

HEFT 43 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

Radarhöhenmesser	1177
Radio	1178
Radioaktivität	1182
Radioteleskop	1185
Raketen	1189
Ramme	1195
Rasenmäher	1197
Raumfahrzeuge	1200

### 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.

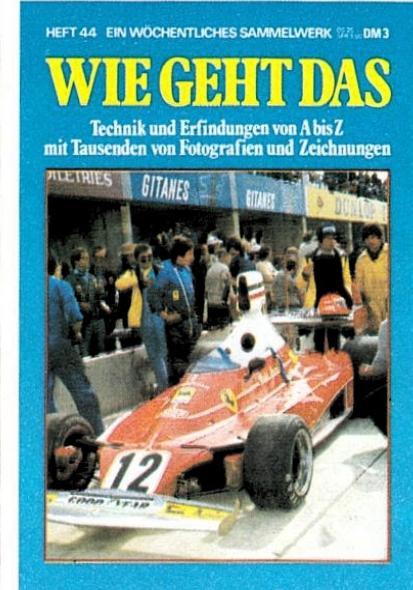
**Wichtig:** Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

#### 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 44 von Wie Geht Das

Die technische Entwicklung von Rennwagen hat zu vielen Verbesserungen im Entwerfen von Gebrauchswagen und Zusatzteilen wie Bremsen und Reifen geführt. Lesen Sie alles über die Entwicklungsgeschichte von Rennwagen in Heft 44 von Wie Geht Das nach.



Die hohen Kosten des bemannten Raumfluges führen dazu, daß die Erforschung anderer Planeten unseres Sonnensystems noch viele Jahre lang von unbemannten Raumsonden ausgeführt wird. Alles über diese Raumsonden nächste Woche in 'Wie Geht Das'.

#### SAMMELORDNER

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

#### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

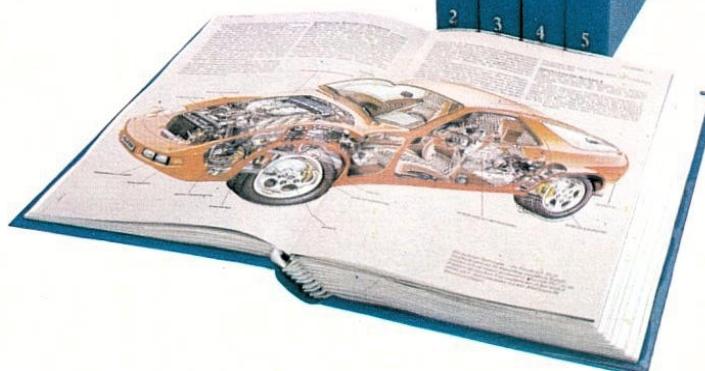
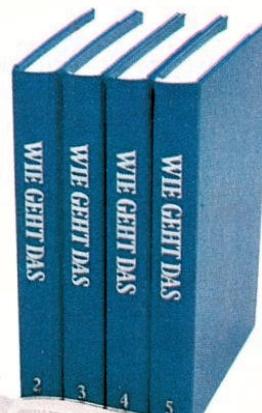
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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 bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

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

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

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



## RADARHÖHENMESSER

Wenn niedrigfliegende Luftfahrzeuge auf sehr genaue Höhenmessungen angewiesen sind — beispielsweise bei einer Blindlandung —, ist der Einsatz von Radarhöhenmessern praktisch unumgänglich.

Ein gewöhnlicher Höhenmesser enthält normalerweise ein Aneroidbarometer, mit dem die Änderung des Luftdruckes mit der Flughöhe gemessen wird. Wetterbedingte Luftdruckveränderungen können jedoch die Genauigkeit der Höhenbestimmung beeinträchtigen. Mit Radarhöhenmessern kann die absolute Höhe eines Flugkörpers über dem Boden bestimmt werden, weil man Radiowellen — sie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/s) aus — zur Abstandsmessung benutzt.

Über eine nach unten gerichtete Antenne wird ein Radiowellenimpuls abgegeben. Man mißt nun die Zeiten, die zwischen dem Aussenden des Signales und seiner Rückkehr (Reflektion an der Erdoberfläche) vergeht. Man erhält also ein Maß für die Strecke, die der Impuls zurückgelegt hat, und kennt damit die Flughöhe.

Die Entfernung, die der Impuls zurückgelegt hat, läßt sich aus der graphischen Darstellung auf dem Bildschirm eines Kathodenstrahlzilloskopes abschätzen oder elektronisch messen. In beiden Fällen ist die Höhenbestimmung nur bei großer Flughöhe hinreichend genau. Wenn der Flugkörper der Erde näherkommt, wird die Rückkehrzeit für den reflektierten Impuls so klein, daß die Messung Schwierigkeiten bereitet: Bei einer Flughöhe von einem Kilometer kommt das reflektierte Signal schon nach etwa drei Millionstel Sekunden wieder zurück. Der ausgesendete Impuls müßte also sehr kurz sein, um den reflektierten Impuls vom ausgesendeten Impuls unterscheiden zu können. Bei einer Höhe von etwa 100 m ist die Rückkehrzeit auf 0,3 Millionstel Sekunden gesunken, d.h. die Pulsdauer müßte außerordentlich kurz sein.

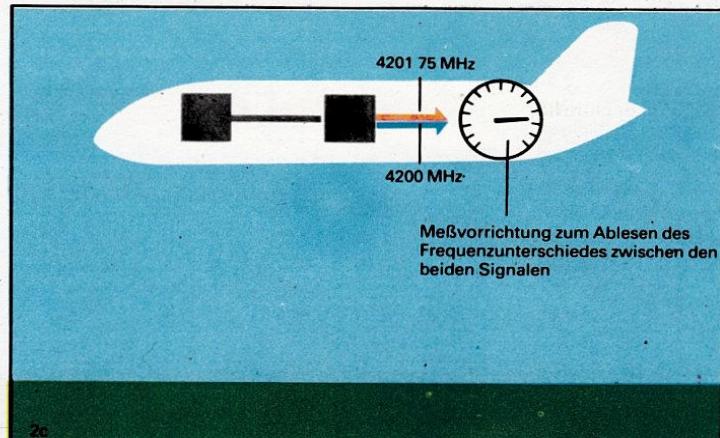
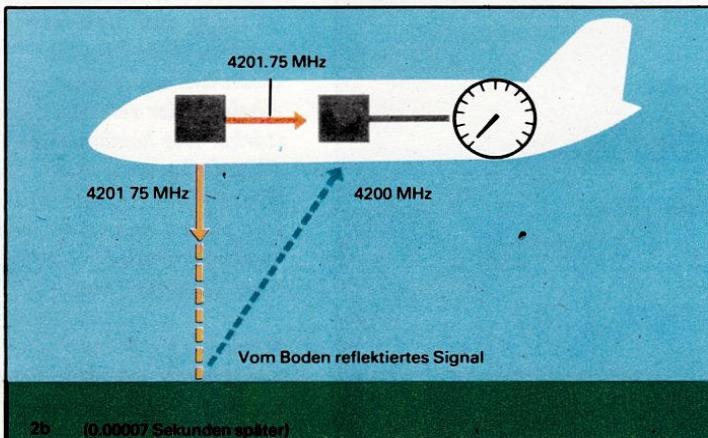
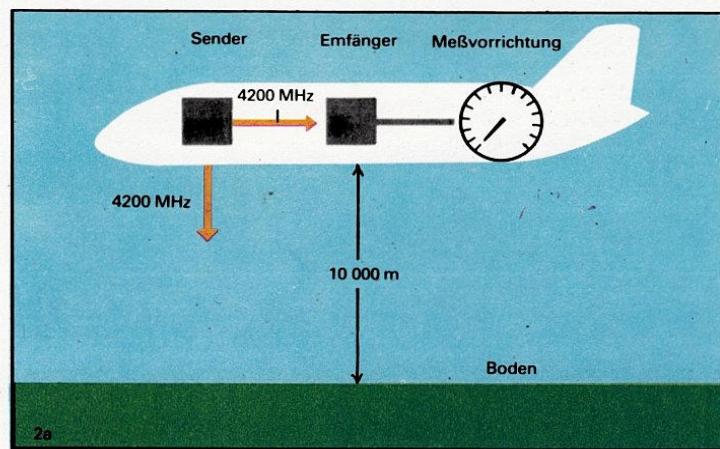
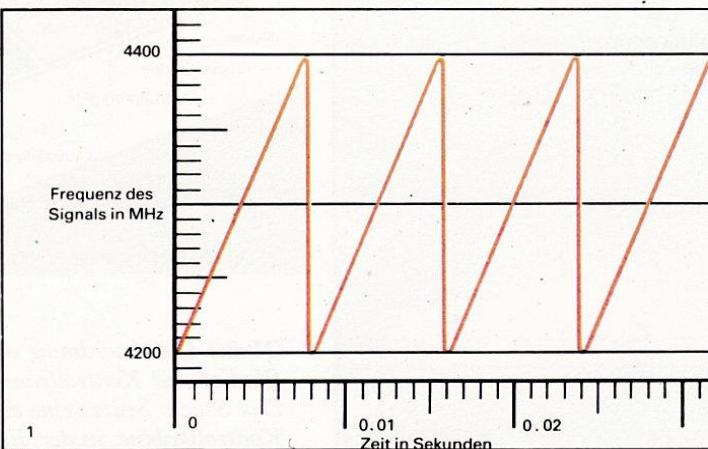
Aber gerade bei den geringen Flughöhen wird die Höhenmessung besonders kritisch. Deshalb hat man ein kompliziertes System entwickelt, das FMCW (frequency modulated, continuous wave)-Radar, Dauerstrich-Radar oder einfach Radarhöhenmesser genannt wird. Wie bei dem oben beschriebenen einfachen System werden von einer Radarantenne Signale ausgesendet, am Boden reflektiert und an Bord des Flugkörpers aufgefangen. Bei diesem Verfahren werden die hochfrequenten Signale (etwa 4200 MHz) kontinuierlich abgegeben.

Das kontinuierliche Signal erhöht seine Frequenz in einer vorgegebenen Zeit um 200 MHz und kehrt dann schnell wieder auf die Ausgangsfrequenz zurück.

Eine zu Beginn dieses Durchlaufes ('sweep') ausgesendete Radiowelle wird zum Zeitpunkt ihrer Rückkehr den Sender bei einer anderen Frequenz vorfinden. Der Frequenzunterschied hängt von der zurückgelegten Strecke ab. Bei einer elektronischen Überlagerung der beiden Frequenzen erhält man als Resultat eine neue Schwingung mit einer Frequenz, die dem Unterschied der beiden Frequenzen entspricht. Der Wert dieser neuen Frequenz wird elektronisch gemessen und ist direkt proportional zur Strecke, die das Radiosignal zurückgelegt hat. Damit läßt sich also die Höhe bestimmen.

Ein heute üblicher Radarhöhenmesser vollführt den beschriebenen Frequenzdurchlauf 120mal pro Sekunde. Die Reichweite des Gerätes beträgt etwa 3000 m über Land und bis zu 6000 m über Wasser, da dort die Reflexionen deutlicher sind. Die Genauigkeit der Höhenbestimmung beträgt etwa 1,50 m für die größeren Abstände und ist besser als 0,50 m Bodennähe.

*Ein Radarhöhenmesser sendet ein Radiosignal von der in Bild 1 gezeigten Form aus. Eine zum Boden gelaufene und dort reflektierte Radiowelle hat eine andere Frequenz als die bei ihrer Rückkehr ausgesendete — der Unterschied hängt vom Abstand zum Boden ab und wird mit elektronischen Hilfsmitteln bestimmt.*



## RADIO

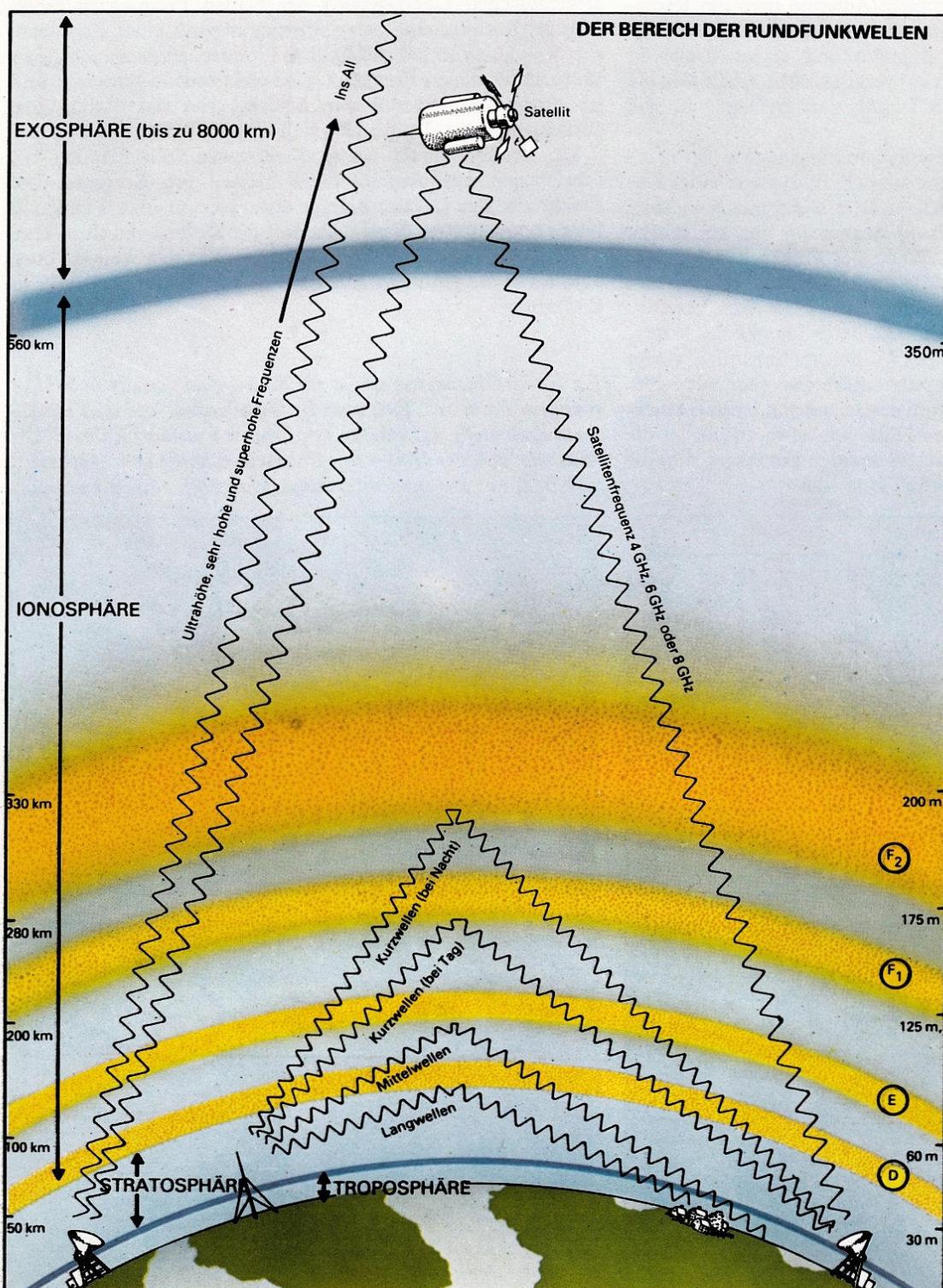
Mit der Erfindung des Radios gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann die Ära der Massenkommunikation.

Mit der Erfindung des Radios wurde es bald möglich, Einzelheiten von Ereignissen gleich nach dem Geschehen direkt in die Wohnungen zu übermitteln, sowie Meldungen zu Schiffsbesetzungen auf See oder zu Flugzeugen, die sich in der Luft befinden, zu funkeln. Die Entwicklung des Radios ebnete auch den Weg für das Fernsehen, das heute eine noch größere Bedeutung für die Information und Unterhaltung als das Radio erlangt hat. Militärische Operationen wurden über das Radio ausgelöst; die bemannte und die unbemannte Raumfahrt wären ohne Funkverkehr ebenfalls unmöglich.

Rundfunkwellen sind eine Form elektromagnetischer Strah-

lung, die aus einer Kombination elektrischer und magnetischer Felder besteht. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit entspricht der des Lichtes, und die äußeren Enden der Wellen sind Punkte, bei denen die elektrischen und magnetischen

**Unten links:** Rundfunkwellen lassen sich auf der Erde über weite Entfernen senden, da die elektrisch geladenen Schichten der oberen Atmosphäre (Ionosphäre) Radiowellen reflektieren. Die Ionosphäre setzt sich aus einer Reihe von Schichten zusammen, die als D, E, F<sub>1</sub> und F<sub>2</sub> bezeichnet werden. Sie bestehen aus einem Gemisch von ionisierten Gasmolekülen und Elektronen. Die Höhe, in der die Funkwellen reflektiert werden, hängt von ihrer Frequenz ab, wobei höchste Frequenzen nicht reflektiert werden. In der Nacht verschmilzt die F<sub>1</sub>-Schicht mit der F<sub>2</sub>-Schicht.



**Rechts:** Das an der Sendeanlage liegende Signal ruft Rundfunkwellen hervor, die sich in alle Richtungen ausbreiten. Wenn sie von der Empfängerantenne aufgenommen werden, entsteht in ihm ein entsprechendes Signal.

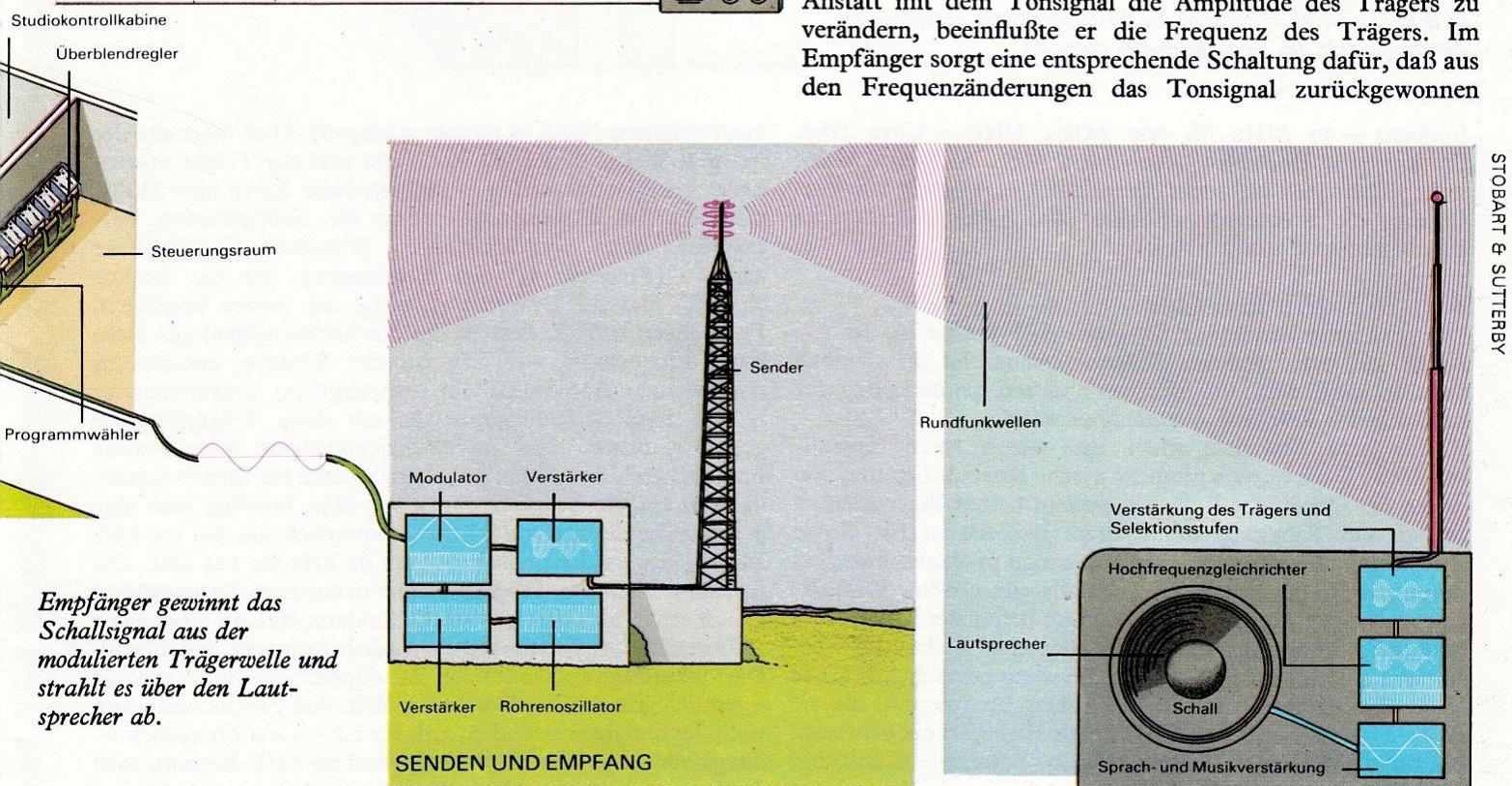
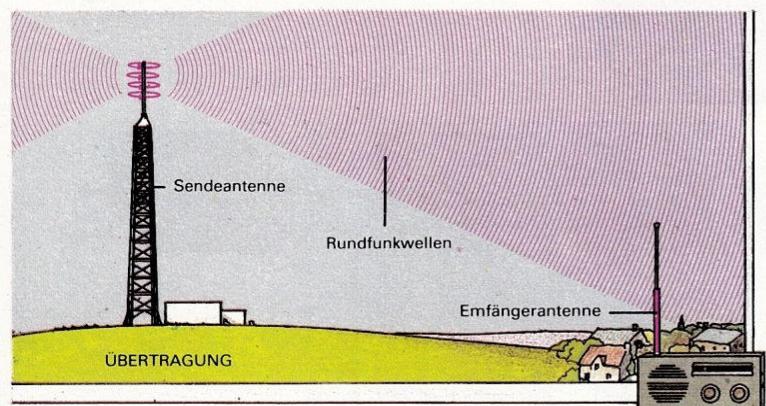


**Oben:** Die Anordnung eines Studios und Kontrollraumes. Das Studio besitzt eine eigene Kontrollkabine, in der die Signale von den Mikrofonen verstärkt und kombiniert werden. Man benutzt Überblendregler zum Abgleich der relativen Lautstärke. Die kombinierten Signale kommen dann in den Steuerraum, wo das Ausgangssignal mehrerer Studios kontrolliert wird, bevor es zum Sender gelangt.

