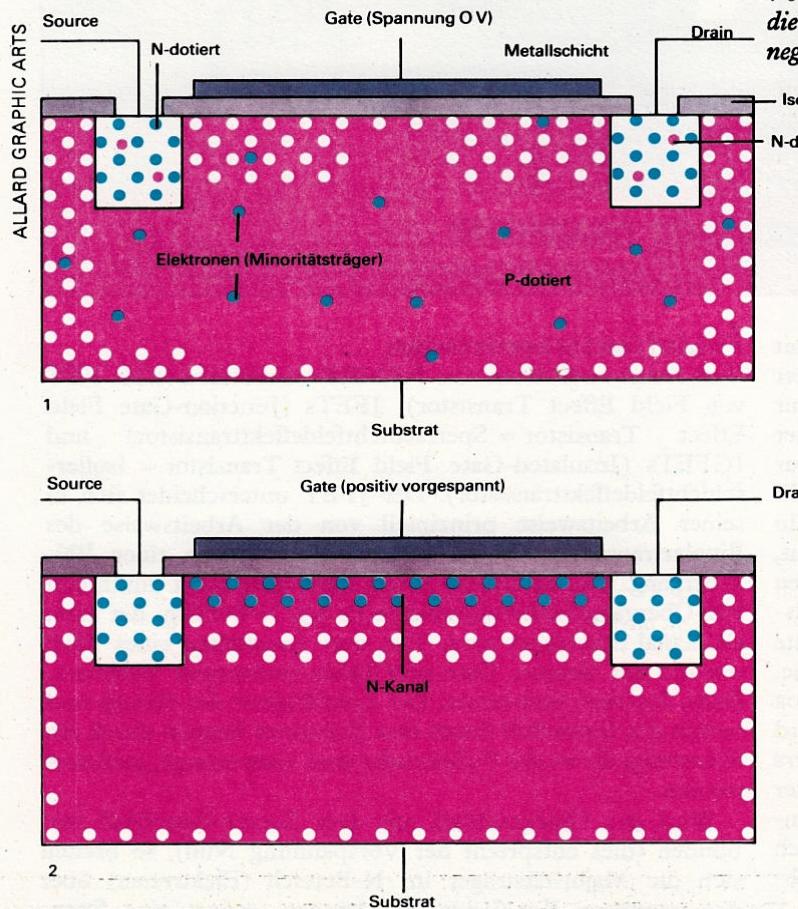
Der Transistor hat nur einen geringen Leistungsbedarf. Zum Betreiben des Transistors genügt ein Strom von 1 mA (1 Tausendstel Ampere) bei nur geringen Spannungswerten. Dies wird bei Transistorradios deutlich, die im allgemeinen von einer 9-V-Batterie gespeist werden.

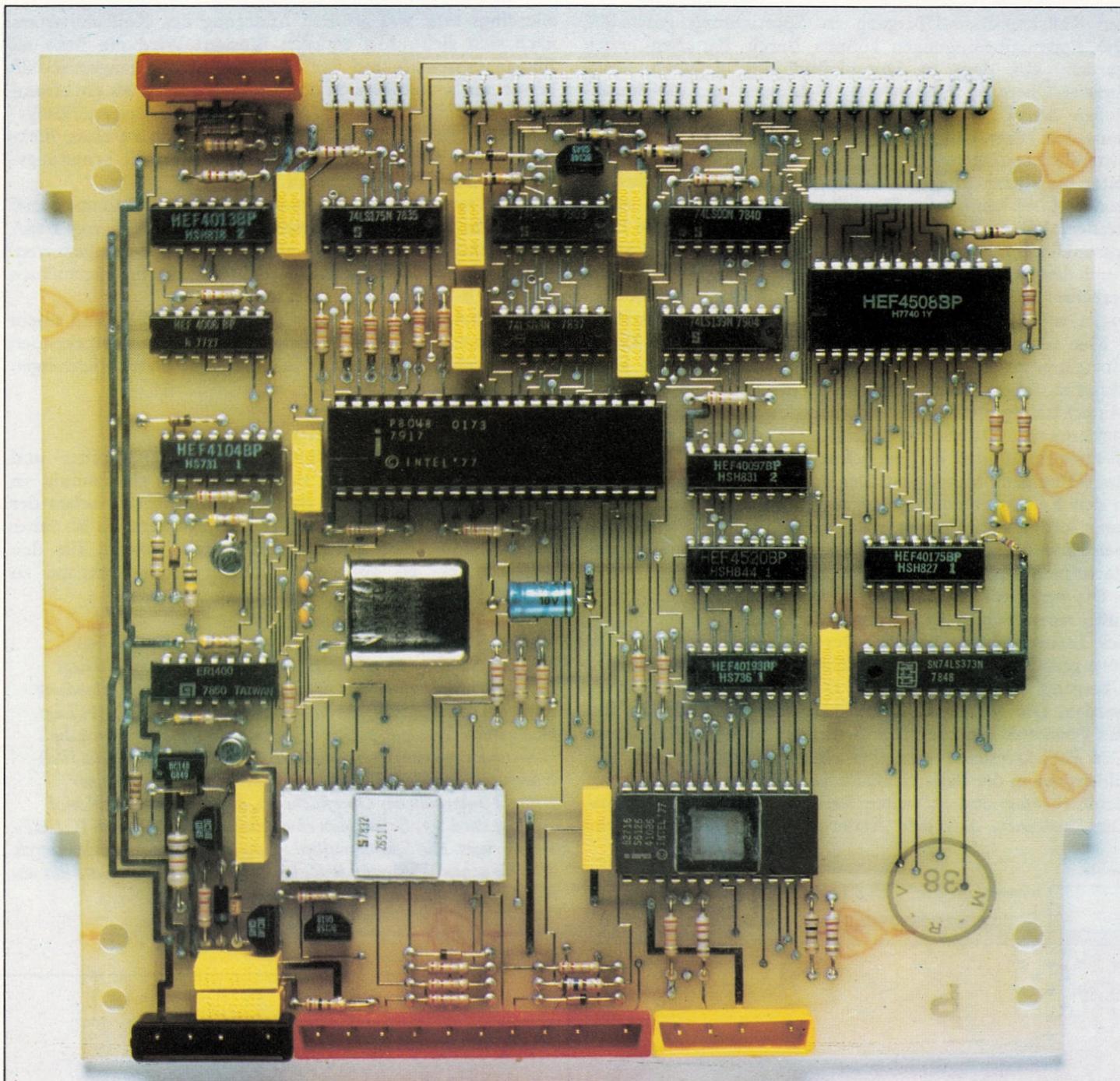
Der einzige Unterschied zwischen einem NPN- und einem PNP-Transistor besteht darin, daß in den entsprechenden Bauelementen der Stromfluß in entgegengesetzten Richtungen fließt.