**Rechts:** Im Sender wird die Trägerwelle mit dem Signal aus dem Studio moduliert und dann ausgestrahlt. Der

Felder ihren Maximalwert besitzen.

Die Frequenz einer Rundfunkwelle wird durch die Anzahl der Takte in einer Sekunde bestimmt, bei denen diese Felder ein Maximum in einer Richtung erreichen, in die andere Richtung umkehren und anschließend wieder in die ursprüngliche Richtung zurückkehren. Die Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maximalwerten in gleicher Richtung wird als Wellenlänge bezeichnet. Je höher die Frequenz einer Welle ist, um so kürzer wird die Wellenlänge. Die Rundfunkwellen umfassen sowohl den Längstwellenbereich mit Wellenlängen von 1 km bis 10 km, denen sehr niedrige Frequenzen zuzuordnen sind, als auch den Mikrowellenbereich sehr hoher Frequenzen, deren Wellenlängen zwischen 1 mm und 1 m liegen.



## Modulation

Obgleich G. Marconi (1874 bis 1937) im Jahre 1894 mit Rundfunkwellen zu experimentieren begann und sein erstes Patent zur drahtlosen Telegrafie im Jahre 1896 anmeldete, dauerte es bis zum Jahre 1906 mit der Entwicklung eines Verfahrens zur drahtlosen Sprachübermittlung. Das von Marconi entworfene System konnte nur telegrafisch Bot-schaften in Form von Pulsen übertragen. Der kanadische Physiker R. Fessenden (1866 bis 1932) fand heraus, daß eine Sprachübertragung mit modulierten Rundfunkwellen möglich ist.

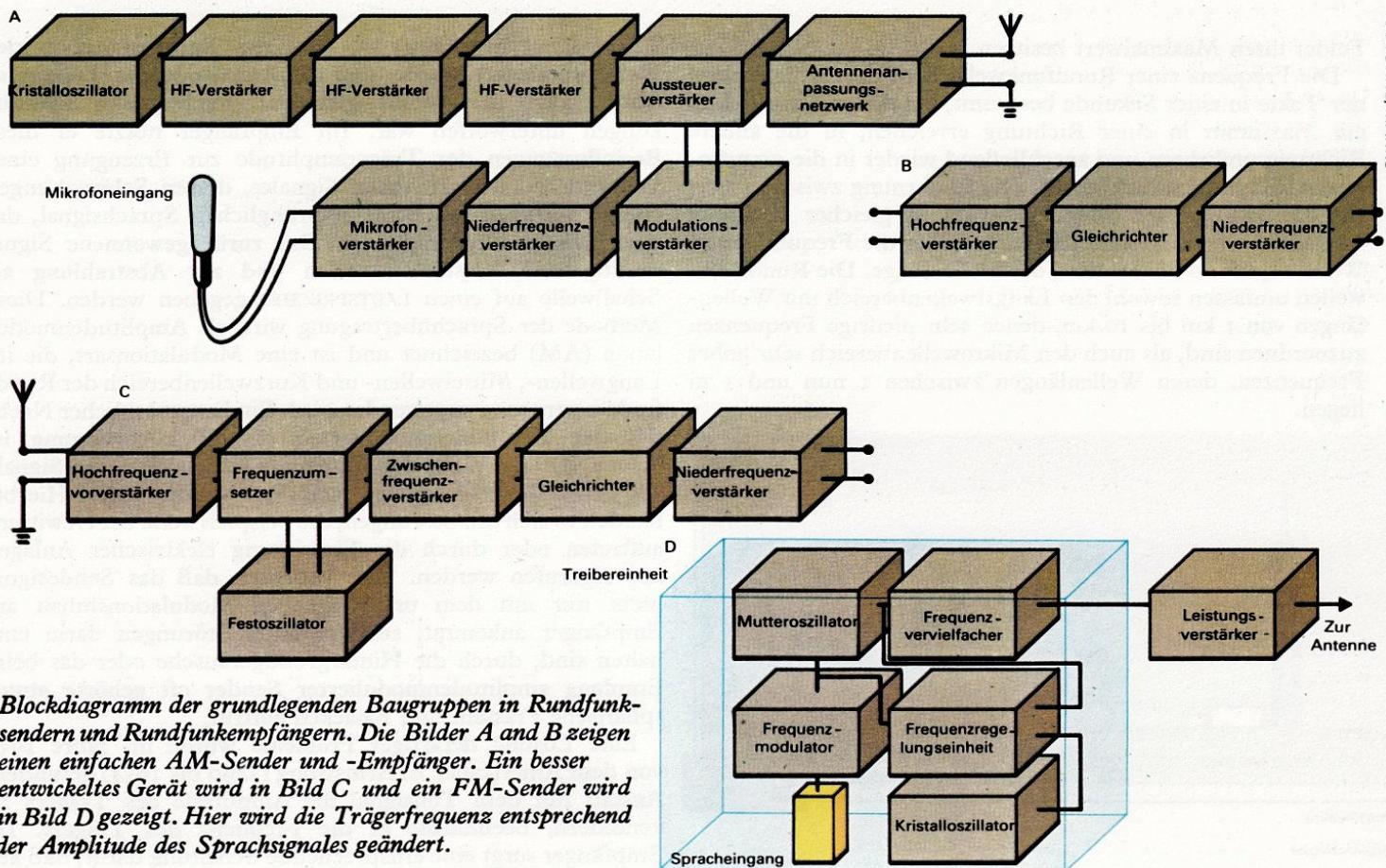
Fessenden benutzte ein kontinuierliches Signal — als

Trägersignal bezeichnet —, dem das Sprachsignal in der Weise überlagert wurde, daß die Amplitude des Trägers in Abhängigkeit der Änderungen des Sprachsignals Schwankungen unterworfen war. Im Empfänger nutzte er diese Beeinflussungen der Trägeramplitude zur Erzeugung eines sich ändernden elektrischen Signales, dessen Schwankungen ebenso verliefen wie beim ursprünglichen Sprachsignal, das dem Träger aufgeprägt war. Das zurückgewonnene Signal mußte dann verstärkt werden und zur Abstrahlung als Schallwelle auf einen LAUTSPRECHER gegeben werden. Diese Methode der Sprachübertragung wird als Amplitudenmodulation (AM) bezeichnet und ist eine Modulationsart, die im Langwellen-, Mittelwellen- und Kurzwellenbereich der Rundfunkübertragung angewendet wird. Ein hauptsächlicher Nachteil der amplitudenmodulierten Rundfunkübertragung ist jedoch, daß die Welle durch unerwünschte elektrische Signale auf dem Übertragungsweg moduliert werden kann. Hierbei handelt es sich um Störungen, die beispielsweise bei Gewittern auftreten oder durch die Einwirkung elektrischer Anlagen hervorgerufen werden. Dies bedeutet, daß das Sendesignal nicht nur mit dem ursprünglichen Modulationsinhalt am Empfänger ankommt, sondern auch Störungen darin enthalten sind, durch die Hintergrundgeräusche oder das beim Empfang amplitudenmodulierter Sender oft gehörte atmosphärische Prasseln und Knacken auftritt.

Eine Lösung derartiger Probleme wurde im Jahre 1939 von dem Amerikaner E. Armstrong (1890 bis 1954) gefunden. Anstatt mit dem Tonsignal die Amplitude des Trägers zu verändern, beeinflußte er die Frequenz des Trägers. Im Empfänger sorgt eine entsprechende Schaltung dafür, daß aus den Frequenzänderungen das Tonsignal zurückgewonnen

wird. Diese Modulationsart wird als Frequenzmodulation (FM) bezeichnet.

Atmosphärische Störungen rufen nun Amplitudenschwankungen des frequenzmodulierten Signales hervor. Da aber die Empfängerschaltung nur auf Frequenzänderungen anspricht, haben Amplitudenschwankungen keine Auswirkung auf das wiederzugebende Tonsignal. Der hauptsächliche Nachteil einer frequenzmodulierten Schwingung liegt in dem weitaus größeren Bandbreitebedarf, der zur Übertragung eines gegebenen Signales gegenüber dem Zweiseitenband einer amplitudenmodulierten Schwingung erforderlich wird. Im VHF- und UHF-Bereich (VHF = Very High Frequency = Hoch-



**Blockdiagramm der grundlegenden Baugruppen in Rundfunksendern und Rundfunkempfängern. Die Bilder A und B zeigen einen einfachen AM-Sender und -Empfänger. Ein besser entwickeltes Gerät wird in Bild C und ein FM-Sender wird in Bild D gezeigt. Hier wird die Trägerfrequenz entsprechend der Amplitude des Sprachsignals geändert.**

frequenz — 30 MHz bis 300 MHz, UHF = Ultra High Frequency = Höchstfrequenz — 300 MHz bis 3000 MHz) steht jedoch sehr viel mehr Raum zur Übertragung zur Verfügung; die Frequenzmodulation wird daher zumeist dort eingesetzt (siehe MODULATION).

### AM-Rundfunksender

Die wichtigste Bedingung für einen AM-Sender ist das Arbeiten auf einer stabilen Trägerfrequenz. Ist sie nämlich instabil, wird dem Rundfunkgerät schon senderseitig eine schwankende Empfangsqualität angeboten.

Eine hohe Stabilität erhält man durch einen Kristalloszillator. Dazu werden piezoelektrische Kristalle benutzt, von denen der Quarzkristall die bei weitem besten Eigenschaften besitzt. Die Schaltung der Quarzoszillatoren ist für diesen Zweck ähnlich aufgebaut wie die, die man in Quarzuhrn, bei denen die Frequenzstabilität ebenfalls von größter Wichtigkeit ist, findet. Als Ausgangsspannung liefert der Quarzoszillator eine Sinusschwingung, die über eine Reihe von Verstärkern auf eine hohe elektrische Leistung gebracht wird. Die Verstärker erfordern wegen der hohen Frequenzen, die sie verarbeiten müssen (von 30 kHz im niedrigen Frequenzbereich bis zu 30 MHz im VHF-Bereich), eine besondere Schaltung. Hat die Schwingung eine hohe Verstärkung erreicht, gelangt sie zu einem Aussteuerverstärker.

Das zu übertragende Nachrichtensignal wird zuerst in einem Niederfrequenzverstärker in seiner Amplitude erhöht und läuft dann auf den Modulationsverstärker. An dessen Ausgang erscheint die veränderte sinusförmige Trägerschwingung mit hoher Leistung, die im Modulationsverstärker in Abhängigkeit der augenblicklichen Größe der Nachrichtenspannung beeinflußt wurde. Das AM-Signal durchläuft danach ein Anpassungsnetzwerk und gelangt zur Abstrahlung an die Antenne.

Das Ergebnis des oben beschriebenen Ablaufes ist eine amplitudenmodulierte Schwingung nach dem Zweiseiten-

bandverfahren (DSB = double sideband). Dies folgt aus der Art und Weise, in der die Nachricht und der Träger miteinander kombiniert werden — üblicherweise durch eine Multiplikation. Im allgemeinen erzeugt die multiplikative Verknüpfung einer Sinusschwingung (Frequenz  $f_1$ ) mit einer anderen (Frequenz  $f_2$ ) eine Schwingung, die die Summe ( $f_1 + f_2$ ) und die Differenz ( $f_1 - f_2$ ) der beiden beteiligten Frequenzen enthält. Besteht das Nachrichtensignal aus mehreren Frequenzen, wie z.B. bei der Sprache, enthält das resultierende AM-Signal die ursprüngliche Trägerfrequenz  $f_T$  mit zwei Seitenbändern, die um diese Trägerfrequenz gruppiert liegen. Sind im Nachrichtensignal beispielsweise Frequenzen bis zu 4 kHz enthalten (typisch für Sprachsignale) und beträgt die Trägerfrequenz 100 kHz, benötigt man eine gesamte Bandbreite von 8 kHz symmetrisch um die 100 kHz Marke, also ein Frequenzband von 96 kHz bis 104 kHz. Die Anteile seitlich der Trägerfrequenz nennt man Seitenbänder. Damit erhält man eine gewisse Redundanz, weil die eigentliche Information zweifach auftritt, nämlich in jedem Seitenband. Die Übertragungsbandbreite ist doppelt so breit wie sie eigentlich sein müßte. Dort, wo sich in den Frequenzbändern viele Sendesignale befinden, z.B. im LF- (Low Frequency = Langwelle — 30 kHz bis 300 kHz) und im VHF-Bereich, wird damit eine unnötige Verschwendungen des zur Verfügung stehenden Frequenzraumes betrieben.

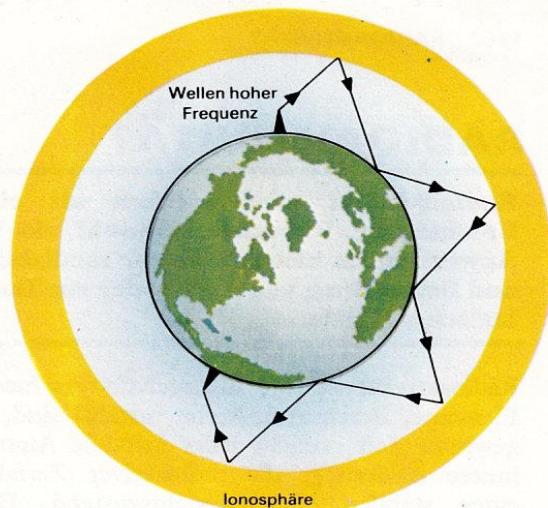
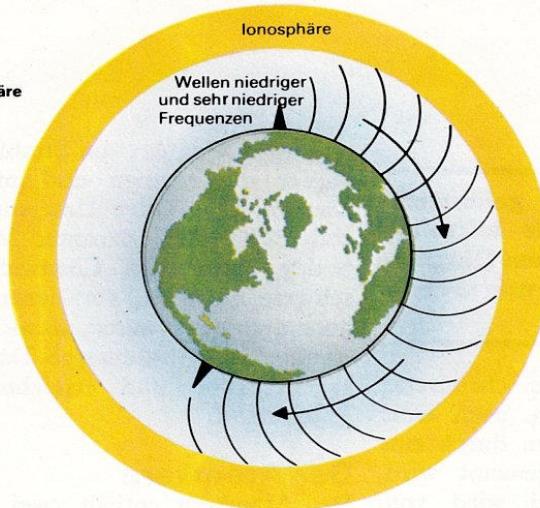
Aus diesem Grunde filtert man in einigen Fällen eines der Seitenbänder heraus und arbeitet nach dem Einseitenbandverfahren (SSB = Single Sideband).

### AM-Empfänger

Der Radioempfänger muß jedes beliebige Programm von verschiedenen Rundfunksendern empfangen können. Das heißt, er muß eine bestimmte Trägerfrequenz mit den Seitenbändern auswählen und verarbeiten können, wobei alle weiteren Frequenzen ausgeschlossen werden sollen. Vor der Rückgewinnung der Nachricht aus dem Sendesignal ist es notwendig, das

Rundfunkwellen niedriger und sehr niedrige Frequenzen können sich im Bereich zwischen der Erdoberfläche und der Ionosphäre gut ausbreiten. Dieser Bereich wirkt auf sie wie ein natürlicher Wellenleiter. Kurzwellige, also hochfrequente Wellen bis zu 30 MHz werden zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche um den Erdball reflektiert.

FRANK KENNARD



Antennensignal zu verstärken. Hierzu benötigt man einen Hochfrequenzverstärker. Als nächstes wird das Gesamtsignal durch einen Gleichrichterkreis demoduliert (Demodulation = Wiedergewinnung der Nachricht). Die sich ergebende niederfrequente Information wird in einem Niederfrequenzverstärker verstärkt.

Die Anwahl der Senderfrequenz erfolgt in der Vorverstärkerstufe vor dem Demodulator. Man erreicht die Frequenzabstimmung durch einen Resonanzkreis, dessen Resonanzfrequenz mit einem veränderlichen KONDENSATOR abgestimmt werden kann.

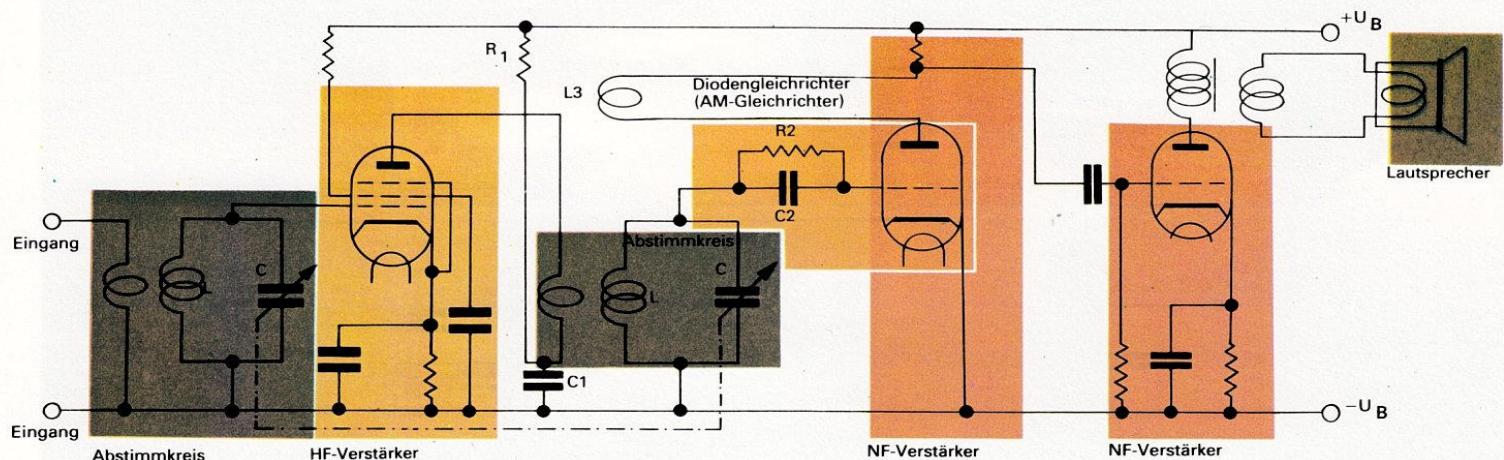
Wegen der Vielfalt der Rundfunksender besonders im unteren Frequenzbereich ist die Selektivität der abstimmbaren Schaltkreise wichtig, wenn man eine hochwertige Wiedergabequalität berücksichtigen möchte. Einige Systeme arbeiten nach dem oben beschriebenen einfachen Prinzip: zwei oder mehr Resonanzkreise sind miteinander über Verstärkerstufen verkoppelt. Sie werden einzeln mit abstimmbaren Kondensatoren eingestellt, ihre Einstellung erfolgt aber zur leichteren Handhabung mit einem auf alle Kondensatoren wirkenden Bedienungselement.

Ein anderes weit verbreitetes Verfahren besteht darin, die

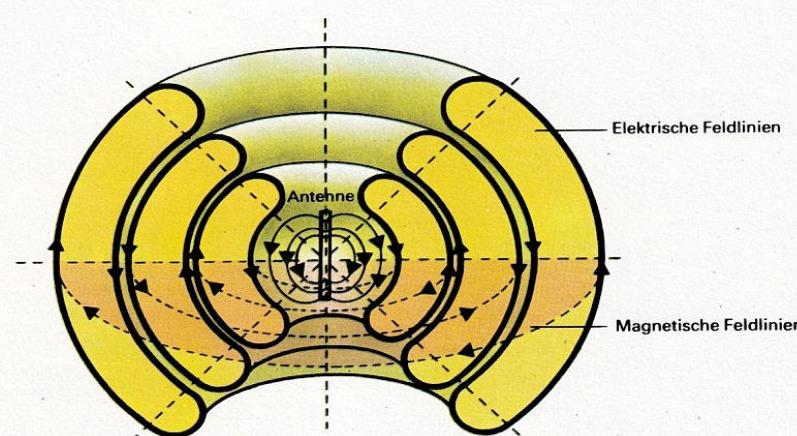
Frequenzen des gewünschten Bereiches grob auszuwählen und sie dann in einen anderen Bereich des Frequenzspektrums umzusetzen — man spricht hier von Zwischenfrequenzverfahren (ZF-Verfahren). Grundlage hierfür ist das Überlagerungsprinzip, bei dem zwei Sinusschwingungen zur Erzeugung einer Schwebung miteinander gemischt werden. Dieser Empfängertyp wird als Superhet oder Überlagerungsempfänger bezeichnet.

Das Überlagerungsprinzip ist einfacher zu handhaben als eine Abstimmung der gesamten Schaltung auf die Trägerfrequenz; denn es ist günstiger, die Trägerfrequenz zu wechseln und die neue Frequenz unabhängig vom eingestellten Sender immer beizubehalten. Man kann dann nämlich mit fest abgestimmten Schwingkreisen arbeiten. Die Schaltung läßt sich so auslegen, daß sich die bestmöglichen Charakteristiken einstellen.

Im Ausgang der Mischstufe wird das umgesetzte Zwischenfrequenzsignal ausgefiltert, das anschließend einen Zwischenfrequenzverstärker durchläuft. Von dort gelangt es zu einem Hochfrequenzgleichrichter, der das niederfrequente Signal aus dem ZF-Signal heraustrennt. Die weitere Signalverarbeitung ist die gleiche wie beim vorigen Prinzip.



Schaltbild eines einfachen AM-Empfängers. Der Antenneneingang ist über einen Transformator mit den beiden ersten Abstimmstufen gekoppelt. Das 'angenommene' Signal geht zum HF-Verstärker und dann zu einem zweiten Abstimmkreis. Das Signal besitzt eine genügend große Amplitude zur Gleichrichtung durch eine Diode in einer Hochfrequenzgleichrichterschaltung ( $R_2$ ,  $C_2$  und Gitterschaltung).