### Praktische Schaltung

Die beiden Batterien zur Erzeugung der Basis/Emitter- und Kollektor/Basis-Spannung sind tatsächlich gleichsinnig in Reihe geschaltet. D.h. die Basisspannung liegt zwischen der Spannung des Kollektors und der des Emitters. Es ist daher möglich, mit einer Batterie Spannungen sowohl für den Basis/Emitter- als auch den Kollektor/Basis-Übergang zu liefern.

**Unten:** Struktur eines IGFETs. (1) Am Gateanschluß liegt keine Spannung an, d.h. es besteht keine elektrische Verbindung zwischen den beiden N-Bereichen (Source und Drain). (2) Legt man an das Gate eine positive Spannung an, so lagern sich die Elektronen aus dem P-Bereich (Minoritätsträger) und die Elektronen aus dem N-Bereich (Majoritätsträger) in solch einer Anzahl unterhalb der Oberfläche an, daß ein leitender Kanal gebildet wird. (3) Schaltplan eines einstufigen N-Kanal-IGFET-Verstärkers. Die Spannungsbedingungen zu Beginn werden durch die Ohmschen Widerstände  $R_1$  und  $R_3$  erreicht: Das Gate hat ein negativeres Potential als die Source.





Eine typische Schaltung eines einstufigen Verstärkers (mit einem NPN-Transistor) verwendet einen Spannungsteiler (siehe POTENTIOMETER), um die beiden Spannungen zur Verfügung zu stellen. Hierzu werden zwei hintereinander angeordnete Ohmsche Widerstände ( $R_1$  und  $R_2$ ) parallel zur Spannungsquelle gelegt. Der gemeinsame Anschlußpunkt der beiden Widerstände wird mit der Basis verbunden. Ein dritter Ohmscher Widerstand ( $R_3$ ) im Emitterkreis bestimmt, welcher elektrische Strom vom Transistor abgegriffen werden kann. Für die in dem Diagramm angegebenen Widerstandswerte ( $R_1 = 20\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 8\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ ) beträgt der sogenannte Ruhestrom etwa 1 mA bei Verwendung einer 6-V-Batterie. Der parallel zum Ohmschen Widerstand liegende KONDENSATOR  $C_2$  ist ein sogenannter Entkopplungskondensator. Er wird benötigt, um die volle Stromverstärkung des Verstärkers zu erhalten. Ohne den Kondensator würden Spannungen der Signalfrequenz, die aufgrund des Transistorstromes am Ohmschen Widerstand  $R_3$  abfallen, die Stromverstärkung durch einen Effekt, den man negative Rückkopplung nennt, herabsetzen.

### Feldeffekttransistoren

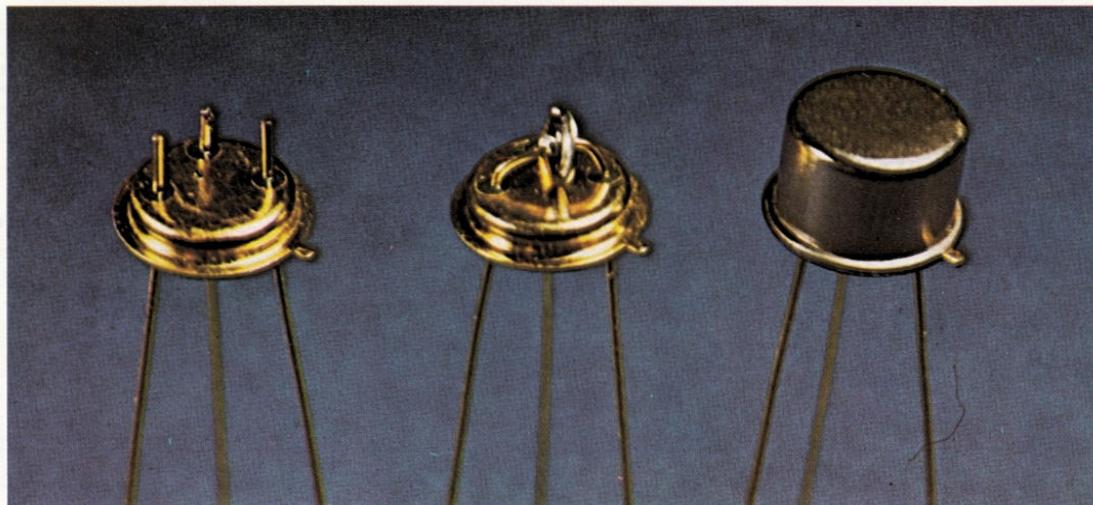
Man kennt zwei Arten von Feldeffekttransistoren (Abk. FET von Field Effect Transistor): JFETs (Junction-Gate Field Effect Transistor = Sperrsichtfeldeffekttransistor) und IGFETs (Insulated-Gate Field Effect Transistor = Isolierschichtfeldeffekttransistor). Der JFET unterscheidet sich in seiner Arbeitsweise prinzipiell von der Arbeitsweise des Bipolartransistors. Dieses Bauelement hat auch einen PN-Übergang. Der elektrische Strom fließt aber nicht durch den PN-Übergang hindurch, sondern in den N-Bereich, der auch als Kanal bezeichnet wird. Die drei Anschlüsse eines FET werden mit Source, Gate und Drain (entspricht Kollektor, Basis, Emitter) bezeichnet. Die Leitfähigkeit des Kanals und mithin der Stromfluß durch den Transistor können durch die Spannung, die an der P-Zone oder dem Gate anliegt, gesteuert werden.

Wird der Gateanschluß mit dem Source-Anschluß verbunden (dies entspricht der Vorspannung Null), so breiten sich die Majoritätsträger im N-Bereich (Elektronen) über den gesamten Kanal aus. Sie können, sofern eine Span-

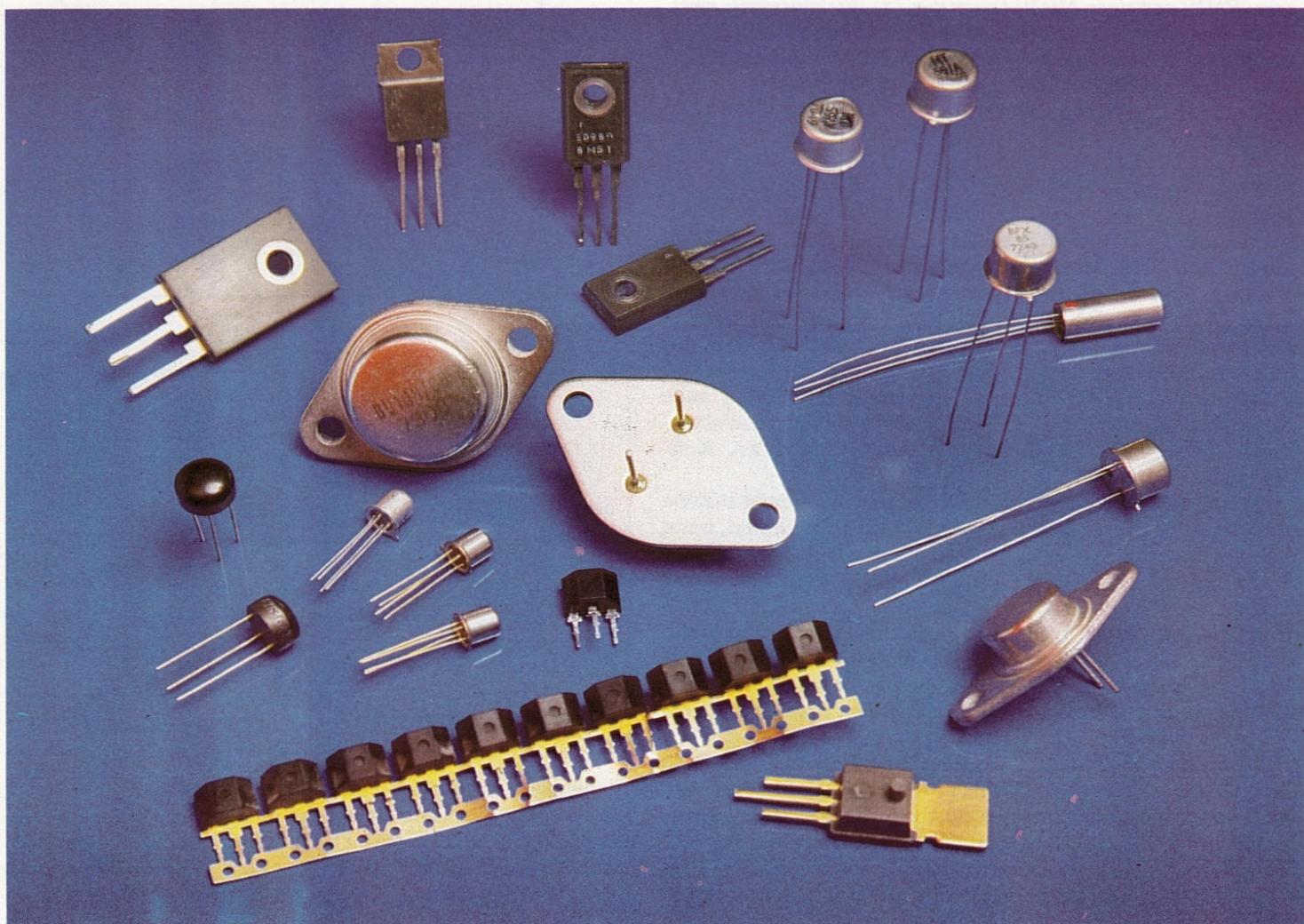
**Links:** Eine typische moderne Schaltung, ein Teletext-Decoder (die Abbildungsgröße entspricht den tatsächlichen Maßen), der mit mehreren Transistoren ausgerüstet ist.