## RADIOAKTIVITÄT

**Radioaktivität wird vielfach als eine gefährliche Erscheinung betrachtet, obwohl sie viele hilfreiche Anwendungen bietet, etwa zur medizinischen Diagnose und Behandlung von Krebs oder zur Datierung archäologischer Funde.**

Radioaktivität ist eine Eigenschaft verschiedener chemischer Elemente, deren Atomkerne instabil sind, d.h. nach einer gewissen Zeit erreicht jeder instabile Atomkern durch eine innere Änderung, die radioaktiver Zerfall genannt wird, einen stabilen Gleichgewichtszustand. Dabei wird vom Atomkern Energie abgegeben, die im Vergleich zu der bei chemischen Reaktionen der gleichen Stoffmenge umgesetzten Energie sehr groß ist. Der Mechanismus, über den diese Energie freigesetzt wird, ist jedoch von der Energieabgabe einer chemischen Reaktion grundsätzlich verschieden.

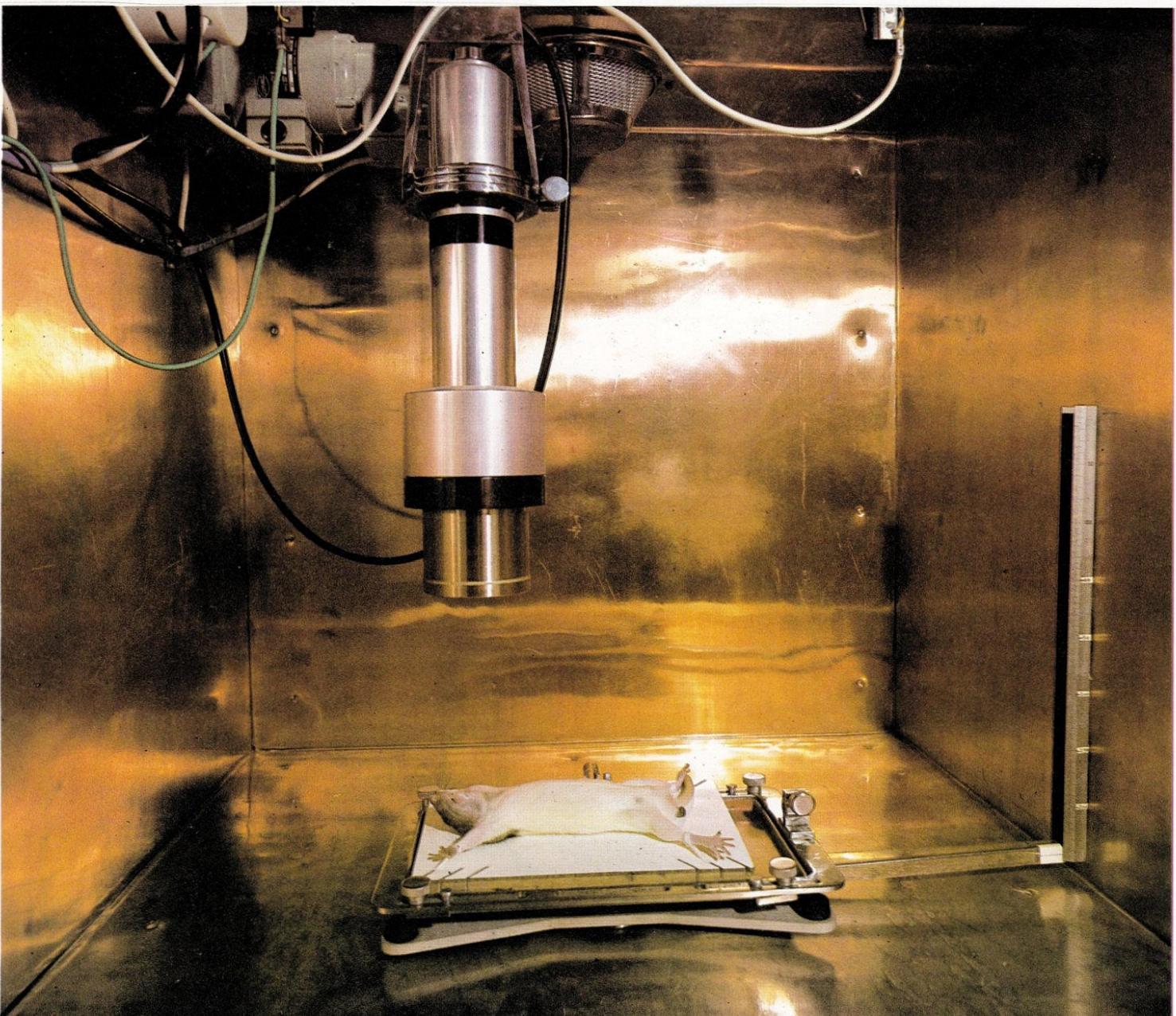
Die Radioaktivität wurde im Jahre 1897 von dem französischen Physiker H. Becquerel (1852 bis 1908) während seiner Untersuchung der Fluoreszenz entdeckt: Nicht entwickelte und in schwarzem Papier verpackte Fotoplatten zeigten die gleichen Erscheinungen wie bei Belichtung durch sichtbares oder ultraviolettes Licht (oder auch durch die kurz zuvor von Röntgen entdeckten 'Röntgen-Strahlen'), wenn sie in der Nachbarschaft von Verbindungen des schweren Elements Uran lagen. Bechquerel zog daraus die richtige Folgerung,

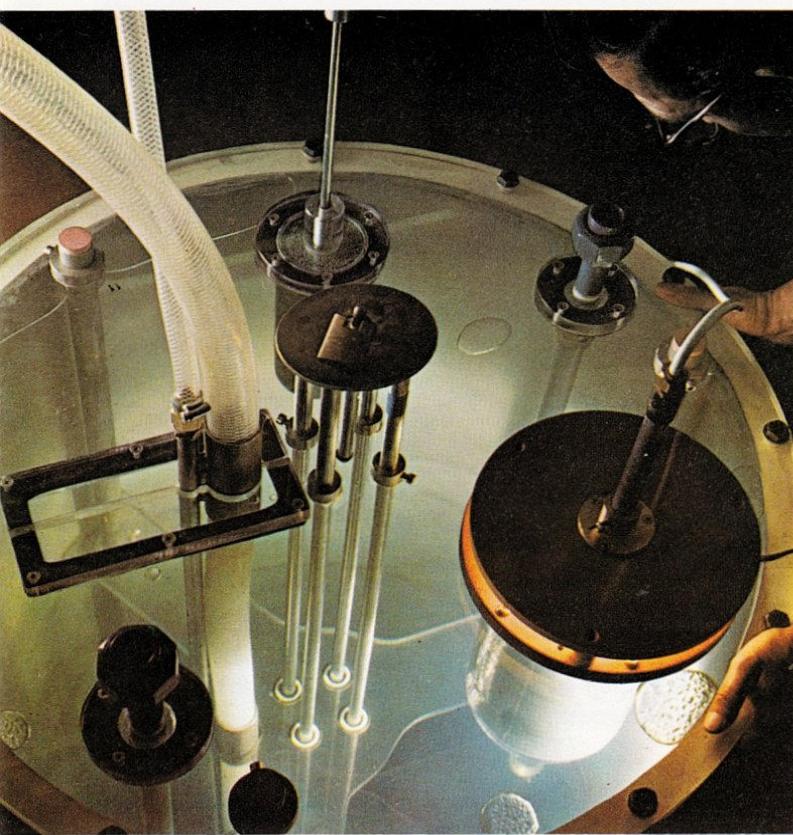
dass irgendeine Art von Strahlung aus dem Uran komme, das Papier durchdringe und mit der fotoaktiven Emulsion reagiere. Sorgfältige Untersuchungen durch Becquerel und andere Forscher, darunter Marie und Pierre Curie, Joliot, Soddy, Rutherford, Chadwick und Geiger enthüllten viele schwere Elemente, von denen einige wegen ihrer Seltenheit noch unbekannt waren, als nicht stabil. Diese Elemente gaben energiereiche Strahlung ab. Dabei änderten sie ihre chemischen Eigenschaften und erreichten schließlich einen stabilen Endzustand.

### Der Atomkern

Der Atomkern enthält zwei Arten von Elementarteilchen: Protonen und Neutronen (siehe ATOME UND MOLEküLE). Jedes Proton trägt eine positive Elementarladung. Da durch elektrostatische Anziehung ebenso viele Elektronen gebunden werden können, wie der Atomkern Protonen enthält, bestimmt die Zahl der Protonen alle chemischen Eigenschaften des Atoms; sie wird Ordnungszahl Z genannt. Sie reicht von eins für Wasserstoff — einschließlich der 'Isotope' (Atome gleicher Ordnungszahl) Deuterium und Tritium — bis 92 für Uran und kennzeichnet jedes Element. Die Neutronen sind elek-

**Unten:** Versuche auf dem Gebiet der Strahlenbiologie und des Strahlen-Gesundheitswesens werden an Tieren — hier im Bild an einer Ratte — ausgeführt.





**Oben:** Ein Californium-252-Gerät, das zu der Analyse der Radioaktivität benutzt wird.

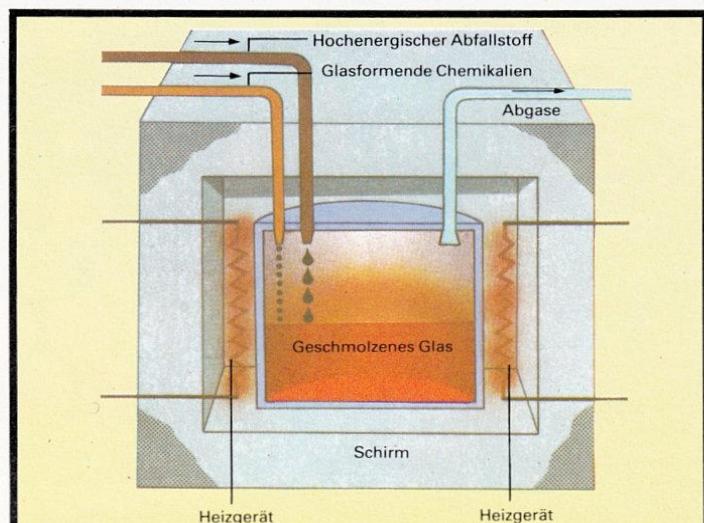
trisch neutral und beeinflussen daher nicht die chemischen Eigenschaften des Atoms. Die Zahl der Neutronen variiert von Null im üblichen Wasserstoff (Deuterium hat ein und Tritium zwei Neutronen) bis zu 146 im schwersten, natürlich vorkommenden Uran-Isotop.

Die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen im Atomkern wird Massenzahl  $M$  genannt und zur Kennzeichnung hinter den Namen bzw. das Symbol des Elements geschrieben. So ist  $^{14}_6\text{C}$  das Kohlenstoff-Isotop mit sechs Protonen und acht Neutronen. Nur einige Kombinationen von  $M$  und  $Z$  führen zu stabilen Atomkernen. Enthält ein Kern zu viele oder zu wenige Neutronen, wird er früher oder später radioaktiv zerfallen und über einen oder mehrere Tochterkerne in ein stabiles Element übergehen. Der Grad der Instabilität wird durch die beim Zerfall freigesetzte Energie und die Zerfallsrate gekennzeichnet. Letztere wird durch die 'Halbwertszeit' angegeben, d.h. die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist. Die Halbwertszeiten instabiler Atome reichen von Bruchteilen einer Sekunde bis zu Millionen von Jahren. Beim radioaktiven Zerfall unterscheidet man verschiedene Zerfallsarten.

### Alpha-Zerfall

Von Kernen, die für einen stabilen Kernzustand zu schwer sind, wird ein 'Alpha-Teilchen' ausgesandt, das aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht (also einem Helium-4-Kern von der Struktur her gleich ist). Der neue Atomkern ist in  $M$  um vier und in  $Z$  um zwei Einheiten kleiner. Der Restkern steht im Periodensystem also um zwei Stellen tiefer (siehe CHEMIE). Alpha-Zerfall tritt gewöhnlich bei den schwersten, natürlich vorkommenden Elementen (z.B. Uran, Polonium und Radium) auf, führt aber nicht direkt, sondern über instabile Zwischenisotope zu stabilen Atomkernen.

Die emittierten Alpha-Teilchen haben bis zu fünf Millionen Elektronenvolt an Energie (Elektronenvolt — abgekürzt eV —

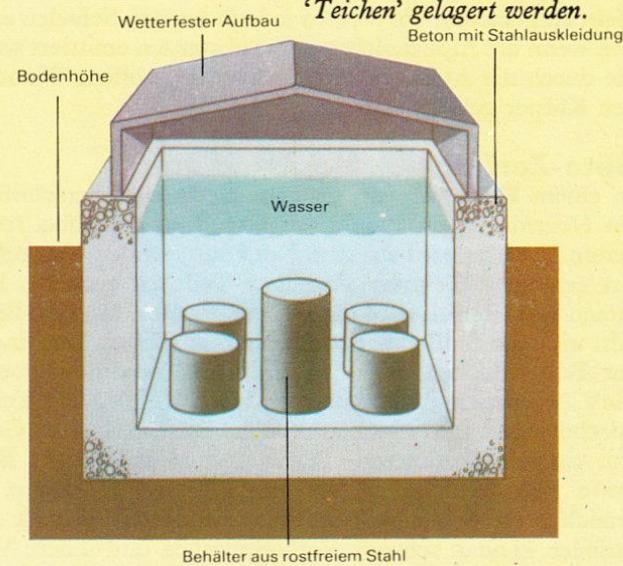


**Oben:** Querschnittzeichnung der Methode — noch im Versuchsstadium — hochenergischen, flüssigen Abfallstoff von 'Schnellen Brütern' in Glas zur größeren Sicherung gegen Radioaktivität einzuschmelzen.



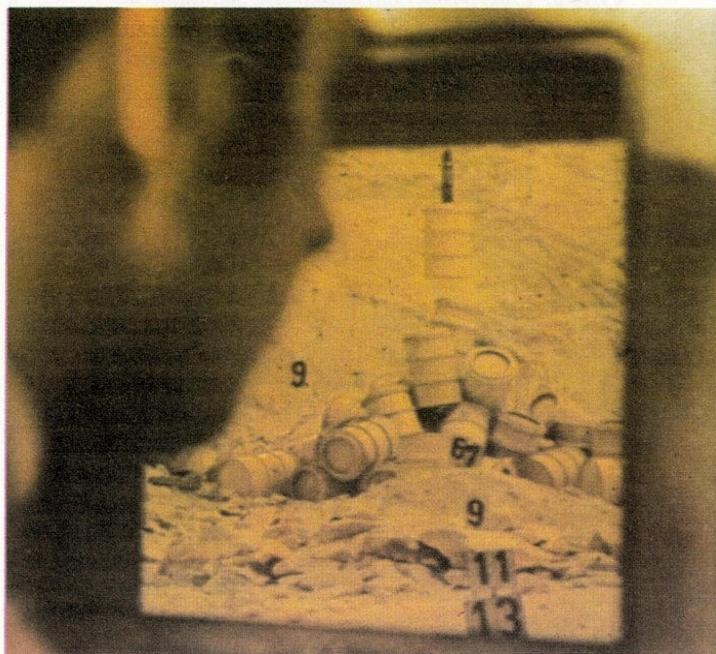
**Oben:** Ein Teil des glasigen Abfallstoffs mit Stahlummantlung.

**Unten:** Das Glas würde mit Stahl ummantelt und im Meeresboden verankert oder in künstlich angebauten 'Teichen' gelagert werden.



UKAEA

SARSON/BRYON



**Oben:** Niederwertiger Abfallstoff von Kernkraftwerken wird hier in dem Salzbergwerk Asse II abgelagert. **Links:** Mittlerwertiger Abfallstoff ist gefährlicher und darf nur ferngesteuert gelagert und überwacht werden.

längere Zeit im Innern des Körpers ausgestrahlt werden. Beta-Zerfall ist die häufigste Zerfallsart sowohl bei künstlich radioaktiven Substanzen wie auch bei Tochterkernen des Alpha-Zerfalls. Einige der künstlich radioaktiven Stoffe, die in Teilchenbeschleunigern erzeugt oder aus Spaltprodukten von Kernreaktoren gewonnen werden, haben eher einen Neutronenmangel als einen Neutronenüberschuss. Diese Substanzen zerfallen durch Emission eines Positrons (des positiv geladenen Antiteilchens zum Elektron). Dieses Positron reagiert meist unmittelbar mit einem der Elektronen und erzeugt die 'Vernichtungsstrahlung' von 0,51 MeV Energie, die in ihrer Art der Gamma-Strahlung (siehe unten) ähnlich ist. Positronen emittierende Isotope (etwa Technetium 147) werden in der medizinischen Diagnostik vielfach benutzt.

### Die Emission von Gamma-Strahlen

Gamma-Strahlung tritt stets dann auf, wenn durch den Beta-Zerfall nicht genug Energie abgegeben wurde, um einen stabilen Kernzustand zu erreichen. Viele natürliche und künstliche alpha- bzw. betaaktive Isotope emittieren Gamma-Strahlen. Sie sind, wie auch Licht oder die Röntgen-Strahlen, eine Form von elektromagnetischer Strahlung. Ihre Energie reicht von 0,15 MeV bis 2,5 MeV. Die Intensitätsschwächung der Gamma-Strahlung ist von der Energie der Strahlen und der Dichte des absorbierenden Materials abhängig; es gibt kein Material, das für diese Strahlung 'undurchsichtig' ist, wie etwa für Licht. Der Abschwächungsmechanismus von Gamma-Strahlen unterscheidet sich von dem Abschwächungsmechanismus für Alpha- und Beta-Teilchen. Fünf bis fünfzehn Zentimeter dicke Bleischichten oder bis zu drei Meter dicke Betonwände können notwendig sein, um sich vor der Strahlung hochenergetischer Gamma-Quellen zu schützen. Starke äußere Gamma-Strahlung kann schwere innere Verletzungen des Körpers verursachen. Sie kann jedoch keine Radioaktivität induzieren.

Andere Arten des radioaktiven Zerfalls sind die innere Konversion, bei der eine Umordnung im Atomkern zur Emission von Röntgen-Strahlung führt, und der Elektronen-Einfang, wobei ein Kern mit Protonenüberschuss ein Elektron aus einer der inneren Elektronenschalen desselben Atoms einfängt und damit ein Proton in ein Neutron umwandelt. Dabei werden Röntgen-Strahlen emittiert.

ist die in Atom- und Kernphysik übliche Energieeinheit;  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Ws}$ ; siehe TEILCHENBESCHLEUNIGER). Die Alpha-Teilchen sind jedoch so groß, daß ihre Reichweite in der Luft nur einige Zentimeter beträgt. Sie werden durch ein Blatt Papier oder die äußersten Schichten der menschlichen Haut aufgehalten. Sie können jedoch ernsten Schaden anrichten, wenn die Alphateilchen von Substanzen emittiert werden, die durch die Atmungsorgane oder durch offene Wunden in den Körper gelangt sind.

### Beta-Zerfall

In einem Kern mit sehr großem Neutronenüberschuss wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt; das dabei freiwerdende Elektron wird aus dem Kern ausgestoßen. Ein auf diese Art erzeugtes Elektron wird Beta-Teilchen genannt. Durch diesen Beta-Zerfall wird die Ordnungszahl Z um eine Einheit, d.h. um eine Stelle im Periodensystem erhöht. Die Energien der Beta-Teilchen liegen in der Größenordnung von 0,02 MeV (Millionen Elektronenvolt) bis 5,3 MeV. Die Teilchen durchdringen Luftsichten von mehreren Metern, Gewebe von einigen Zentimetern Dicke und Metalle sowie Kunststoffe von wenigen Millimetern Dicke (die daher einen brauchbaren Schutz gegen diese Strahlung bieten). Beta-Strahlen können schwere Verbrennungen und innere Verletzungen hervorrufen. Letzteres besonders dann, wenn sie

## RADIOTELESKOP

Radioteleskope werden zum Studium der Quasare benutzt, die zu den am weitesten von uns entfernten Himmelskörpern gehören. Außerdem untersucht man mit Radioteleskopen die Radiowellen-Strahlung aus dem Weltraum, die uns Aufschluß über die Ursprünge des Universums geben kann.

Astronomische Objekte geben nicht nur sichtbares Licht ab, das wir normalerweise mit Sternen und anderen Himmelskörpern in Verbindung bringen, sondern auch alle anderen Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung, von den Gammastrahlen bis zu Radiowellen. Aus diesem Spektrum können nur optische und Radiowellen die Erdoberfläche ungehindert erreichen, weil Wellen einer Wellenlänge, die größer als die von Radiowellen ist, von der Ionosphäre (einer höheren Schicht der Atmosphäre) reflektiert werden, während die anderen Wellen von den niedrigeren Schichten der Atmosphäre stark absorbiert werden. An der Erdoberfläche gibt es daher zwei 'Fenster' für astronomische Beobachtungen: Optische TELESCOPE nutzen das eine und Radioteleskope das andere dieser Fenster.