**Rechts:** Verschiedene Stufen bei der Fertigung eines Transistors. Die Chips werden mit den Anschlüssen verlötet und verkapstelt.

**Unten:** Eine Reihe typischer Transistoren. Einige der hier gezeigten Arten sind auch auf der Schaltung auf der Seite links oben zu sehen.



NEWMARKET TRANSISTORS/JAMES BLAKE



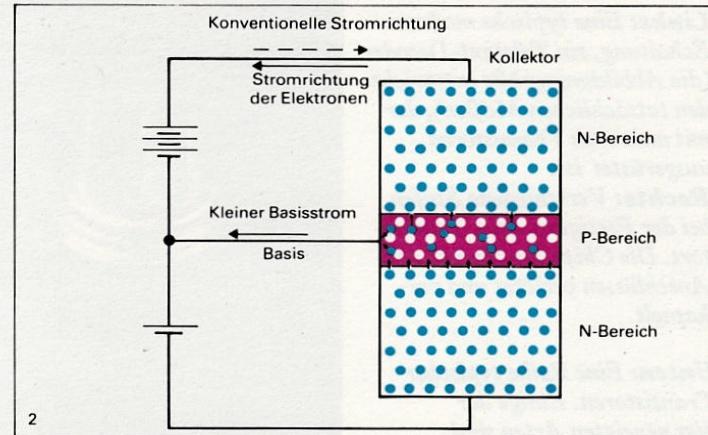
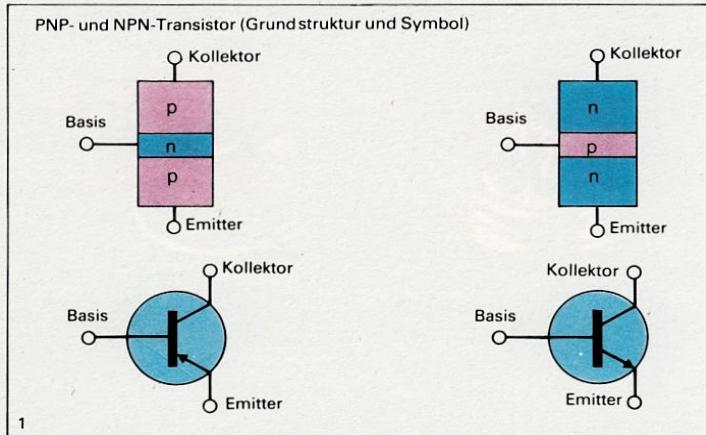
MULLARDS/RAY DUNS

nungsdifferenz zwischen Drain und Source vorliegt, zum Stromfluß beitragen. Wird das Potential am Gate, bezogen auf die Source, negativer, so werden Elektronen von der P-Schicht abgestoßen. Als Folge hiervon entsteht eine Verarmungszone, d.h. eine Zone, die keine freien Ladungsträger enthält. Hierdurch wird der Querschnitt des Kanals verringert, d.h. der Drainstrom wird kleiner. Wird die negative Spannung am Gate weiter erhöht, so wird die Verarmungszone so breit, daß der Kanal abgeschnürt wird. Es kann theoretisch kein elektrischer Strom fließen. Man bezeichnet diesen Vorgang als Abschnürung und die entsprechende Gate-Spannung als Abschnürspannung.

Beim Arbeiten mit FETs wird eine Gatespannung von etwa der halben Abschnürspannung angelegt. Das Signal, das

verstärkt werden soll, wird ebenfalls dem Gateanschluß zugeführt, so daß die tatsächliche Breite des Kanals und entsprechend der Drainstrom beeinflußt werden.

Das Gate ist gegenüber der Source immer negativ vorgespannt, d.h. der PN-Übergang von Gate zu Kanal wird in Sperrrichtung betrieben. Aus diesem Grunde fließt zwischen Gate und Source kein Strom; dies bedeutet, daß der Feldeffekttransistor keinen Strom von dem am Gate anliegenden Eingangssignal 'zieht'. Dieser Transistortyp reagiert also auf die am Eingang anliegende Spannung und nicht, wie der Bipolartransistor, auf den am Eingang anliegenden Strom. Der Feldeffekttransistor ist demnach ein spannungsgesteuertes Halbleiterbauelement, das mit einer Elektronenröhre vergleichbar ist.



**Oben und rechts:** (1) Die Grundstruktur und die Symbole für einen PNP- und einen NPN-Transistor. (2) Wirkungsweise eines NPN-Transistors. (3) Die Ohmschen Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$  sind so aufeinander abgestimmt, daß der Transistor gute Verstärkereigenschaften (stabile und lineare Kennlinie) aufweist. (4) Symbole für verschiedene N-Kanal-Feldeffekttransistoren.

### IGFET

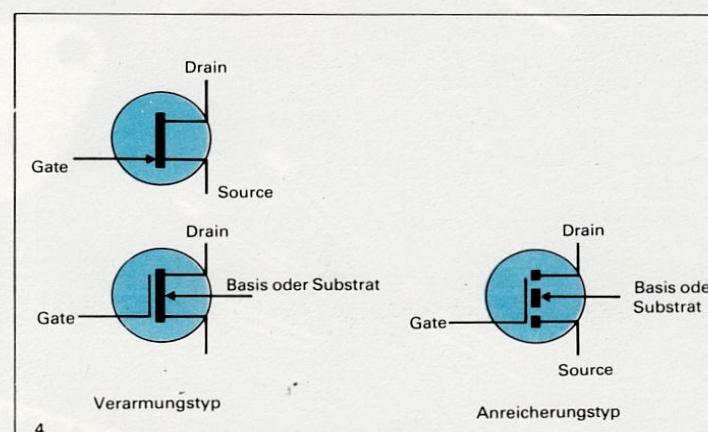
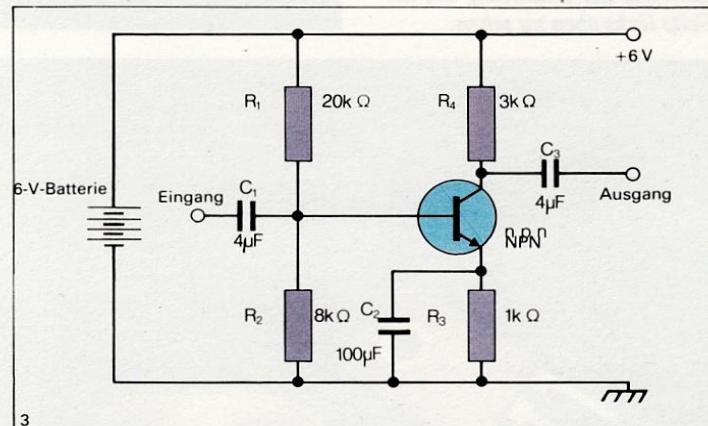
Bei diesem Typ Feldeffekttransistor ist das Gate vom Kanal elektrisch isoliert. Bei einem sogenannten N-Kanal-MOSFET bestehen Source und Drain aus zwei N-dotierten Zonen, in deren Mitte sich eine P-dotierte Zone befindet. Das Gate ist eine metallische Schicht, die durch eine Isolationsschicht aus Siliciumdioxid von der P-Zone getrennt ist. Aufgrund der Folge Metall-Oxid-Halbleiter kennt man dieses IGFET auch unter dem Namen MOSFET (Metal-Oxid-Semiconductor-FET). Die genannten drei Schichten bilden einen Kondensator.

Da sich zwischen Source und Drain eine isolierende P-Zone befindet, kann es erst dann zu einem Stromfluß kommen, wenn man das Potential am Gate, bezogen auf den P-Bereich, positiv macht. Hierdurch werden freie Elektronen in die obere Schicht der P-Zone gebracht. Nun sind die beiden N-Zonen durch einen N-Kanal verbunden; zwischen Source und Drain kann also ein elektrischer Strom fließen. Da hier durch Anlegen einer positiven Spannung an das Gate der Kanal mit Elektronen angereichert wird, spricht man auch von einem Anreicherungs-FET.

Während der Herstellung des Bauelements kann man jedoch dafür sorgen, daß auch der Kanal N-dotiert wird. Es kann dann ohne Gatevorspannung ein Drainstrom fließen. Eine Unterbrechung des Stromflusses kann erzielt werden, wenn man die Gatespannung negativ macht. Hierdurch wird der PN-Übergang zwischen dem N-Kanal und dem Grundmaterial (P-Substrat) in Sperrrichtung betrieben, wodurch sich, ähnlich wie beim JFET, eine Verarmungszone ausbildet, die zum Abschnüren des Kanals führt. Man spricht in diesem Falle auch von einem Verarmungs-FET, da der Kanal bei negativer Gate-Spannung an Elektronen 'verarmt'. Neben den hier beschriebenen N-Kanal-FETs kennt man auch P-Kanal-FETs, also Feldeffekttransistoren, deren Stromfluß von Defektelektronen bestimmt wird.