Die in Form von Radiowellen empfangene Energie aus dem All ist äußerst klein: Die gesamte, seit Beginn der Radioastronomie von allen Radioteleskopen aufgenommene Strahlungsenergie ist geringer als die Energiemenge, die man braucht, um eine Taschenlampe für ein Millionstel einer Sekunde zu betreiben. Um Störungen durch Rundfunk- und

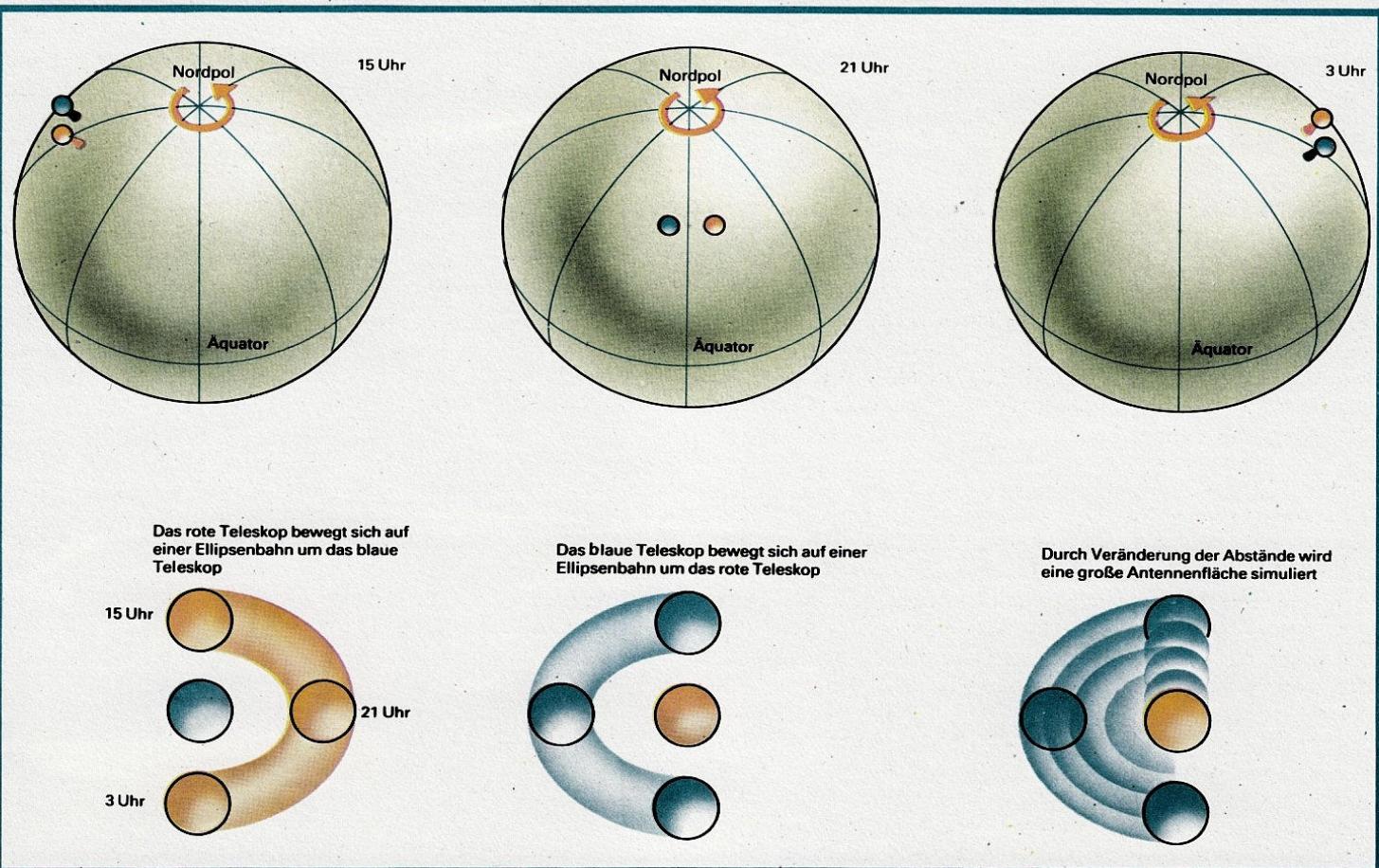
*Die Simulierung einer größeren Antennenfläche durch Kombination zweier kleinerer Teleskopantennen. Die Teleskopbewegungen sind aus der Sicht des beobachteten Objekts dargestellt. Innerhalb von 12 Stunden bewegt sich auf einer elliptischen Bahn das eine Teleskop um das andere.*

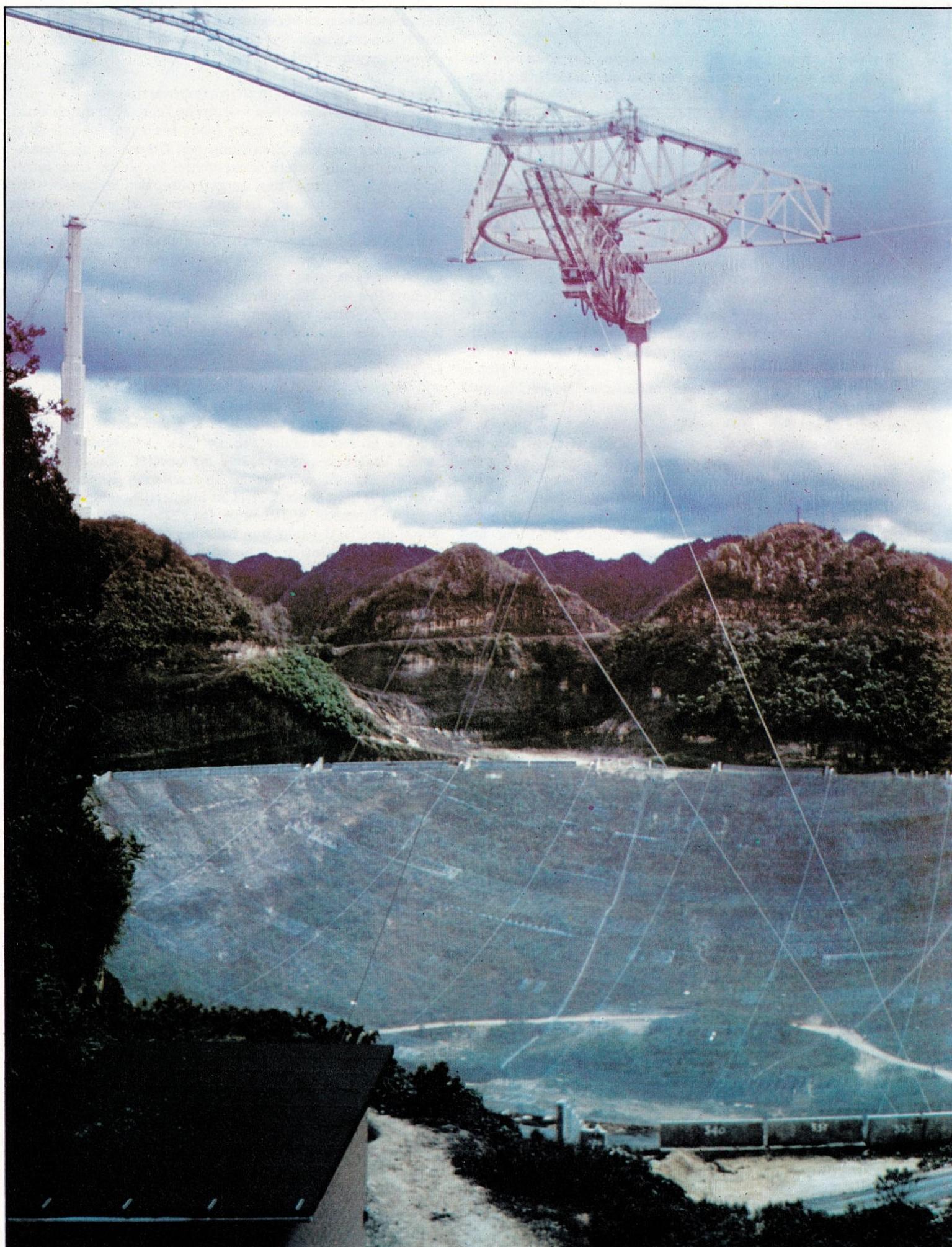
Fernsehstationen zu vermeiden, sind gewisse Frequenzbänder durch internationale Vereinbarungen ausschließlich für die Radioastronomie vorgesehen.

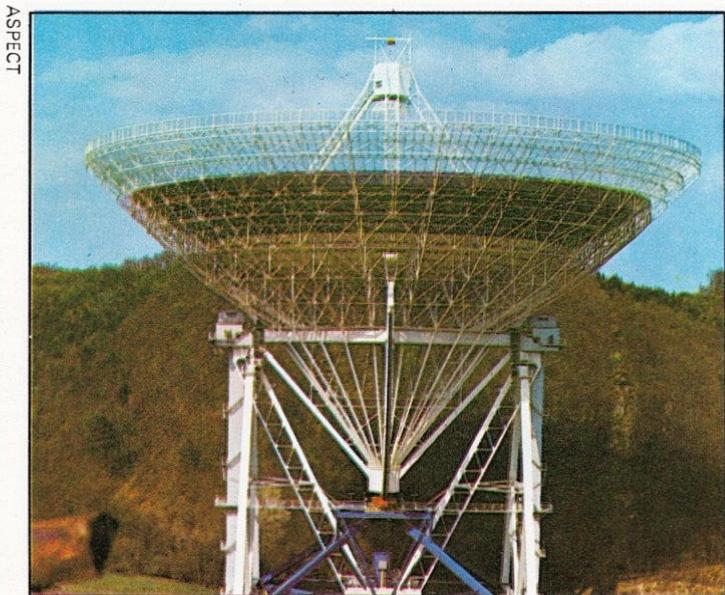
### Geschichte der Radioastronomie

Außerirdische Radiowellen wurden im Jahre 1932 durch einen Zufall entdeckt, als K. Jansky (1905 bis 1950) im US-Staat New Jersey die Einfallrichtung von Strahlung im Zusammenhang mit Gewittern untersuchte. Er stellte eine Interferenzquelle (Störung) fest, die gegenüber den Sternen ortsfest blieb, sich also mit der Drehung der Erde zu verschieben schien. Der Ursprung der Strahlung lag in der Nähe des Sternbildes Schütze, wo sich das Zentrum unserer Galaxie (der Milchstraße) befindet. Weitere Arbeiten des Amerikaners G. Reber (geb. 1911) zeigten, daß die gesamte Milchstraße Radiowellen im Wellenlängenbereich von einigen Metern aussendet. Reber veröffentlichte Konturkarten, um die Intensität der Strahlung aus verschiedenen Bereichen des Raumes darzustellen (die Darstellung ähnelt Landkarten mit Höhenschichtlinien, jedoch mit Intensitätsmaxima anstelle von Bergen). Solche Karten werden auch heute noch zur Darstellung radioastronomischer Ergebnisse benutzt.

Als die Nachricht über Rebers Arbeiten Holland erreichte, regte sie H. van de Hulst (geb. 1918) zu Überlegungen an, die zu der Vorhersage führten, daß der neutrale Wasserstoff H I (der Wasserstoff existiert im interstellaren Raum in zwei Formen: H I ist neutral, H II ist ionisiert) Strahlung bei einer ganz bestimmten Wellenlänge (21,1 cm) aussenden sollte. Wenn diese 'H I-Linie' nun bei einer etwas anderen Wellenlänge auftritt, läßt sich daraus schließen, daß die Wasserstoffwolke, die die Strahlung aussendet, sich von der Erde entfernt oder sich auf die Erde zu bewegt. Die Wellenlänge wird dann nämlich durch den DOPPLEREFFEKT verändert, der auch bei Schallwellen auftritt und beispielsweise dazu führt, daß die Tonhöhe einer schnell bewegten Pfeife abnimmt, wenn sie sich vom Zuhörer weg bewegt. Die Verschiebung der Wellen-







**Oben:** Das voll steuerbare Radioteleskop von Effelsberg. Die Teleskopantenne hat einen Durchmesser von 100 m.

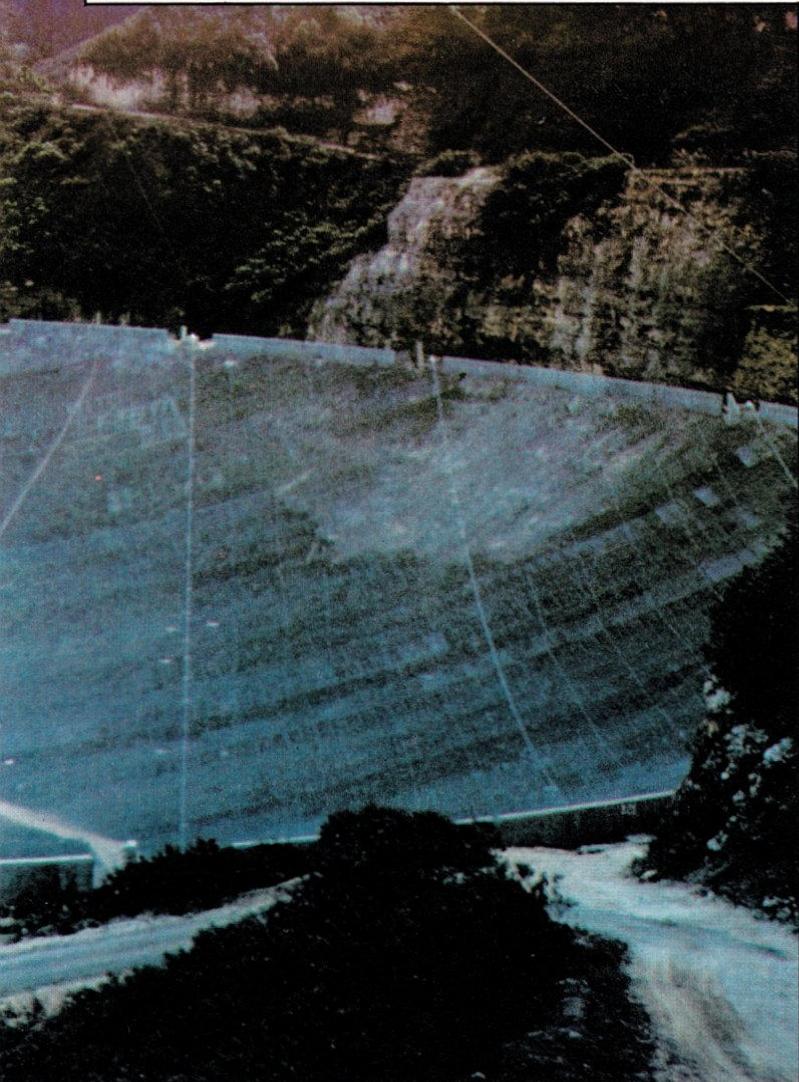
**Links:** Fünf der acht Antennen von 13 m Durchmesser, die zum 5 km langen Interferometer von Cambridge gehören. Die drei hinteren Teleskopantennen können auf speziell angelegten Schienen hin- und hergefahren werden. **Ganz links:** Die Arecibo-Antenne hat einen Durchmesser von 300 m. Die Antenne ist mit einem Drahtnetz ausgelegt und reflektiert Radiowellen, deren Wellenlänge über der Maschenweite des Netzes liegt. Die Empfangsantenne (Dipolantenne) befindet sich in dem Gehäuse, das über der Mitte der Teleskopantenne hängt. Sie kann durch geringe Verschiebungen verschiedene Einfallsrichtungen beobachten.

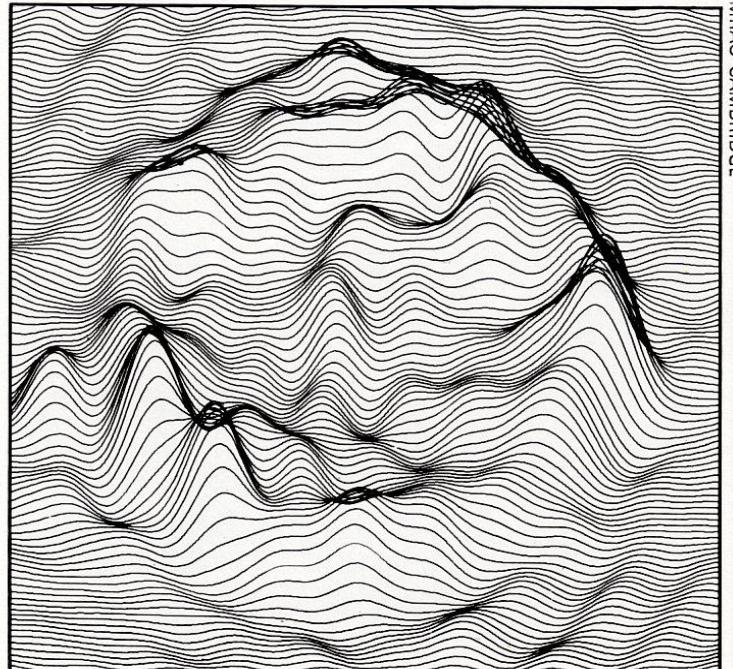
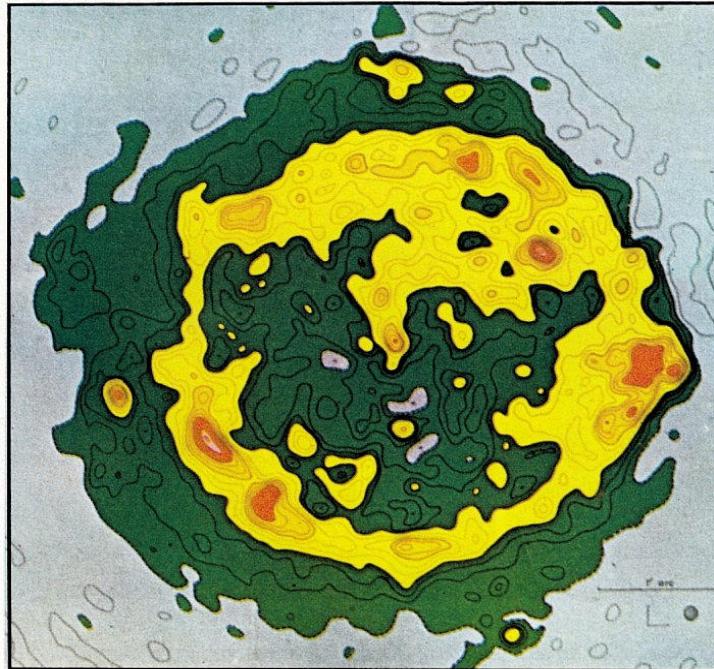
länge ergibt direkt die Geschwindigkeit der Wasserstoffwolke. Deshalb ist die H I-Spektroskopie ein sehr wertvoller Zweig der Radioastronomie, die sehr klar von der Untersuchung der 'Kontinuumstrahlung' (alle Frequenzen), wie sie von Jansky und Reber begonnen wurde, zu unterscheiden ist. Beide Bereiche der Radioastronomie haben jedoch nur durch die ständige Weiterentwicklung der als Detektoren benutzten Radioteleskope weitere Fortschritte gemacht.

Jedes Radioteleskop besteht aus drei wichtigen Teilen: Zunächst braucht man eine Antenne, die die Radiowellen empfängt und in elektrische Signale umwandelt. Danach gibt ein Verstärker dem sehr schwachen Signal die notwendige Energie, um auf dem dritten Teil, der Ausgabe-Einheit, eine Darstellung des Resultats oder eine digitale Aufzeichnung auf Magnetband oder Lochstreifen für eine spätere Auswertung zu ermöglichen.

### Antennen

Die ANTENNE eines Radioteleskops kann viele verschiedene Formen haben. Die einfachste Lösung besteht in der Benutzung einer großen Zahl von kleinen Dipolantennen (ähnlich den Fernsehantennen), die auf einer gewissen Fläche ausgetragen und elektrisch verbunden werden. Der geläufigste Antennentyp ist jedoch die 'Teleskopantenne', meist in Form einer Parabolantenne, bei der die Radiowellen in den Brennpunkt eines großen konkaven Metallspiegels reflektiert und dort mit einer einfachen Dipolantenne nachgewiesen werden. Das größte, voll steuerbare Radioteleskop der Welt (mit einer Antenne von 100 m Durchmesser) steht in Effelsberg in der Eifel. Eine nicht bewegliche Teleskopantenne von 300 m Durchmesser wurde in einer Bodensenke in Arecibo (Puerto Rico) aufgebaut, mit der man nur Radioquellen aufnehmen





MRAO CAMBRIDGE

*Zwei Darstellungsmethoden der gleichen Resultate. Links sieht man die Konturenkarte der Überreste eines explodierten Sternes. Die stärkste Strahlung kommt aus den rot markierten Zonen. Das Bild rechts zeigt eine Serie von 'Schnitten' durch dasselbe Objekt.*

kann, die nahezu senkrecht darüber stehen.

Zwei Gründe sind entscheidend dafür, daß man Antennen mit möglichst großer Fläche baut. Erstens kann eine große Antenne mehr Strahlungsenergie von der beobachteten Quelle aufnehmen und ist deshalb empfindlicher, zweitens hängt die 'Auflösung' (das kleinste noch erkennbare Detail) jedes Teleskops von dem Verhältnis von Wellenlänge der Strahlung zu Durchmesser des Teleskops ab. Radiowellen haben eine so viel größere Wellenlänge als Lichtwellen, daß ein Radioteleskop mit der gleichen Auflösung wie ein großes optisches Teleskop einen Durchmesser von mehreren Kilometern haben müßte. Solche Teleskopantennen lassen sich nicht bauen, aber die Wirkung eines großen Teleskops kann durch elektrische Kombination der Resultate einer Reihe kleinerer Teleskope simuliert werden, wenn man damit eine Fläche bedeckt, die der Ausdehnung des (fiktiven) großen Teleskops entspricht. Die einfachste Anordnung für diese Zwecke besteht aus einer Reihe von Teleskopen entlang einer Ost-West-Linie, so daß die Drehung der Erde für eine Bewegung einer Antenne gegenüber einer anderen auf einer elliptischen Bahn sorgt, wenn man die Anordnung von einem festen Punkt außerhalb der Erde betrachtet. Die größte Anlage dieser Art ist fünf Kilometer lang und befindet sich in Cambridge, England. Bei einer Wellenlänge von einigen Zentimetern läßt sich damit eine Auflösung erreichen, die optischen Teleskopen entspricht.

### Verstärker

Radioteleskope werden oft bei der höchstmöglichen Frequenz (also der kürzesten Wellenlänge) betrieben, weil man damit bei einer festen Antennengröße die höchste Auflösung erzielt. Die Fortschritte der Radioastronomie hingen stark von der Entwicklung elektronischer Verstärker ab, die in diesem Bereich höchster Frequenzen (bis zu mehreren Gigahertz; 1 GHz = eine Milliarde Schwingungen pro Sekunde) wirkungsvoll arbeiten. Es ist eine Reihe spezieller Verstärker (darunter einige, die einen Maser, das dem Laser entsprechende Gerät für Radiowellen, benutzen) gebaut worden. Ein

geeigneter Apparat dieser Art wird gewöhnlich im Brennpunkt der Teleskopantenne aufgestellt, um als Vorverstärkerstufe für das sehr schwache Signal zu dienen, ehe es über ein Kabel zum Hauptverstärker gelangt, der mehrere Hundert Meter entfernt stehen kann. Der Vorverstärker setzt das Signal auch in eine niedrigere Frequenz um, weil dann die Dämpfung (Abschwächung) bei der Übertragung durch das Kabel kleiner wird und der Hauptverstärker ein konventionelles Transistorgerät sein kann.

### Ausgabevorrichtungen

Die Ausgabevorrichtung kann im einfachsten Falle ein Papierschreiber sein, bei dem die Auslenkung der Schreibfeder die Stärke der Strahlung aus verschiedenen Teilen einer Quelle angibt, wenn das Teleskop sie überstreicht. Werden mehrere Teleskope kombiniert, muß man zwölf Stunden lang messen, bis man ein vollständiges Bild der untersuchten Quelle erhält. Die einzelnen Messungen werden gespeichert und nach Beendigung der Beobachtungsperiode in einer Rechenanlage verarbeitet, die schließlich die Daten zum Zeichnen einer Konturenkarte (auf einem Plotter) liefert.

Bei einem Teleskop, das zur Beobachtung der neutralen Wasserstofflinie (Wellenlänge 21,1 cm) dient, wird das empfangene Signal durch eine elektronische Vorrichtung (ein 'Spektrometer') in verschiedene Frequenzen zerlegt, denen jeweils Wasserstoffwolken verschiedener Geschwindigkeit entsprechen. Das Resultat, die Intensität für jedes Frequenzintervall, kann wieder als Konturenkarte dargestellt werden. Eine andere Darstellungsmethode besteht darin, für einen festen Ort am Himmel die Strahlungsintensität gegen die Frequenz aufzutragen. Damit lassen sich verschiedene Wasserstoffwolken identifizieren, die sich entlang derselben Sichtlinie in unterschiedlicher Entfernung befinden und sich in der Geschwindigkeit etwas unterscheiden.

Eine neuere Entwicklung der Radioastronomie hat zur Interferometrie mit sehr großem Basisabstand geführt: Zwei Radioteleskope auf verschiedenen Kontinenten, mehrere tausend Kilometer voneinander entfernt, beobachten gleichzeitig dieselbe Radiowelle; die Ergebnisse werden aufgezeichnet. Die Resultate werden später elektronisch kombiniert und als Interferenzfigur (siehe 'INTERFEROMETER') ausgewertet. Damit wird es möglich, Einzelheiten der Quelle mit einer Auflösung zu erkennen, die tausendmal besser als die Auflösung optischer Teleskope ist.

## RAKETEN

Raketen werden zu militärischen und friedlichen Zwecken eingesetzt. Sie tragen entweder Explosionskörper auf Ziele, die Tausende von Kilometer entfernt sind, oder dienen dazu, Menschen und wissenschaftliche Geräte in den Weltraum zu befördern.

Die Funktionsweise von Raketen beruht auf dem dritten Newtonschen Axiom. Es lautet: *actio = reactio* (Wirkung = Gegenwirkung), d.h. jede Kraft von Punkt A auf Punkt B tritt mit einer entgegengesetzten Kraft von Punkt B auf Punkt A gepaart auf.

Eine Rakete wird in Bewegung gesetzt, wenn ein Materiestrom (in der Regel ein Gas) mit maximaler Geschwindigkeit aus ihr austritt. Dadurch entsteht ein Impuls (das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit), der die Rakete in entgegengesetzte Richtung treibt. Ein typisches Beispiel dieses Prinzips kann man an einem gefüllten Luftballon beobachten, der nicht verschlossen ist. Die Luft tritt aus der Öffnung des Luftballons aus. Wegen des dritten Newtonschen Axioms fliegt der Luftballon entgegengesetzt zur austretenden Luft weg. Man spricht auch von dem Schub, der auf den Luftballon wirkt.

Eine Rakete benötigt keine Atmosphäre zum 'Fliegen', sondern sie bewegt sich unter dem Einfluß von Impulsen fort. Wird ein Ball unter einem gewissen Winkel fortgeschleudert, steigt er auf seiner Flugbahn so lange an, bis die ihn treibende Kraft gleich den entgegenwirkenden Kräften (Luftwiderstand, Gravitationskraft) geworden ist. Anschließend kehrt der Ball unter Einfluß der Gravitationskraft wieder zur Erde zurück. Die bei dem Flug des Balles durchlaufene Flugbahn nennt man auch eine ballistische Kurve. In gleicher Weise funktioniert eine Rakete. Sie wird unter Einwirkung des Schubes unter einem gewissen Winkel abgeschossen. Nachdem das Antriebsaggregat ausgebrannt ist, kehrt die Rakete aufgrund der Gravitationskraft wieder zur Erde zurück. Ist die Rakete mit einem Sprengstoff ausgerüstet, kann diese in kürzest möglicher Zeit von einem Punkt zu einem anderen Punkt der Erde befördert werden.

*Eine Titan/Centaur-Rakete, deren Typ dazu verwendet wurde, Viking 1 und 2 zum Mars zu befördern. Die Rakete ist 49 m hoch und besteht aus zwei Feststoffantriebsstufen.*





MOD

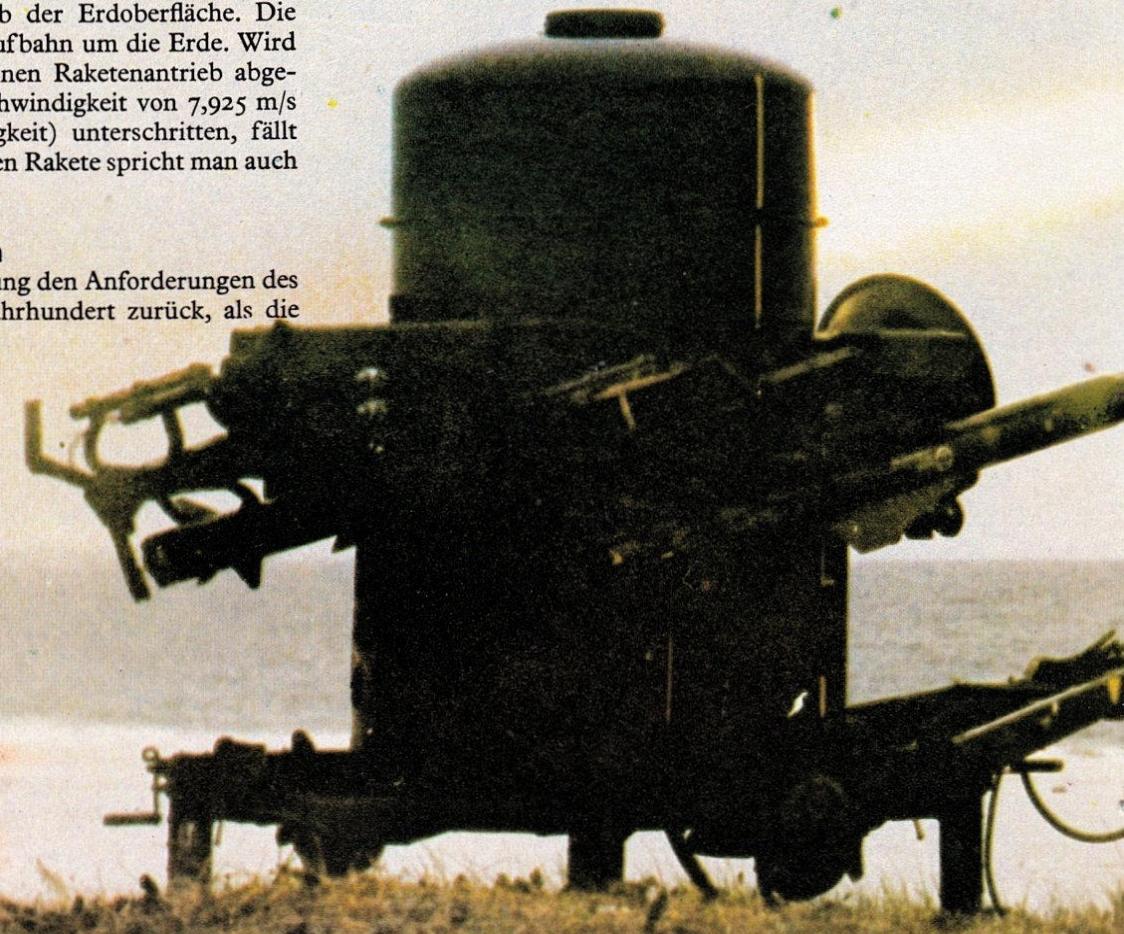
Je höher die Beschleunigung und die erreichte Endgeschwindigkeit einer Rakete sind, um so größer ist der Weg, den sie zurücklegen kann. War die Startgeschwindigkeit groß genug, 'fällt' sie dauernd oberhalb der Erdoberfläche. Die Rakete befindet sich in einer Umlaufbahn um die Erde. Wird sie durch äußere Einflüsse oder einen Raketenantrieb abgebremst, und wird die Mindestgeschwindigkeit von 7,925 m/s (sogenannte Kreisbahngeschwindigkeit) unterschritten, fällt sie zur Erde zurück. Bei einer solchen Rakete spricht man auch von einer Trägerrakete.

### Entwicklung der Raketen

Die Rakete verdankt ihre Entwicklung den Anforderungen des Krieges. Sie gehen auf das 13. Jahrhundert zurück, als die

**Rechts:** Die Boden-Luft-Kurzstreckenrakete BAC Rapier. Sie wird durch Steuerung über Radiosignale in ihr Ziel gebracht.

*Oben: Eine SS11 Panzerabwehr ракета wird von einem Scout Hubschrauber abgeschossen.*



Chinesen Raketen im Krieg gegen die Mongolen einsetzten. Beide Mächte verwendeten dann später Raketen gegen die Araber, die sie wiederum gegen französische Kreuzfahrer einsetzten. Auf diesem Wege kam die Rakete nach Frankreich, wo sie im Jahre 1429 gegen die Briten in Orleans eingesetzt wurde.

Das Interesse an Raketen verflachte in den folgenden vier Jahrhunderten, da man mit Kanonen genauer zielen konnte.

Im frühen 19. Jahrhundert schließlich setzte man sehr große Anstrengungen in den Bau von Kriegsraketen. Man entwickelte eine Granatfeuerwaffe für die Marine, Rettungsraketen und im Ersten Weltkrieg Raketen gegen angreifende Flugzeuge.

Das Zeitalter der modernen Raketen begann mit Konstantin E. Ziolkowski (1857 bis 1935), der im Jahre 1883 ein 'Raumschiff' mit Rückstoßantrieb vorstellte. Die UdSSR war im Jahre 1929 die erste Nation, die Raketenforschung — wenn auch für militärische Zwecke — betrieb. Angeregt durch die Ideen von Hermann Oberth (geb. 1894) wurde im Juli 1927 der Verein für Weltraumforschung gegründet. Nachdem Mitte der dreißiger Jahre das damalige deutsche Heereswaffenamt die Absicht äußerte, die Raketenforschung in eigener Regie zu übernehmen, wurde auch Wernher von Braun (1912 bis 1977) angeworben, auf dessen Initiative die erste ballistische Rakete — die 'Vergeltungswaffe 2' (V-2) — gebaut wurde. In den Vereinigten Staaten von Amerika leistete Robert H. Goddard (1882 bis 1945) — unabhängig von Ziolkowski und Oberth —

Pionierarbeit auf dem Gebiet der Raketenforschung.

Als in den fünfziger Jahren der Kalte Krieg begann, wurden strategische Raketen — die Interkontinentalraketen — mit Atomsprengköpfen entwickelt. Die USA verzögerten ihr Forschungsprogramm etwas, um die Fertigstellung der Wasserstoffbombe und die konsequente Verkleinerung der Abschußrampen abzuwarten. Die UdSSR hingegen entwickelte große Raketen, die die schweren Atombomben befördern konnten. Russische Wissenschaftler erkannten, daß die gleichen Raketen mit kleiner Zuladung in eine Erdumlaufbahn geschossen werden können. Im Oktober 1957 schickten sie Sputnik 1 in den Weltraum.

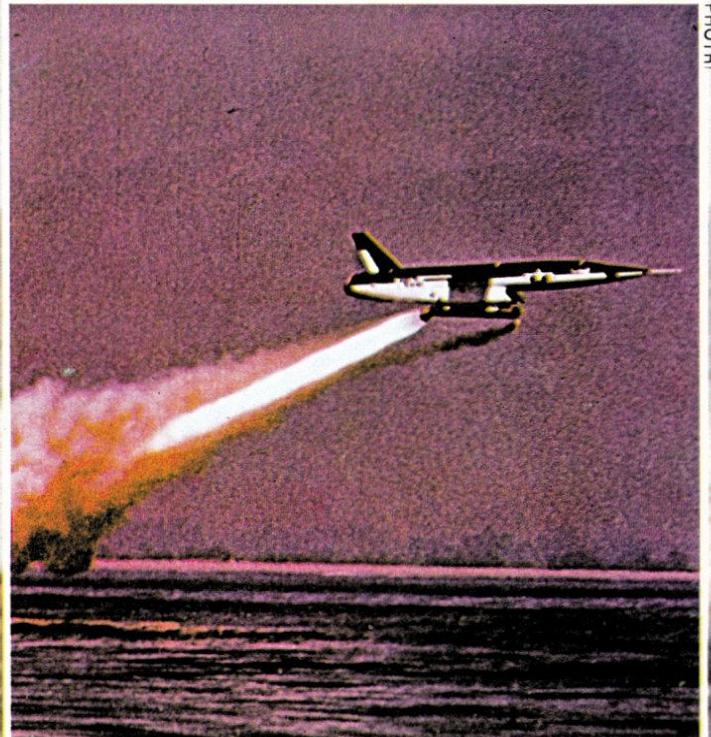
Die USA beförderten vier Monate später ihre erste Rakete in den Weltraum. Der Grund, weshalb die USA nicht vor der UdSSR Raketen in den Weltraum starten konnten, war weniger mangelnde Technik als vielmehr eine Rivalität verschiedener Anbieter eines solchen Programmes. Die US-Marine, die schließlich den Zuschlag bekam, war weit davon entfernt, das beste Programm für einen Raketenstart zu bieten.

### Spezifischer Impuls

Der Schlüssel zum Raketenantrieb ist die ideale Raketen-Gleichung von Ziolkowski — ideal deshalb, weil sie den Luftwiderstand außer acht läßt. Sie besagt, daß die gesamte Brennschlußgeschwindigkeit gleich dem Produkt aus der Ausströmgeschwindigkeit und dem natürlichen Logarithmus des sogenannten Massenverhältnisses ist. Unter dem Massenverhältnis versteht man das Verhältnis der Startmasse der Rakete zur Endmasse der leergebrannten Rakete. Je höher also die Beschleunigung der Rakete sein soll, um so größer müssen entweder die Ausströmgeschwindigkeit oder das Massenverhältnis oder beide Größen sein. Das Massenverhältnis kann dadurch verbessert werden, daß man die Masse der Rakete möglichst klein hält. Die Ausströmgeschwindigkeit läßt sich durch den höheren Wirkungsgrad der Verbrennung beim Treibstoff erzielen.

Der Treibstoffwirkungsgrad wird definiert als der erzeugte Schub — Einheit: N (Newton) — bei einem Massendurchsatz von 1 kg/s. Diese Größe nennt man auch spezifischen Impuls oder spezifischen Schub  $I_s$  (Einheit: Ns/kg). Obwohl bei Dimensionsbetrachtungen nicht exakt, wird die Einheit des spezifischen Impulses oft in Sekunden (s) angegeben. Es ist

**Rechts:** Eine Boden-Boden-Rakete des Typs Regulus. Sie wurde von einem Schiff oder dem Deck eines Unterseebootes abgefeuert. Die Regulus-Rakete war der Vorläufer der Polarisrakete.





**Links:** Zehn derzeit gebräuchliche Raketentypen:

1 Minuteman (USA); dreistufige Feststoffinterkontinentalrakete, thermonuklearer MIRV-Sprengkopf. 2 Hound Dog (USA); thermonukleare Luft-Boden-Rakete mit Turbinenluftstrahltriebwerk, Trägheitslenkung- und Sternfolgesystemen. 3 Shrike- (USA); Ultraschall-Luft-Boden-Radarrakete, Feststoffantrieb, hochexplosiver Sprengkopf, wird durch feindliches Radar gesteuert. 4 SAM-2 (UdSSR); Boden-Luft-Rakete. Zweistufige Rakete (Feststoff- und Flüssigkeitsantrieb), funkgekennzeichnet und -gezündet. 5 Maverick (USA); taktische Luft-Boden-Feststoffrakete. Selbststeuerung über eine Fernsehkamera. Nach Entriegelung fliegt sie ohne Einwirkung des Piloten von selbst auf ihr Ziel. 6 Lance (USA); Boden-Boden-Artillerierakete. Flüssigkeitsrakete mit nuklearen oder hochexplosiven Sprengköpfen. 7 HOT (Frankreich und BRD); Panzerabwehr-rakete, funkgesteuert, zweistufiger Feststoffantrieb. 8 Poseidon (USA); Unterwasser-Boden-Feststoff-Rakete, thermonuklearer MIRV-Sprengkopf. 9 Ikara (Australien); Langstrecken-Unterwasserrakete, Feststoffrakete, bringt das Torpedo zum Ziel und lässt es per Fallschirm fallen. 10 Subroc (USA); Unterwasser-Unterwasser-Feststoffrakete Trägheitsrichtsystem. Wird vom Unterseeboot abgefeuert, geht an die Oberfläche, wandert zum Ziel und lässt eine nukleare Wasserbombe fallen.

einleuchtend, daß bei größerer Ausströmgeschwindigkeit der Gase der Schub pro Sekunde höher ist. Zwischen dem spezifischen Impuls  $I_s$  und der Ausströmgeschwindigkeit der Gase besteht direkte Proportionalität. Ein spezifischer Impuls von  $102 \text{ s} = 1000 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$  erzeugt eine Ausströmgeschwindigkeit der Gase von etwa  $1 \text{ km/s}$ . Hieraus ergibt sich: Je höher der spezifische Impuls ist, um so weniger Treibstoff wird benötigt bzw. eine um so höhere Beschleunigung kann mit vorgegebener Treibstoffmasse erzielt werden.

Die heute in Raketen verwendeten chemischen Treibstoffe haben einen kleinen spezifischen Impuls und stellen dadurch ein Gewichtsproblem beim Raketenstart dar, weil viel Treibstoff aufgetankt werden muß. Ohne Raketenstufen wäre eine Rakete, die mit Apparaturen und Nutzlast beladen ist, nur unter äußerst schwierigen Bedingungen in eine Erdumlaufbahn zu bringen. Jede Erhöhung der Treibstoffmasse zur Erzielung einer längeren Beschleunigungszeit führt zu einer



PICTUREPOINT

**Oben:** Eine Auswahl von Flugzeugwaffen wie Kanonen, Bomben und Raketen. Luft-Luft-Raketen haben üblicherweise hochexplosive Sprengköpfe; Luft-Boden-Raketen verfügen über hochexplosive oder nukleare Sprengköpfe.

Verringerung der Beschleunigung. Deshalb darf eine bestimmte, günstigste Treibstoffmenge nicht überschritten werden. Zusätzliche Treibstoffmengen können allerdings dann berücksichtigt werden, wenn man sie in verschiedene Treibstofftanks füllt. Die einzelnen Treibstofftanks werden mit einem eigenen Antriebssystem versehen und übereinander gesetzt. Jede Raketenstufe ist dann eine eigenständige Rakete, die in gewisser Höhe gezündet werden kann. Im Weltraum erhöht sich der Wert für den spezifischen Impuls. Mit wachsender Entfernung der Rakete von der Erde nimmt die Gravitation ab. Deshalb benötigt man im Weltraum zur Beschleunigung der Rakete nur eine kleine Raketenstufe mit geringem Treibstoffverbrauch.

Lenksysteme unterscheiden sich in dem Grad der geforderten Genauigkeit. Ein Satellit, der für die Erfassung von Meßwerten aus seiner Umgebung in  $560 \text{ km}$  Höhe vorgesehen ist, benötigt keine komplizierten Lenksysteme, sofern er genau auf Kurs gehalten werden kann. Ein vorprogrammierter Autopilot reicht für die entsprechende Positionierung aus. Das Abschalten der Raketenantriebe bei vorgegebener Geschwindigkeit wird durch Funksignale oder durch Ausbrennen des Treibstoffes vorgenommen. Für genaue Ziele, die von der Rakete angesteuert werden sollen, oder für interplanetare Flüge werden sehr genaue Lenksysteme verlangt. Heute sind hochgenaue Lenksysteme in Gebrauch, bei denen Kreisel auch geringfügige Abweichungen von der vorprogrammierten Flugbahn erkennen und über das Haupttriebwerk Bahnkorrekturen vornehmen können.