### FET-Schaltungen

Es ist wohl die wichtigste Eigenschaft eines Feldeffekttransistors, daß das Gate von der Signalquelle keinen Strom aufnimmt. Hierdurch eignet er sich als verstärkendes Element für Signale, die an den Ausgängen von piezoelektrischen oder kapazitiven Meßwandlern wie z.B. bei Mikrofonen oder Tonabnehmern liegen. Die Schaltung ist ein einfacher Ton-



frequenzverstärker, der einen Verarmungs-FET verwendet. Hierbei liegt die Gate-Spannung außerhalb des Spannungsbereiches für Source und Drain. Dies entspricht dem Verhalten früherer Elektronenröhren. Der Transistorstrom, der durch den Ohmschen Widerstand  $R_3$  fließt, macht das Source-Potential gegenüber der negativen Versorgungsspannung positiver. Das Gate ist über den Ohmschen Widerstand  $R_1$  mit dem negativen Anschluß der Stromversorgung verbunden, d.h. bezogen auf die Source-Spannung ist das Gate-Potential negativer. Die Ausgangsspannung des Verstärkers wird an dem Ohmschen Widerstand  $R_2$  erzeugt. Sie wird über den Kondensator  $C_2$  dem Eingang einer nachfolgenden Schaltung zugeführt. Dieser Kondensator dient dazu, Gleichstromanteile herauszufiltern und nur Tonsignale durchzulassen. Der parallel zum Ohmschen Widerstand  $R_3$  liegende Kondensator  $C_1$  ist, wie schon weiter oben beschrieben, ein Entkopplungskondensator. Er stabilisiert die an dem Ohmschen Widerstand  $R_3$  abfallende Spannung, wenn ein Signal auftritt. Mit den angegebenen Werten für die Bauteile nimmt der Verstärker einen Strom von etwa 1 mA auf und hat eine Spannungsverstärkung zwischen 10 und 20.



# Erfindungen 56: TELEGRAF UND TELEFON

Es war nicht ein Einzelner, der den Telegrafen erfand. In einem Zeitraum von mehr als hundert Jahren haben viele Leute gezeigt, daß sich die Übertragung von elektrischen Pulsen auf Leitungen realisieren läßt, bevor dann tatsächlich die erste Meldung übertragen wurde. Im Jahre 1729 fand Stephen Gray aus Canterbury (1666 bis 1736) in London heraus, daß sich eine statische elektrische Ladung über einen 230 m langen, elektrisch leitenden Faden fortpflanzt. Es wurden noch einige Experimente mit statischer Elektrizität in Spanien und England unternommen. Jedoch mußte man bis zur Entdeckung des elektrischen Stromes im Jahre 1800 durch Alessandro Volta (1745 bis 1827) warten, bis die ersten elektromagnetischen Experimente durchgeführt werden konnten.

## Cooke-Wheatstone-Telegraph

Im Jahre 1836 sah William Cooke — ein junger Engländer, der erst kurz zuvor als Invalid aus der ostindischen Armee entlassen worden war — in Heidelberg ein Übertragungssystem, das der russische Diplomat Baron Schilling ersonnen hatte. Nach

seiner Rückkehr nach England baute Cooke einige ähnlich funktionierende Geräte nach. Während seiner Experimente fand er heraus, daß sich Prof. Charles Wheatstone (1802 bis 1875) mit gleichartigen Problemen beschäftigte. Cooke und Wheatstone trafen sich und beschlossen, künftig zusammenzuarbeiten. Das erste von ihnen entwickelte Gerät verfügte über sechs Drähte, die fünf Nadeln ansteuerten. Elektrische Signale, die über Drähte zu Spulen geleitet wurden, riefen eine Ablenkung der Nadeln hervor. Die Nadeln waren in der Mitte eines Buchstabengitters hintereinander angeordnet. Bewegten sich zwei Nadeln, so zeigten sie einen bestimmten Buchstaben an.

## Eisenbahn und Telegraf

Die 'Liverpool and Manchester Railway' und insbesondere Robert Stephenson zeigten an diesem