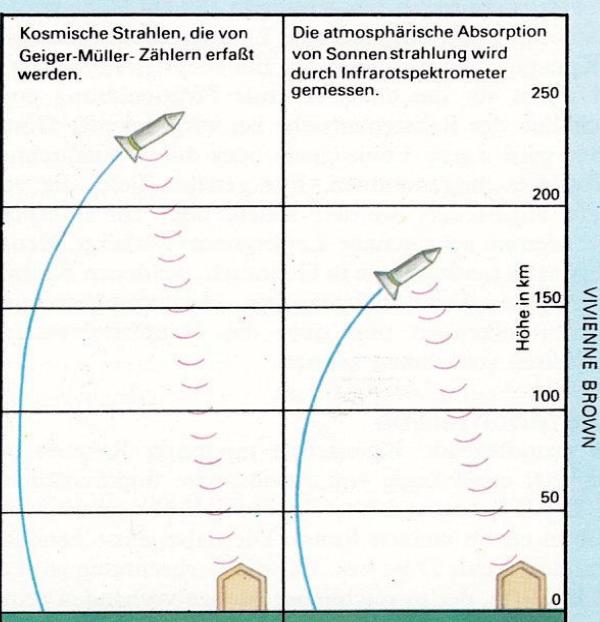
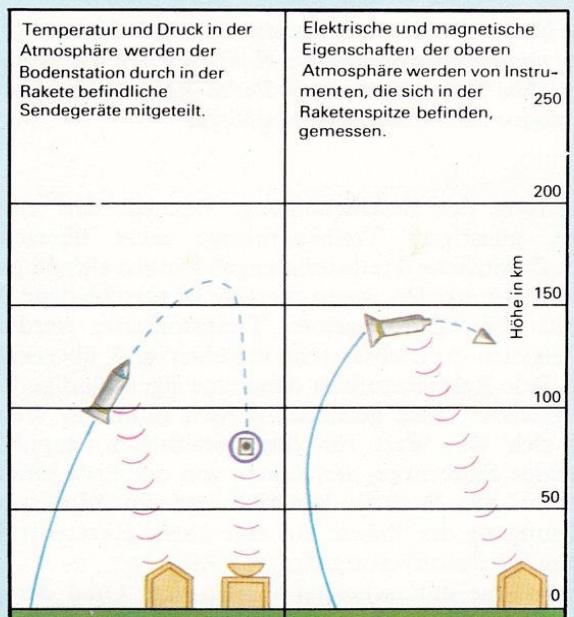
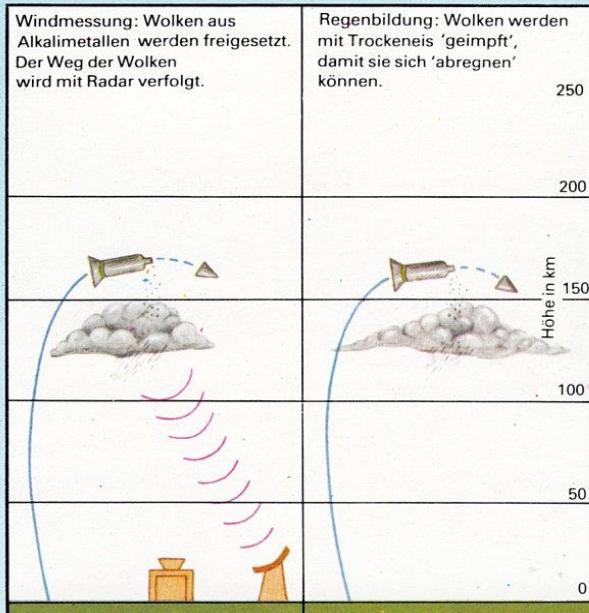
**Raketenantriebe**

Eine grundlegende Eigenschaft moderner Raketen ist ihre Fähigkeit, unabhängig von Atmosphäre funktionstüchtig zu sein. Der Raketenantrieb erfolgt durch Verbrennen chemischer Stoffe in einem kleinen Raum. Die dabei entstehenden Gase treten durch eine Düse aus. Für die Verbrennung wird Sauerstoff benötigt, der in reichlicher Menge vorhanden sein muß. In modernen Flüssigkeitsraketen ist der Treibstoff Kerosin oder flüssiger Wasserstoff. Das Oxidationsmittel ist meist flüssiger Sauerstoff. Treibstoff und Sauerstoff werden in



COL JOHN WEEKS

**Oben:** Abfeuern einer McDonnell Douglas XM-47 Dragon Panzerabwehr-rakete. Die Dragon und ihre Abschußrampe wiegen zusammen nur  $12,3 \text{ kg}$ , weshalb sie von einem Mann leicht getragen werden kann.



getrennte Behälter gepumpt. Beim Brennprozeß werden sie dann einer kleinen Brennkammer zugeführt.

Feststoffraketen sind wegen ihrer Einfachheit heute noch vielfach in Gebrauch. Sie treiben Höhenforschungsraketen, militärische Flugkörper, Raketenoberstufen und Startstufen (Booster) moderner Trägerfahrzeuge an. Feste Raketentreibstoffe sind chemische Mehrstoffsysteme in Form fester Blöcke. Der Brennstoff ist ein Gemisch aus einem Festbrennstoff (z.B. Nitrozellulose) und einem Sauerstoffträger (Polyisobutan oder Ammoniumperchlorat). Nachteile von Feststoff-Raketentreibwerken sind: hohes Gewicht, relativ kurze Brenndauer, geringer spezifischer Impuls, höhere Treibstoffkosten und Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit und Temperatur.

Man kennt viele Arten des Raketenantriebes. Einige werden schon seit langem eingesetzt, andere stehen noch in der Entwicklung, und wieder andere sind vorerst nur in der Theorie konzeptioniert; ihnen gehört die Zukunft. In den USA und in der UdSSR wurde viel über Nuklearantriebe nachgedacht. Auf der Erde sind sie wegen Verseuchungs-



MOD

**Oben:** Die Lance Boden-Boden Rakete. Sie wird von einer Amphibienabschußrampe (die Eigenantrieb hat) abgeschossen.

gefahr nicht einsetzbar. Es wäre jedoch denkbar, sie bei interplanetaren Flügen zur Erzielung hoher Geschwindigkeiten zu verwenden. Im Versuchsstadium ist das Ionentriebwerk (auch elektrostatisches Triebwerk) am weitesten fortgeschritten. Beim Ionentriebwerk werden Cäsium- oder Quecksilberatome ionisiert und vor Austritt mit Hilfe einer Hochspannung von 3 kV bis 15 kV beschleunigt. Der Schub ist gering (etwa 1/700 kg). Bei der Ionenrakete ist der geringe Treibstoffverbrauch von Vorteil.

Das Plasmatriebwerk (auch elektromagnetisches Triebwerk) befindet sich noch im frühen Entwicklungsstadium. Mit Hilfe eines Lichtbogens wird ein Wasserstoffplasma (Ionengas aus Wasserstoff), das in einem Magnetfeld beschleunigt wird, erzeugt. Man hat sich auch schon Gedanken über ein Photonentriebwerk gemacht, das theoretisch einen Schub durch einen Lichtstrahl erzeugen könnte. Die Austrittsgeschwindigkeit der Photonen würde mit Lichtgeschwindigkeit erfolgen.

**Links:** Eine der am häufigsten verwendeten Raketenarten sind die Raketensonden. Es handelt sich hier um kleine, leichte Feststoffraketen für wissenschaftliche Versuche in der oberen Atmosphäre.

## RAMME

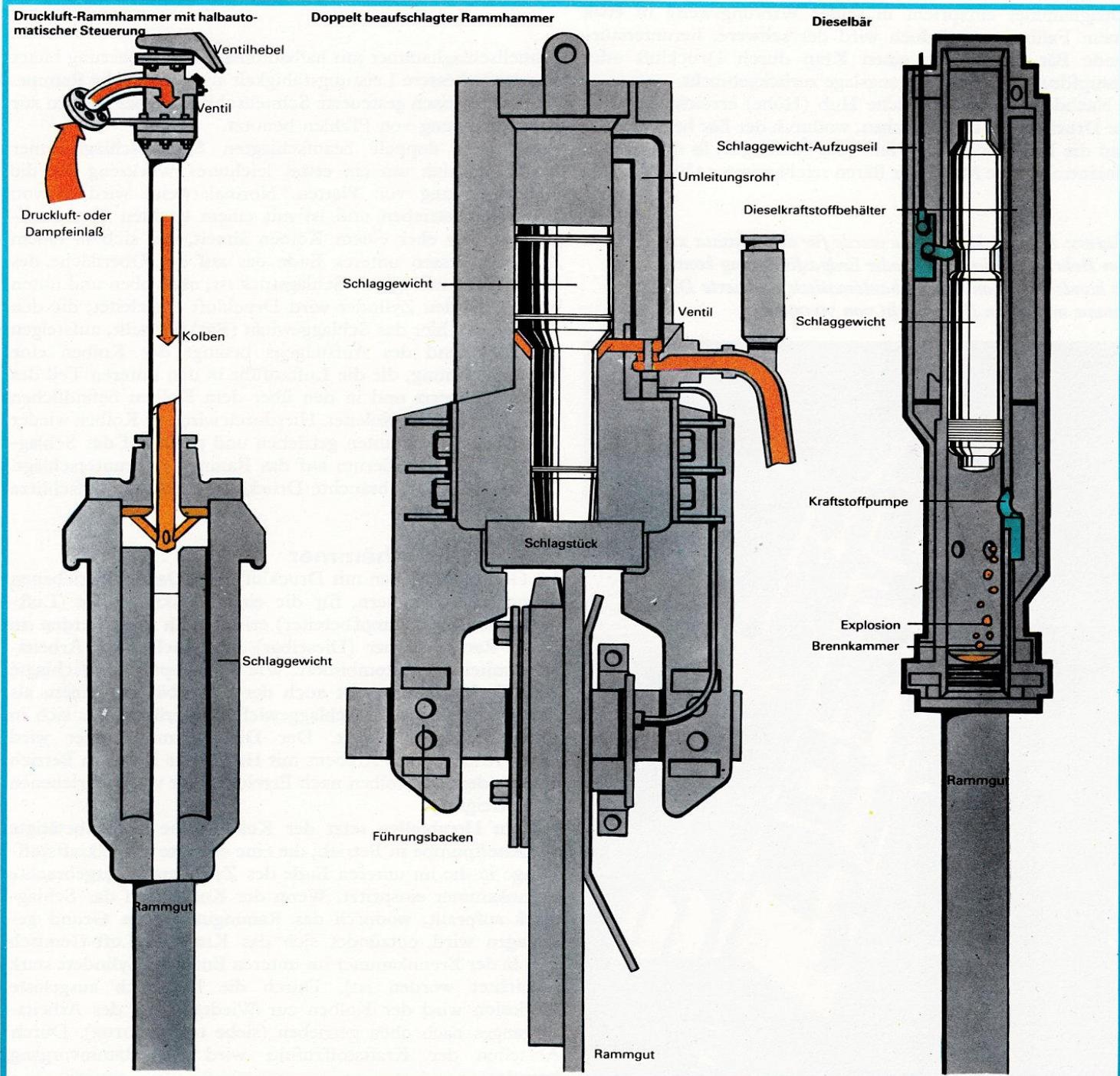
**Die Hämmer (Bären) der Rammen, die beim Bau von Erdöl- und Erdgas-Bohrtürmen zur Niederbringung der Förderinsel benutzt werden, können mit einer 700 000 N entsprechenden Gewichtskraft auf die Metallpfähle aufschlagen.**

Eine Ramme ist eine Maschine, die Rammgut in den Untergrund einbringt. Rammgut sind normalerweise aus Stahl hergestellte Platten oder Stützen, die als tragendes 'Fundament' eines Geländes oder einer anderen Konstruktion dienen. Vor etwa 4000 Jahren wurde die erste Ramme benutzt, um Pfähle zur Abstützung primitiver Behausungen an Seeufern in den Boden einzutreiben. Zu anderen Zeiten, wie beispielsweise bei den Römern, wurden Pfähle benutzt, um mit ihnen Fundamente für viele heute noch erhaltene Gebäude zu schaffen. Die ersten Rammen arbeiteten nach dem einfachen Fallhammer-Prinzip, bei dem man ein schweres Gewicht

(beispielsweise einen durch ein Seil gehaltenen Felsbrocken) auf den Pfahl herunterfallen ließ, um ihn so in den Boden zu treiben.

Heute benutzte Fallhämmere bestehen aus Gußeisen und wiegen von einer halben Tonne bis zu fünf Tonnen. Sie werden von in senkrechten Schienen laufenden Führungsbacken gehalten, damit ein genau mittig auftreffender Aufprall

**Unten:** Bei einem Rammhammer wird die Druckluft oder der Dampf durch den Kolben nach unten geführt und bewirkt ein Aufsteigen des Bären. Danach wird das Ventil geschlossen — der Bär fällt herunter und schlägt auf das Rammgut. Beim doppelt beaufschlagten Rammhammer drückt die Druckluft den Bären nach oben und wird dann durch das Umleitungsrohr umgeleitet, um ihn wieder auf das Schlagstück fallen zu lassen. Beim Diesel-Rammhammer wird der Bär durch einen Kran angehoben und dann freigegeben. Beim Herunterfallen betätigt das Schlaggewicht die Kraftstoffpumpe.



des Bären auf das Rammgut erfolgen kann. Obgleich auch heute noch nach dieser Methode vorgegangen werden kann, verläuft der Arbeitsvorgang im Verhältnis zu moderneren Rammen, die durch Druckluft, Dieselkraftstoff oder gelegentlich auch Dampf betrieben werden, doch recht langsam. Es gibt auch hydraulisch oder elektrisch betätigte Rammen.

Gründungen (Verbindungen des Bauwerks mit dem tragfähigen Untergrund) lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen. Aus Stahl hergestellte Platten werden als Widerstand gegen horizontale Kräfte, wie sie in Docks und bei vorläufigen Tiefbauarbeiten auftreten, benutzt. So dienen sie zum Beispiel als Träger für Wolkenkratzerblöcke (Blockgründung), sofern nicht weicher Untergrund eine andere Bauweise der Gründung empfiehlt.

### Druckluft-Rammhämmere

Es gibt zwei Hauptarten von Druckluft-Rammhämmern (Schnellschlaghämmere): Schnellschlaghämmere mit halbautomatischer Steuerung und doppelt beaufschlagte Schnellschlaghämmere. Der halbautomatisch gesteuerte Schnellschlaghammer entspricht in seiner Wirkungsweise in etwa einem Fallhammer, jedoch wird der schwere, herunterstürzende Bär statt durch einen Kran durch Druckluft oder Dampfdruck in seine Ausgangslage zurückgebracht.

Nachdem der erforderliche Hub (Höhe) erreicht ist, wird die Druckzufluhr unterbrochen, wodurch der Bär herunterfällt und die Platte oder den Pfahl (das Rammgut) in den Grund hineintreibt. Die Masse der Bären reicht von 2,5 t bis 15 t. Der

**Unten:** Diese Schlagramme wurde für den Einsatz zum Bau von Bohrinseln zur Erdöl- oder Erdgasförderung konstruiert. Es handelt sich um eine halbautomatisch gesteuerte Dampf-ramme mit einem Fallgewicht von 70 000 kg.



PICTUREPOINT

**Oben:** Stählerne H-Pfähle werden hier beim Bau eines neuen Containerhafens niedergebracht.

Schnellschlaghammer mit halbautomatischer Steuerung bietet eine etwas bessere Leistungsfähigkeit als die einfache Ramme. Halbautomatisch gesteuerte Schnellschlaghämmere werden zur Niederbringung von Pfählen benutzt.

Bei dem doppelt beaufschlagten Schnellschlaghammer handelt es sich um ein etwas leichteres Werkzeug für die Niederbringung von Platten. Normalerweise wird er von Druckluft betrieben und ist mit einem leichten Bären ausgerüstet, der eher einem Kolben ähnelt, der sich in einem Zylinder, dessen unteres Ende das auf der Oberfläche des Rammgutes aufliegende Schlagstück ist, nach oben und unten bewegt. In den Zylinder wird Druckluft eingeleitet, die den Kolben, der hier das Schlaggewicht (Bär) darstellt, aufsteigen lässt. Während des Aufsteigens betätigt der Kolben eine Ventilanordnung, die die Luftzufluhr in den unteren Teil des Zylinders sperrt und in den über dem Kolben befindlichen Teil des Zylinders einleitet. Hierdurch wird der Kolben wieder im Zylinder nach unten getrieben und prallt auf das Schlagstück auf, das wiederum auf das Rammgut herunterschlägt. Dabei wird die verbrauchte Druckluft durch Auspuffschlitze ausgestoßen.

### Diesel-Rammhämmere

Im Gegensatz zu den mit Druckluft oder Dampf betriebenen Schnellschlaghämmern, für die eine Hilfskraftquelle (Luftverdichter oder Dampfbereiter) erforderlich sind, werden im Diesel-Rammhammer (Dieselbär) Kraftquelle und Arbeitsgerät miteinander kombiniert. Wie der doppelt beaufschlagte Schnellschlaghammer ist auch der Dieselbär mit einem als Kolben ausgebildeten Schlaggewicht ausgerüstet, das sich in einem Zylinder bewegt. Der Diesel-Rammhammer wird durch Anheben des Kolbens mit Hilfe eines Krans in Betrieb gesetzt, der den Kolben nach Erreichen der vorgeschriebenen Höhe freigibt.

Beim Herabfallen setzt der Kolben einenockenbetätigtes Kraftstoffpumpe in Betrieb, die eine dosierte Dieselkraftstoffmenge in die im unteren Ende des Zylinders untergebrachte Brennkammer einspritzt. Wenn der Kolben auf das Schlagstück aufprallt, wodurch das Rammgut in den Grund geschlagen wird, entzündet sich das Kraftstoff/Luft-Gemisch (das in der Brennkammer im unteren Ende des Zylinders stark verdichtet worden ist). Durch die hierdurch ausgelöste Explosion wird der Kolben zur Wiederholung des Arbeitsvorganges nach oben getrieben (siehe DIESELMOTOR). Durch Abstellen der Kraftstoffzufluhr wird der Rammvorgang beendet.

## RASENMÄHER

**Ein widerstandsfähiger Rasen, wie er zum Beispiel für Golf- und Tennisplätze von großer Bedeutung ist, muß zwei- oder dreimal pro Woche gemäht werden. Durch moderne Rasenmäher wird diese Arbeit erheblich erleichtert.**

Der Rasenmäher ist eine mechanische Vorrichtung zum Kurzhalten des Rasens. Jahrhundertlang wurde diese Arbeit von in Gruppen arbeitenden Männern durchgeführt, die mit scharfen Senßen das Gras im wahrsten Sinne des Wortes abrasierten. Das erste mechanische Gerät zur Erleichterung des Rasenmähens ließ sich E. B. Budding aus England patentieren. Ähnlich wie bei einigen modernen Rasenmähdern war das von ihm hergestellte Gerät mit einem um eine Achse drehbaren Zylinder mit schraubenartig angeordneten Schneidmessern ausgerüstet. Dieser Zylinder wurde über eine Kette von einer hinter ihm angebauten Laufrolle in Drehbewegung versetzt.

### Spindelmäher

Ein Spindelmäher ist mit einer drehbaren Messertrommel oder einem Schneidzyylinder ausgerüstet, der aus fünf bis zehn schraubenförmig miteinander verwundenen Messern besteht und so auf eine Achse montiert ist, daß die Schneidflächen der Messer auf einer zylindrischen Oberfläche liegen. Das Gras wird durch einen der Scherenbewegung ähnlichen Vorgang abgeschnitten, indem es zwischen die Schneidflächen der schraubenförmig verwundenen Messer und ein tiefliegendes, aus härterem Metall hergestelltes und parallel zur Achse der Messertrommel angebrachtes Untermesser gezogen wird. Beim Drehvorgang der schraubenförmig verwundenen Messer erreicht der vordere Abschnitt eines jeden Messers der Messertrommel das Untermesser unmittelbar vor dem Augenblick, in dem das letzte Ende der Schneidklinge des vorherigen Messers von dem Untermesser abgezogen wird.

Ein aus Kette und Kettenrad bestehender Antrieb verbindet den Schneidzyylinder mit einer hinter ihm angebrachten Rolle

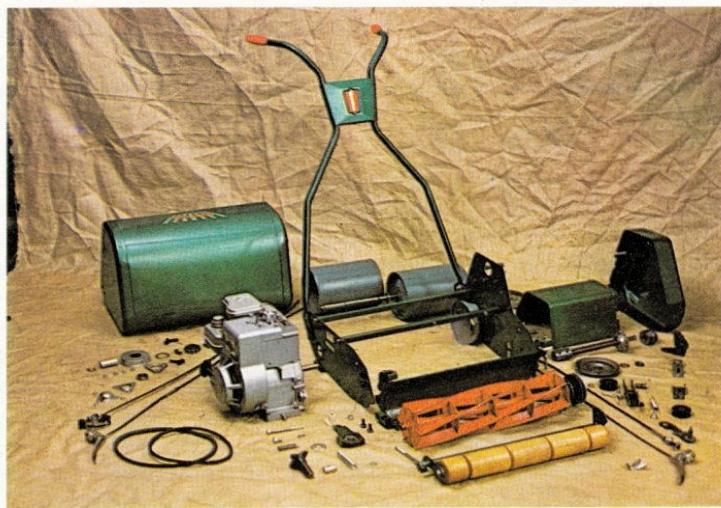
oder Radachse, so daß der Schneidzyylinder sich mit der Bewegung des Rasenmäthers über das Gras dreht. Der Antrieb zum Schneidzyylinder ist so ausgelegt, daß der Rasenmäher nur über soviel Gras geführt wird, wie von dem jeweiligen, aus einem umlaufenden und dem Untermesser gebildeten Untermesserpaar bei einem Durchgang geschnitten werden kann. Diese Entfernung beträgt in der Regel etwa 2 cm. Die meisten Rasenmäher benötigen eine Strecke von 50 cm bis 65 cm, bis die Laufrolle sich einmal gedreht hat. Die Anzahl der einzelnen Schnittvorgänge liegt bei einfachen, handbetriebenen Rasenmähdern zwischen 40 pro Meter und, bei einigen Engschnitt-Hochleistungsmodellen, 160 pro Meter. Dies bedeutet, daß sich der Schneidzyylinder immer schneller als die Laufrolle drehen und das Übersetzungsverhältnis des Antriebes entsprechend gewählt werden muß.

Der Spindelmäher mit Radantrieb ist eine preisgünstigere und leichtere Abwandlung des Laufrollen-Spindelmähders und läßt sich leichter zwischen Blumenbeeten hindurchführen. Dieser Rasenmäher wird anstatt durch eine einzelne hintere Laufrolle von zwei Rädern abgestützt. Der Kettenantrieb fehlt, und die Messertrommel wird von den Rädern aus über ein im Inneren der Räder befindliches Zahnradgetriebe, das die erforderliche Schnittgeschwindigkeit vermittelt, angetrieben.

Bei Spindelmähdern schärfen sich die Messer infolge der ständigen leichten Berührung zwischen dem Untermesser und den umlaufenden Messern selbsttätig. Diese leichte Schleifwirkung wird durch Lagerverschleiß und unbeabsichtigte Verziehung der Messer, zum Beispiel durch Kontakt mit Steinen und harten Hölzern, verminder, weshalb die Messer von häufig eingesetzten Rasenmähdern von Zeit zu Zeit durch

**Unten:** Ein aus fünf Mähwalzen zusammengesetzter Gruppenmäher hinter einem Traktor. Jeder einzelne Mäher wird über Laufrollen fortbewegt, während die Schneidzyylinder von Hydromotoren angetrieben werden. Die Hydraulikschläuche sind im Bild leicht zu erkennen.





**Oben:** Das Bild zeigt die Einzelteile eines typischen Spindelmäthers. Spindelmäher haben ein Luftpolster, das sie etwa 0,5 cm über dem Boden trägt.

Nachschleifen auf der Schleifmaschine 'gerichtet' werden müssen.

### Sichelmäher

Bei dieser Art von Rasenmähern dreht sich ein Propellermesser in einer waagerechten Ebene in einem von Rädern getragenen Gehäuse. Dieser Rasenmäher ist leicht, einfach konstruiert und gut zum Schneiden von langem Gras geeignet; er schneidet das Gras jedoch nicht so gleichmäßig und sauber ab und muß durch einen Motor angetrieben werden. Das Gras wird, ähnlich wie bei einer Sense, durch direkten Schnitt ohne Gegenschneide abgemäht (Sichelmäher). Wegen der hohen Geschwindigkeit der Schneidfläche ist jedoch ein Schleifen oder Nachschärfen nicht erforderlich. Das Messer ist aus einer Stahlsorte angefertigt, die eher zum Verzug als zum Bruch neigt, wenn es gegen einen Stein schlägt, weil ein abgebrochener Stahlstück trotz des Gehäuses auf gefährliche Weise fortgeschleudert werden könnte. Die Schnitthöhe wird entweder durch Verstellung der Radhöhe oder durch Einsetzen von Distanzscheiben verschiedener Dicke zwischen Propellermesser und Antriebswelle eingestellt. Einfache, mit Verbrennungsmotor betriebene Sichelmäher, die nur zum Rasenmähen dienten und keine Grasfangvorrichtung besaßen, wurden zuerst in den USA ein voller Erfolg. Mit Elektromotor betriebene Rasenmäher, deren Motorenleistung in etwa der von Heimwerker-Bohrmaschinen entspricht, sind, neben mit Verbrennungsmotor betriebenen Rasenmähern, auch in Deutschland überall anzutreffen. Weiterentwickelte Rasenmäher besitzen außerdem eine Grasfangvorrichtung, während andere Baumuster mit einer Aufsitzvorrichtung versehen sind.

### Selbstfahrende Rasenmäher

In vielen Ländern wurden ursprünglich Pferde, deren Hufe in weichen Überzügen steckten, zum Ziehen der größeren Rasenmäher auf Nutzrasen eingesetzt.

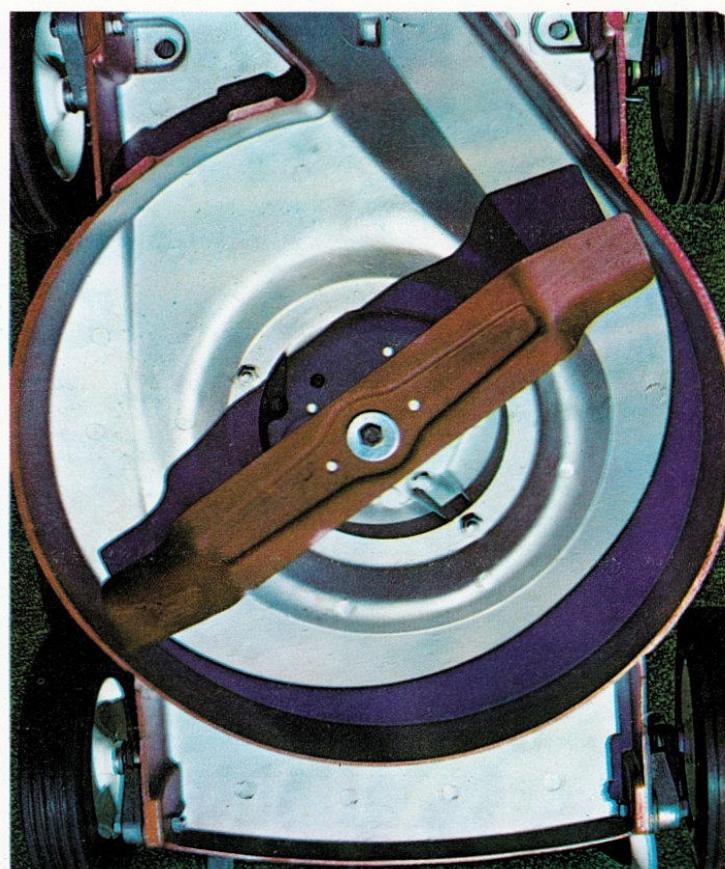
Der Arbeitsleistung der meisten Rasenmäher wurden dagegen anfangs vom Durchhaltevermögen des sie bedienenden Menschen her Grenzen gesetzt. Motorbetriebene Rasenmäher — selbstfahrende, von einem Motorradmotor angetriebene Spindelmäher — traten kurz nach dem Ersten Weltkrieg in Erscheinung. Viele der heute benutzten Motor-Rasenmäher gehören zu dieser Art. Von Fußgängern bediente Selbstfahrnmäher können sich nur mit Schrittgeschwindigkeit fortbewegen, weshalb man in unserer Zeit für große Flächen sogenannte Aufsitz-Rasenmäher benutzt, die häufig mit

Schaltgetriebe und elektrischem Anlasser ausgerüstet sind. Weite Rasenflächen, wie z.B. die Spielfläche von Golfplätzen, können durch Seitenrad-Gruppenmäher (Mähwalzen) gepflegt werden, die von einem mit Gummireifen ausgerüsteten Traktor bezogen werden. Leichtes Gewicht, leiser Betrieb und der Fortfall von luftverschmutzenden Faktoren führten zur Verwendung von Spindel- und Sichelmähern, die über ein elektrisches Kabel versorgt werden. Die meisten von ihnen sind für kleine Gärten gedacht; zum Schneiden von Rasenflächen großen Ausmaßes werden jetzt jedoch auch größere Ausführungen benutzt. Es werden auch elektrische Rasenmäher mit wiederaufladbaren Batterien hergestellt; sie haben sich jedoch als schwerfällig und anfällig für Betriebsstörungen erwiesen.

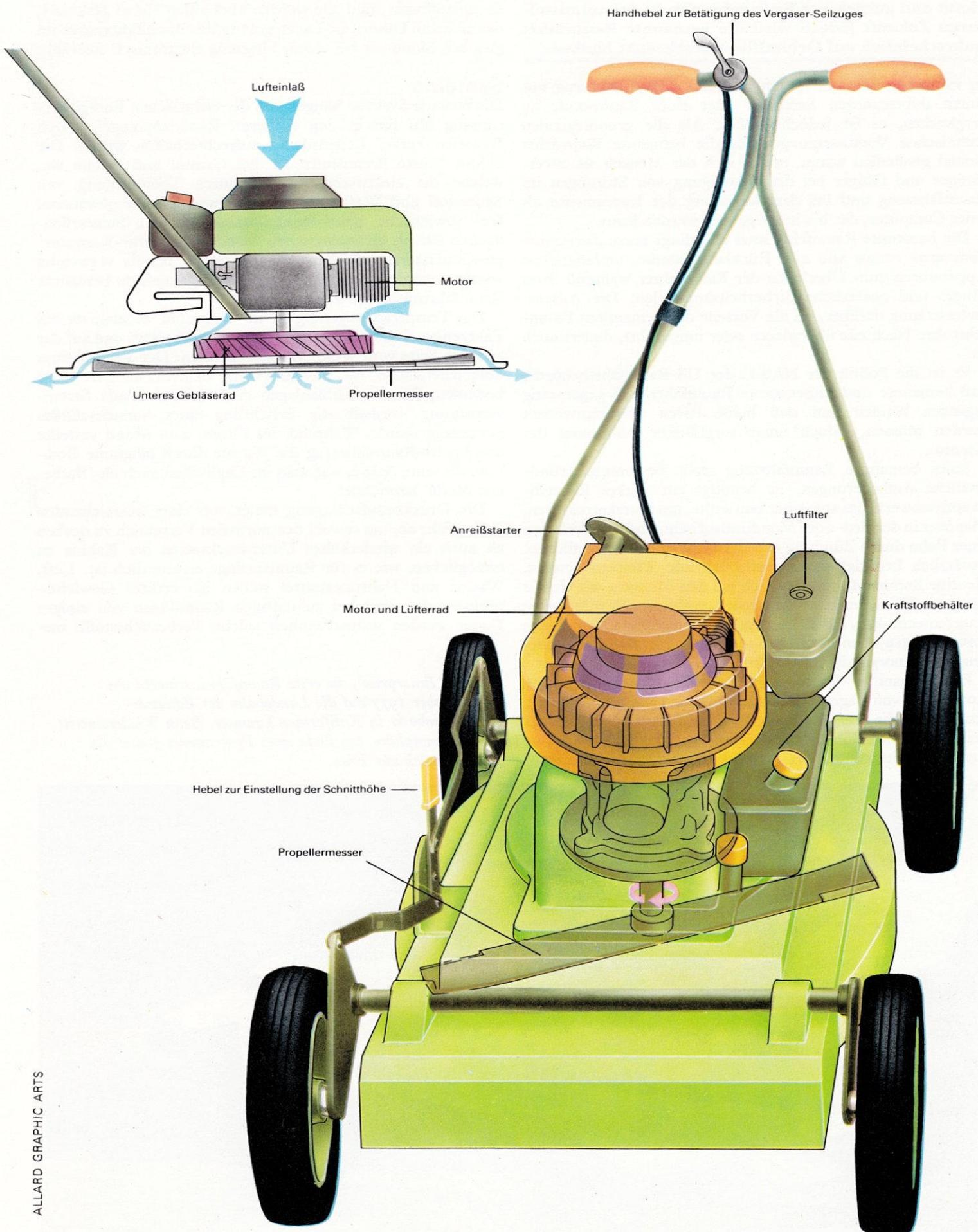
### Luftkissen-Rasenmäher

Rasenmäher ohne Räder oder Rollen, die die nasse Grasnarbe verklumpen, rutschig machen oder zerreißen können, lassen sich sofort nach dem Regen einsetzen. Dies ist ein großer Vorteil bei Witterungen mit ständiger Schauerneigung. Hierbei handelt es sich um mit einem Gebläse ausgerüstete Sichelmäher, deren Schneidwerkzeug-Gehäuse so konstruiert ist, daß sie wie ein Luftkissenfahrzeug in einer Höhe über dem Boden schweben, die selbsttätig auf 0,5 cm Höhe eingestellt wird. Die zurückströmende Luft wirft das geschnittene Gras wiederholt gegen das umlaufende Propellermesser, bis es fein zerhackt auf den Graswurzeln liegen bleibt und so der Grasnarbe zugute kommt. Hierdurch werden das Zusammenharren und die Beseitigung des geschnittenen Grases vermieden. Luftkissen-Rasenmäher werden normalerweise von Zweitaktmotoren oder Elektromotoren angetrieben.

**Unten:** Die Unterseite eines Sichelmäthers mit dem Propellermesser. Das Gehäuse ist so geformt, daß das geschnittene Gras nach hinten (oben) ausgeworfen wird und zusammengeharzt werden kann.



Ein motorbetriebener Rasenmäher mit Zweitaktmotor und Anreißstarter. Die kleine Darstellung zeigt den Luftdurchsatz in einem Luftkissen-Rasenmäher.



## RAUMFAHRZEUGE

**Mit Raumfahrzeugen wurden bisher 12 Menschen zum Mond und zurück zur Erde gebracht. In der unmittelbaren Zukunft jedoch wird die bemannte Raumfahrt wahrscheinlich auf Orbitalflüge beschränkt bleiben.**

In vielfacher Hinsicht ist ein bemanntes Raumfahrzeug mit einem unbemannten Satelliten oder einer Raumsonde zu vergleichen, es ist jedoch größer. Als die grundlegenden technischen Voraussetzungen für die bemannte Raumfahrt einmal geschaffen waren, erwies sich der Mensch als zuverlässiger und fähiger bei der Beseitigung von Störungen im Raumfahrzeug und bei der Bedienung der Instrumente als jeder Computer, der bis heute gebaut werden kann.

Die bemannte Raumfahrt setzt allerdings teure Zusatzausrüstungen voraus wie z.B. Rückkehrsysteme, umfangreiche Apparaturen zum Überleben der Raumfahrer während ihres Fluges und zusätzliche Sicherheitskontrollen. Die Auseinandersetzung darüber, ob die Vorteile der bemannten Raumfahrt ihre Nachteile überwiegen oder umgekehrt, dauert noch an.

Es ist die Politik der NASA, der US-Raumfahrtbehörde, daß bemannte und unbemannte Raumfahrt sich gegenseitig ergänzen können und daß beide Arten weiterentwickelt werden müssen, jedoch unter sorgfältiger Abwägung der Kosten.

Jedes bemannte Raumfahrzeug stellt bestimmte grundsätzliche Anforderungen. Es benötigt ein starkes Raketen-haupttriebwerk, das steuerbar sein sollte, um Kurskorrekturen, Manöver in der Erd- oder Mondumlaufbahn und das Verlassen einer Bahn durch Zündung von Bremsraketen zu ermöglichen. Zusätzlich benötigt es eine ausreichende Treibstoffreserve. Heutige Brennstoffe würden sich bei den Mengen, wie sie für Langzeit-Missionen benötigt werden, verbieten. Revolutionäre Raketentechniken, die Kernenergie oder ionisierte Gase (siehe IONENANTRIEB) benützen, befinden sich für die Raumfahrzeuge von morgen in Entwicklung.

Ein bemanntes Raumfahrzeug benötigt außerdem eine Anordnung von Lageregelungsdüsen (kleine Raketenmotoren), um die gleiche Aufgabe zu erfüllen wie die Querruder, das Seiten- und das Höhenleitwerk beim Flugzeug. Die Düsen — aus Sicherheitsgründen gewöhnlich in doppelter Ausführung —

werden zur Ausübung eines Drehmomentes um die entsprechende Achse paarweise, diametral einander entgegengesetzt, angeordnet. Jede Anordnung von Düsen hat ihre eigenen Brennstoftanks, und alle werden über einen Hebel gesteuert, der einzelne Düsen zur Lageregelung des Raumfahrzeugs im gleichen Sinne wie bei einem Flugzeug elektronisch auswählt.

### Systeme

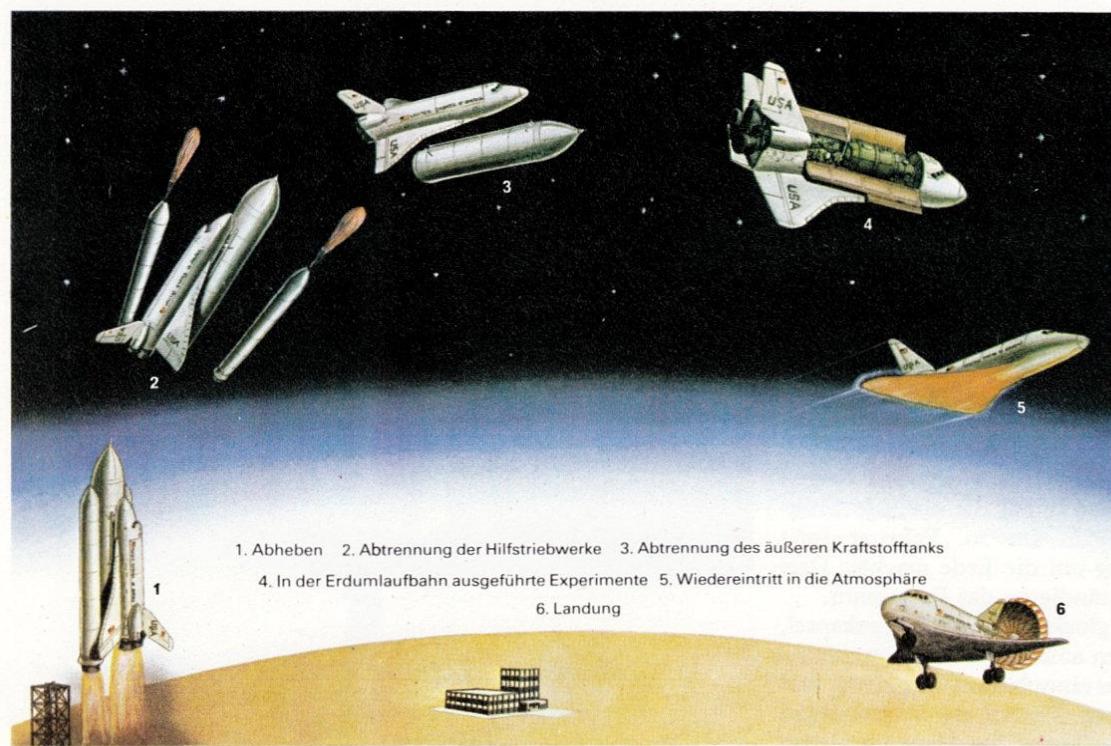
Die meisten Systeme hängen von der elektrischen Energieversorgung ab, die in den früheren Raumfahrzeugen durch Batterien kurzer Lebensdauer aufrechterhalten wurde. Die NASA führte Brennstoffzellen bei Gemini und Apollo ein, welche die elektrische Energie durch Umwandlung von Sauerstoff und Wasserstoff in trinkbares Wasser gewannen. Das sowjetische Sojus-Raumfahrzeug benutzt Solarzellenflächen älteren technologischen Standes. Miniatur-Kernenergie-Generatoren, die bei einigen Sonden bereits verwendet wurden, werden nun allmählich für langdauernde bemannte Raumfahrtmissionen anwendbar.

Die Temperaturregelung ist im Weltraum wichtig, da das Fahrzeug auf einer Seite von der Sonne 'gebraten' und auf der anderen Seite vom Weltraum gekühlt wird. Der Verlust einer Solarzellenfläche bei Skylab (siehe ORBITALLABORATORIUM) bedeutete für die Kühlanlagen eine unzureichende Stromversorgung, weshalb die Errichtung eines Sonnenschildes notwendig wurde. Während des Fluges zum Mond verteilte das Apollo-Raumfahrzeug die Wärme durch langsame Rotation um seine Achse, was man im Englischen auch als 'Barbecue Mode' bezeichnet.

Die Druckbeaufschlagung hängt von einer ausreichenden Luftzufuhr ab, um sowohl den normalen Verbrauch zu decken als auch ein wiederholtes Unterdrucksetzen der Kabine zu ermöglichen, wie es für Raumausflüge erforderlich ist. Luft, Wasser und Nahrungsmittel stellen ein ernstes Gewichtsproblem dar, und bei zukünftigen Raumflügen von einiger Dauer werden wahrscheinlich solche Verbrauchsstoffe me-

**Unten:** 'Enterprise', die erste Raumfähre, schwebt am 26. Oktober 1977 auf die Landebahn der Edwards-Luftwaffenbasis in Kalifornien hinunter. Beim Wiedereintritt in die Atmosphäre am Ende eines Programmes gleitet die Fähre zurück zur Erde.





**Links:** Geplante Reihenfolge beim Spacelab-Unternehmen. Die Raumfähre Orbiter, die das Weltraumlabor trägt, hebt mit Hilfe ihrer drei Haupttriebwerke und zweier Zusatztriebwerke ab. Letztere werden in 43 km Höhe abgetrennt und kehren zwecks Wiederverwendung am Fallschirm zur Erde zurück. In 113 km Höhe wird der äußere Treibstofftank abgetrennt und verbrennt in der Atmosphäre. Orbiter verbleibt während der Experimente in der Erdumlaufbahn.

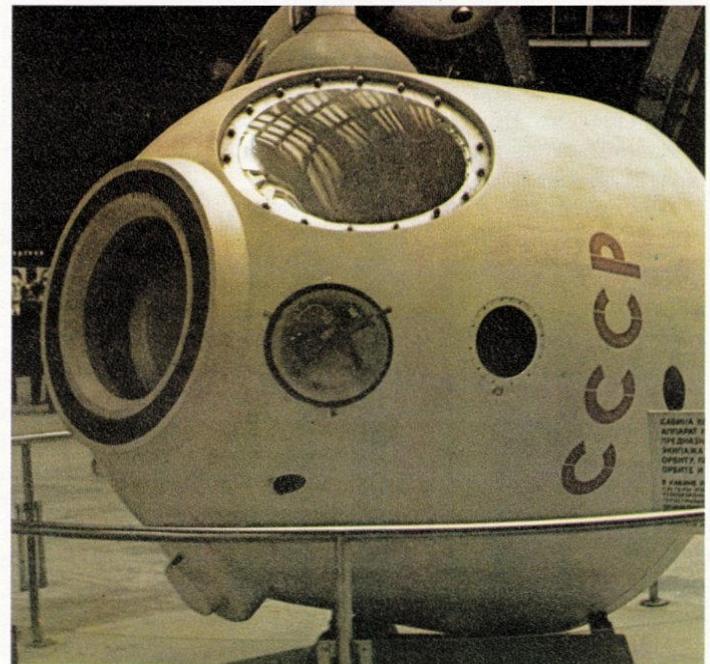
**Unten:** Eine 'Sojus'-Kommandokapsel, auf einer Ausstellung in Moskau. Beim ersten Sojus-Unternehmen im April 1967 kam das einzige Besatzungsmitglied ums Leben.

chanisch oder ökologisch (mittels Pflanzen) für den mehrfachen Gebrauch zurückgewonnen werden müssen.

Die Sowjets haben stets eine erdähnliche Atmosphäre aus Sauerstoff und Stickstoff von nahezu Normaldruck verwendet. Die amerikanischen Raumfahrzeuge dagegen haben sich alle auf reinen Sauerstoff von nur 0,345 bar gestützt. Eine Ausnahme bildeten die Apollo-Raumfahrzeuge, die beim Start eine Erdatmosphäre benutztten und während des weiteren Fluges zur Sauerstoffatmosphäre übergingen. Dies ist eine Vorsichtsmaßnahme, die unternommen wurde, nachdem reiner Sauerstoff einen Brand in der Raumkabine aufrechterhielt, der während der Erprobungen auf der Startrampe zur Vorbereitung des ersten bemannten Apollo-Fluges ausbrach und dem die Astronauten Gus Grissom, Ed White und Roger Chaffee zum Opfer fielen.

Nachrichtenverbindungen sind die 'Lebensader' zur Erde. Zukünftige Raumschiffe werden eine beträchtliche Rechnerkapazität besitzen müssen, um ihre eigenen Anlagen zu überwachen. Heute müssen noch ein sehr großer Teil der Anlagen und das Befinden der Besatzung ständig von der Erde aus überwacht werden. Zusätzlich müssen Sprech- und Fernsehkanäle betriebssicher und mit ausreichender Leistung bei beschränkter Bordenergie aufrechterhalten werden.