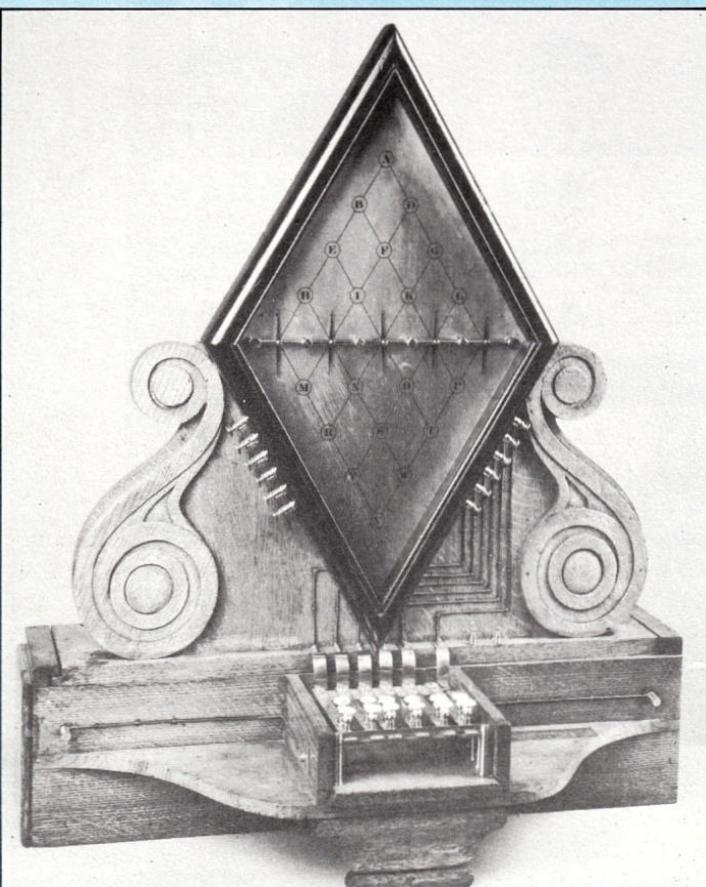
**Unten:** Das Original des Telegrafen von Cooke und Wheatstone, dessen Installation großes Interesse fand. Die Geschwindigkeit der Übermittlung betrug 300 000 km/s (Lichtgeschwindigkeit).

System Interesse. Abgesehen von einer Demonstration entlang der Eisenbahnlinie in Euston (London) kam es jedoch nie mehr zum Einsatz. Cooke konnte aber Brunel, den Erbauer der 'Great Western Railway', von dem System überzeugen. Im Jahre 1839 wurde zwischen Paddington (London) und West Drayton — eine Entfernung von etwa 21 km — ein derartiger Telegraf eingerichtet. Er wurde mit Erfolg eingesetzt, und zwar informierte er über den jeweiligen Standort eines Zuges. Zu jener Zeit hatte die Bahn noch kein Nachrichtensystem. Man vertraute auf die Wachsamkeit der Zugführer.

Im Jahre 1843 wurde das Telegrafensystem um weitere 8 km bis Slough erweitert. Hier verwendete man ein System aus zwei Nadeln. Einen bestimmten Buchstaben erhielt man aus einer Kombination der Nadelbewegungen.

## Das System von Morse

Der Telegraf von Cooke und Wheatstone war der Öffentlichkeit nun allgemein zugänglich. Er war der erste kommerzielle Telegrafendienst



## THE WONDER of the AGE !!

INSTANTANEOUS COMMUNICATION.

Under the special Patronage of Her Majesty & H.R.H. Prince Albert.

## THE GALVANIC AND ELECTRO-MAGNETIC TELEGRAPHHS, ON THE GT. WESTERN RAILWAY.

May be seen in constant operation, daily, (Sundays excepted) from 9 till 8, at the  
TELEGRAPH OFFICE, LONDON TERMINUS, PADDINGTON  
AND TELEGRAPH COTTAGE, SLOUGH STATION.

An Exhibition admitted by its numerous Visitors to be the most interesting and ATTRACTIVE of any in this great Metropolis. In the list of visitors are the illustrious names of several of the Crowned Heads of Europe, and nearly the whole of the Nobility of England.

"This Exhibition, which has so much excited Public attention of late, is well worthy a visit from all who love to see the wonders of science." — MORNING POST.  
The Electric Telegraph is unlimited in the nature and extent of its communications; by its extraordinary agency a person in London could converse with another at New York, or at any other place however distant, as easily and nearly as rapidly as if both parties were in the same room. Questions proposed by Visitors will be asked by means of this Apparatus, and answers thereto will instantaneously be returned by a person 20 Miles off, who will also, at their request, ring a bell or fire a cannon, in an incredibly short space of time, after the signal for his doing so has been given.

## The Electric Fluid travels at the rate of 280,000 Miles per Second.

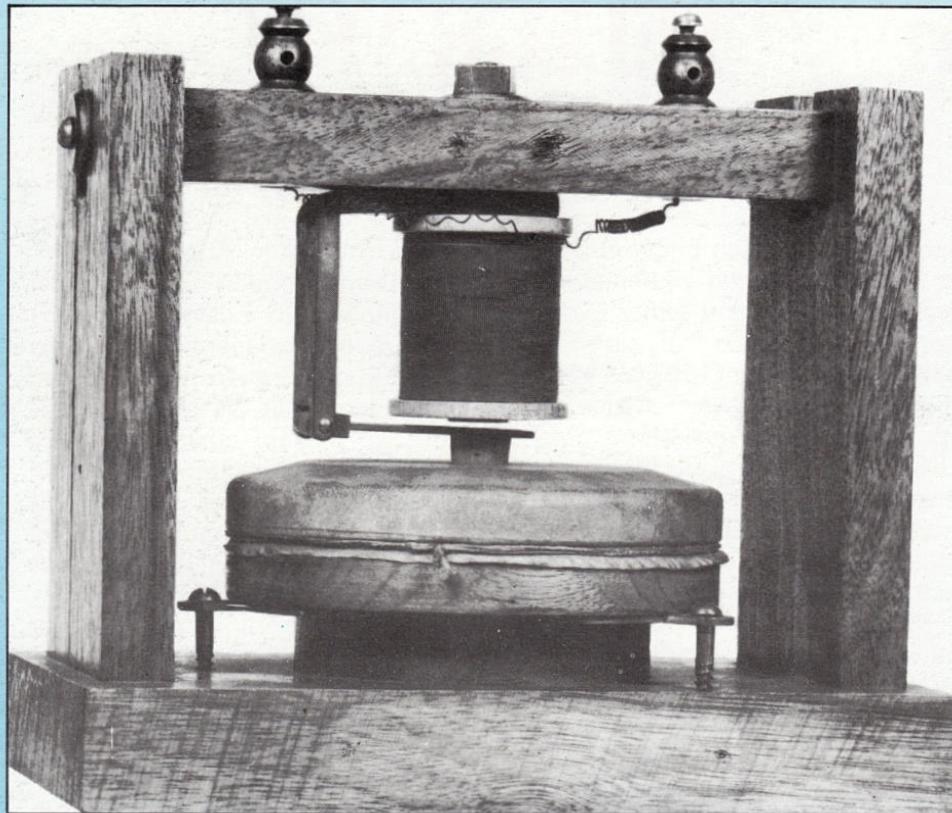
By its powerful agency Murderers have been apprehended, (as in the late case of Tawell.) — Thieves detected; and lastly, which is of no little importance, the timely assistance of Medical aid has been procured in cases which otherwise would have proved fatal.

The great national importance of this wonderful invention is so well known that any further allusion here to its merits would be superfluous.  
N.B. Despatches sent to and fro with the most confiding secrecy. Messengers in constant attendance, so that communications received by Telegraph, would be forwarded, if required, to any part of London, Windsor, Eton, &c. &c.

ADMISSION ONE SHILLING.

T. HOME, Licensee.

Nurton, Printer, 48, Church St. Portman Market.



**Oben:** Bells erstes Telefon, das zum ersten Mal am 3. Juni 1875 Töne übertrug. **Unten:** Eine Schalttafel für 50 Leitungen im Jahre 1879.

und stellte zugleich die erste wirtschaftliche Anwendung der Elektrizität dar. Etwa um die gleiche Zeit versuchte Samuel Morse (1791 bis 1872) den amerikanischen Kongress davon zu überzeugen, ihm Geld zur Konstruktion seines eigenen Telegrafensystems zur Verfügung zu stellen.

Nach einer Abstimmung mit knapper Mehrheit wurde Morse Geld bewilligt. Im Jahre 1843 wurde die erste Meldung im heute noch bekannten Morse-Code auf einer Strecke von 64 km zwischen Baltimore und Washington übertragen. Das Morse-System benötigt nur einen Draht und hat gegenüber früheren Systemen noch weitere Vorteile. Es breitete sich in den USA rasch aus und wurde auch von anderen Ländern übernommen. Im Jahre 1852, nur neun Jahre nach Übertragung der ersten Nachricht, gab es auf der Erde schon 64 000 km Telegrafenleitungen.

#### Anwendung des Telegrafen

Nachdem der Einsatz von Telegrafen-systemen allgemein bekannt war, weiteten sich seine Anwendungsmöglichkeiten schnell aus. Man konnte mit diesen Systemen nicht nur Zugunglücke verhindern, sondern es konnten auch wirtschaftliche und politische Meldungen schneller

Weil Strowger wegen Fehler der Vermittler keine Abschlüsse tätigen konnte, entwickelte er ein automatisches Vermittlungssystem.

veröffentlicht werden, die Industrie konnte Abschlüsse schneller tätigen und selbst die entferntesten Orte hatten in kurzer Zeit Zugang zu Informationen.

#### Telefon

Das Telefon wurde später als der Telegraf erfunden. Am 10. März 1876 rief Alexander Graham Bell (1847 bis 1922) seinen Mitarbeiter Watson, der einige Zimmer weiter saß, telefonisch mit den Worten zu sich: 'Mr. Watson come here, I want you' ('Herr Watson, kommen Sie her, ich möchte Sie sehen'). Von diesem Tag bis zum Jahre 1885 waren auf der ganzen Erde etwa 70 000 Telefonapparate installiert. Obwohl Bell allgemein als Erfinder des Telefons gilt, hatte jedoch Philip Reis (1834 bis 1874) bereits im Jahre 1861 gezeigt, daß sich Schall mit Hilfe der Elektrizität über größere Entfernungen übertragen läßt.

Im Jahre 1928 wurde die erste Transatlantikleitung für Radioübertragungen installiert. Jedoch erst im Jahre 1956 wurde ein Transatlantik-kabel für Telefonverbindungen verlegt.