Schießlich muß das bemannte Raumschiff über Mittel für die Rückkehr seiner Besatzung zur Erde verfügen. Die strengen Bedingungen für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre haben insofern den Raumfahrzeugen eine bestimmte Bauweise aus Elementen aufgezwungen, als der Teil des Fahrzeugs, der eine spezielle Form und einen ebenso speziellen Überzug gegen die Temperatur von 1650°C erfordert (sie entsteht durch Luftreibung bei 27 000 km/h), möglichst klein gestaltet werden muß. Die Kapseln sind konisch geformt, um den größten Teil der Außenhaut hinter dem Hitzeschild unterzubringen, oder sie sind leicht gekrümmt wie bei Sojus, um den aerodynamischen Auftrieb zu verbessern und das Abbremsen zu erleichtern. Das stumpfe Hitzeschild ist notwendig, um das Raumfahrzeug auf die Geschwindigkeit abzubremsen, die für die gefahrlose Entfaltung des Bremsfallschirmes nötig ist. Hitzeschilde sind von der Ablationstechnik abhängig geworden, wobei es einem dicken Plastiküberzug erlaubt wird, zu verbrennen und die Wärme dabei zu verbrauchen. Ein dünnerer Überzug wird bei allen anderen Oberflächenteilen angewendet.



## Frühe Raumfahrzeuge

Heute versteht man unter der Bezeichnung 'Raumfahrzeug' ein Objekt wie Mercury, Gemini oder Apollo auf amerikanischer Seite und Wostok (Osten), Woßchod (Sonnenaufgang) und Sojus (Union) auf sowjetischer Seite. Da ihre technologische Entwicklung, bei der sich die beiden Mächte jeweils zu übertrumpfen versuchten, vergleichbar ist, lassen sich die Raumfahrzeuge nur in der Anzahl der Besetzungen unterscheiden.

Als das Zeitalter der Raumfahrt begann, mußte sich die Leistungsfähigkeit unbemannter Satelliten erst noch erweisen, damit die Erforschung der bemannten Weltraumfahrt beginnen konnte. Der zweite sowjetische Sputnik brachte einen Hund (Laika) ohne Rückkehrmöglichkeit in eine Umlaufbahn. Fünf hundetragende Raumfahrzeuge gingen dem ersten bemannten Weltraumflug voraus. Am 12. April 1961 — nur 18 Tage nach dem letzten 'Hundepassagier' — führte Juri Gagarin dann einen einzigen Umlauf um die Erde aus.

Das Wissen der Sowjets wurde während der nächsten zwei Jahre durch fünf Wostok-Flüge erweitert, wobei am letzten dieser Ausflüge in den Weltraum Valentina Tereschkowa teilnahm, die erste und bisher einzige Frau im Weltraum.

Wostok umfaßte eine kugelförmige Wiedereintrittskapsel und ein zylindrisches Hilfsbauteil, welches das Bremstriebe-werk und mehrere Untersysteme enthielt. Ausschließlich zum Erlangen der Grundlagentechnik des Fluges und der Rück-führung bemannter Raumfahrzeuge entworfen, führte Wostok eine Batteriekapazität für 10 Tage mit sich. Wostok war für volle Steuerung vom Boden aus vorgesehen, obwohl es auch für eine Steuerung durch den Piloten ausgerüstet war.

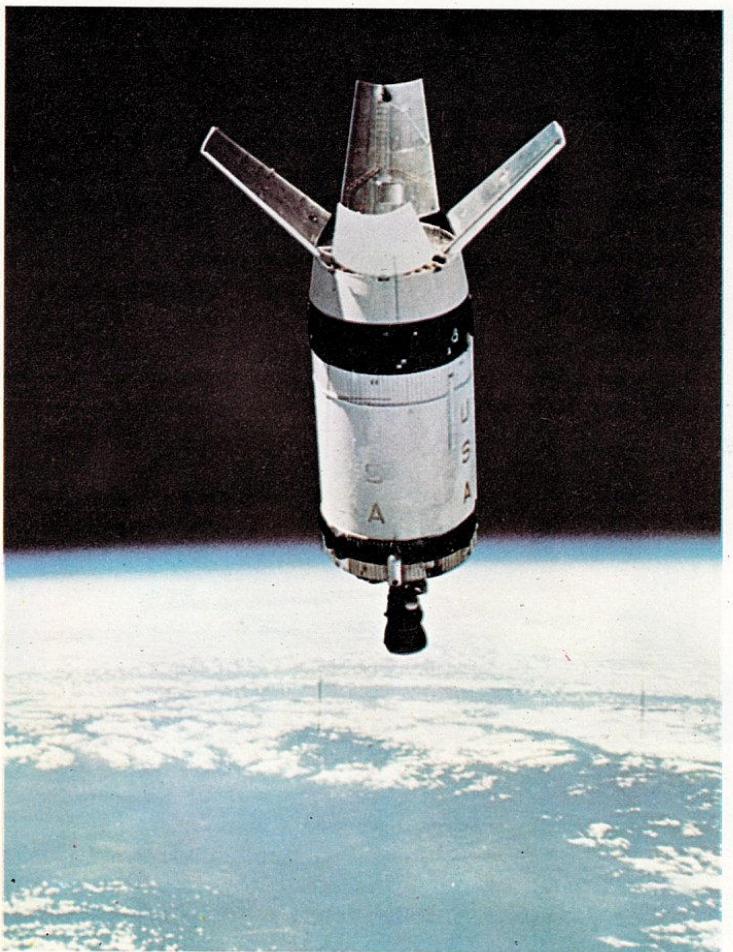
Amerika benutzte Schimpansen für die Vorbereitungsarbeit sowie die Mercury-Versuche auf suborbitaler Bahn (Bahn, bei der die Geschwindigkeit unterhalb der Kreisgeschwindigkeit liegt), die jedem der beiden bemannten suborbitalen Flügen vorausgingen. Ein Schimpanse wurde auf die normale Flug-bahn gebracht, bevor John Glenn am 20. Februar 1962 Amerikas ersten bemannten Flug um die Erde machte. Drei weitere bemannte Flüge vervollständigten das Programm.

Mercury war eine einfache, glockenförmige Raumkapsel, doppelwandig wie alle bemannten amerikanischen Raumfahrtzeuge, wobei die äußere Wand aus einer Nickel-Legierung und die innere aus Titan gefertigt war. Fasern aus keramischem Material isolierten die Wände, während das Hitzeschild von einer Mischung aus Glasfasern und Harz bedeckt war. Alle Untersysteme waren im Innern der unter Druck stehenden Kabine angeordnet und wegen der in jener Zeit beschränkten amerikanischen Startfähigkeit von möglichst kleinem Volumen und Gewicht. Für den Bremsschub war ein Satz von drei Feststoffraketen vorgesehen, die an dem Hitzeschild festge-macht wurden.

Ein wichtiger Unterschied zwischen dem sowjetischen Wostok und dem amerikanischen Mercury, der zum Modell für alle nachfolgenden Raumfahrzeuge wurde, war der, daß sich die Sowjets für eine Rückkehr zum Festland entschieden, während die Amerikaner trotz der gewaltigen dafür notwendigen Vorkehrungsmaßnahmen (John Glenn erhielt Hilfe von 24 Schiffen und 126 Flugzeugen) eine Landung auf dem Wasser bevorzugten. Diese Technik ist während der späteren Apollo-Flüge soweit vervollständigt worden, daß der Aufwand auf eine Handvoll Schiffe und Flugzeuge beschränkt werden konnte. Die sogenannten 'weichen' Landungen von Wostok wären für die Besatzungen ziemlich hart gewesen. Sie benutzten daher — abgesehen vom ersten Flug (Gagarin) — in 7 km Höhe stets einen Schleudersitz und landeten neben der Kapsel.

Der nächste Schritt schloß zwei sowjetische Flüge namens Woßchod ein, der erste trug drei Mann, der zweite nur zwei Besatzungsmitglieder. Allgemeine Kenntnisse und das Fehlen von Bildern legen nahe, daß es sich hierbei um modifizierte Wostok-Raumfahrzeuge handelte, die (mit Erfolg) entworfen wurden, um die Amerikaner an die Wand zu spielen. Bei Woßchod 1 hatte der Platzbedarf für die beiden zusätzlichen Sitze zur Folge, daß man auf Schleudersitze und Raumanzüge verzichten mußte. Wegen des Raumausfluges der Besatzung benötigte man bei Woßchod 2 Raumanzüge und eine Luftschiuse. Deshalb wurde die Anzahl der Besatzungsmitglieder auf zwei verringert.

Die Planung für das Apollo-Mondlandungsprogramm hatte bereits vor dem ersten Mercury-Flug begonnen. Das zweijährige Gemini-Programm jedoch, das 10 Zwei-Mann-Flüge umfaßte, wurde zur Gewinnung grundlegender Erkenntnisse über gegenseitige Begegnungs- und Kopplungsmanöver sowie über Langzeitaufenthalte und Raumausflüge durchgeführt. Gemini, das im Prinzip eine vergrößerte und verbesserte Version von Mercury darstellte, bestand aus einem großen Wiedereintrittskörper, einschließlich des Zwischenbauteiles zur Trägerrakete als einem nicht unter Luftdruck stehendem



**Oben:** Die verbrauchte 4B-Stufe der Trägerrakete der Skylab-3-Mission. Die amerikanischen Raketen werden derart gestartet, daß ihre Flugbahn über den Atlantik führt und ihre ausgebrannte erste Stufe, die in einer Höhe von 48 km bis 80 km abgetrennt wird, gefahrlos ins Meer stürzt.

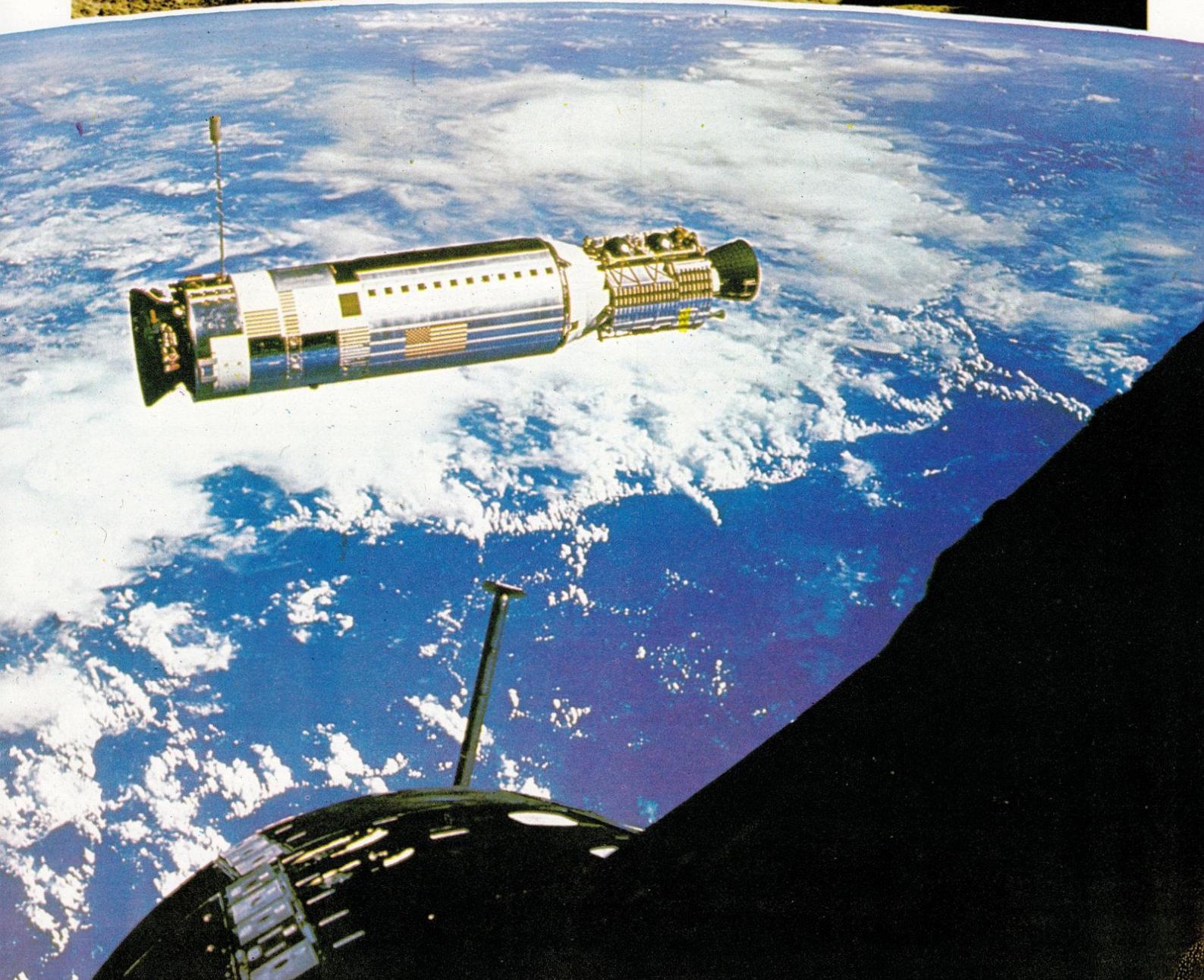
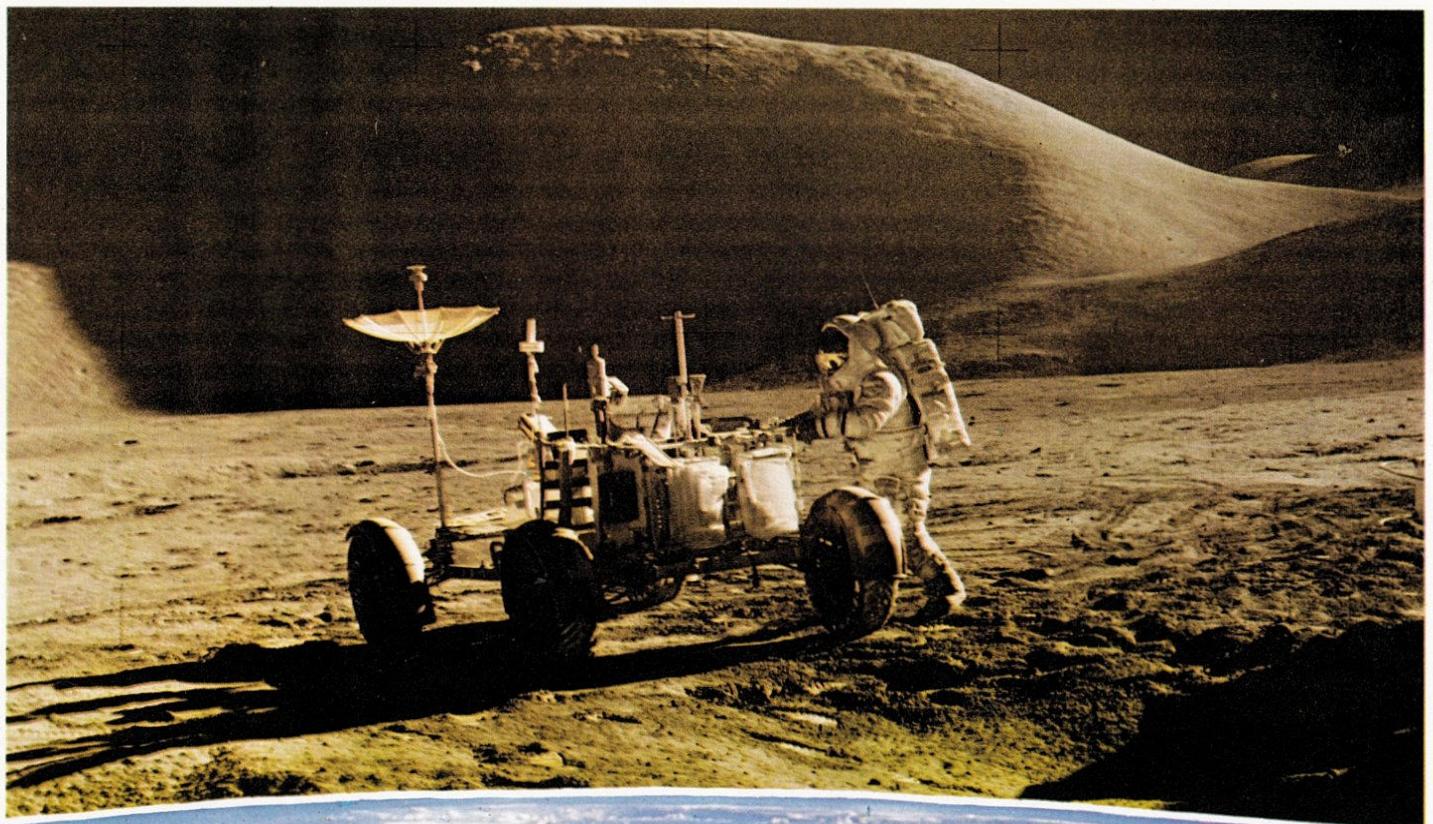
**Rechts oben:** James Irwin mit dem Mondfahrzeug von Apollo 15 im Jahre 1971. Das Fahrzeug fuhr insgesamt 28 km und sammelte etwa 76 kg Mondgestein und Mondboden.

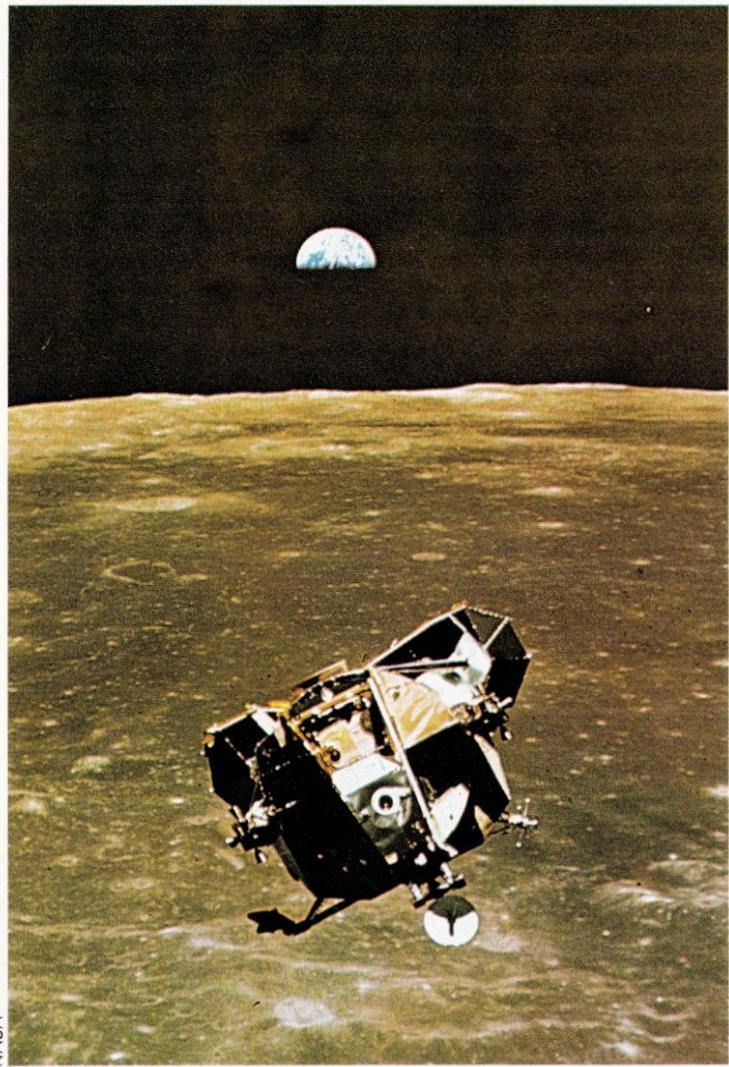
**Rechts unten:** Das 'Agena'-Aufsetzfahrzeug, mit dem die Anlegeversuche für die Gemini-Programme durchgeführt wurden. Diese Aufnahme wurde im Juli 1966 aus der Gemini-Kapsel aufgenommen.

Geräteteil zur Unterbringung des Lebenserhaltungssystems und der Bordenergieversorgung, und war überwiegend aus Titan und Magnesium hergestellt. Es war das erste Raumfahrtzeug, das eine elektronische Rechenanlage an Bord hatte, wodurch die Abänderungen im Flugplan berechnet werden konnten. Schleudersitze an Stelle eines Rettungsraketenau-satzes (eine kleine Rakete, die auf die Kommandokabine aufgesetzt ist und die Rakete im Falle einer Gefahr von der Trägerrakete rasch zu entfernen vermag) und getrennte Ausstiegsluken wurden für jedes Besatzungsmitglied benötigt.

### Sojus

Es wird angenommen, daß für das Drei-Mann-Sojus-Raumfluggerät, das erstmalig im April 1967 flog, Mondunternehmungen geplant waren. Ungleicherweise stürzte es ab, wobei das einzige Besatzungsmitglied, Wladimir Komarov, ums Leben kam. Diese Pläne wurden offenbar im Jahre 1969 in Richtung Raumstation umgelenkt, als bekannt wurde, daß eine amerikanische Mondlandung droht. Verschiedene darauf-





NASA

**Oben:** Die 'Apollo-11'-Mondlandeeinheit, mit der die ersten Männer auf dem Mond landeten. Neil Armstrong verließ die Landeeinheit am 20. Juli 1969, um die Mondoberfläche zu betreten.

folgende Flüge, die sich auf geminiähnliche Unternehmungen ausdehnten, gipfelten im Start des ersten bemannten Salut-Raumlabors im April 1971. Sojus 11, das im Juni 1971 mit Salut zusammengekoppelt wurde, endete mit dem Tod der Besatzung — sie bestand aus Georgi Dobrowolski, Viktor Pazajew und Wladislaw Wolkow — als beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre der Luftdruck in der Kabine plötzlich zusammenbrach. Daraufhin wurden Sojus-Flüge mit nachfolgenden Salut-Starts in Hinsicht auf das gemeinsame amerikanisch-sowjetische Annäherungs- und Kopplungsmanöver durchgeführt, das im Juli 1975 stattfand.

## Apollo

Apollo war dazu bestimmt, in Verbindung mit der Mondlandeeinheit drei Mann zum Mond und zurück zu bringen und darüber hinaus Informationen zu vermitteln. Die Apollo-Mondlandeeinheit (engl. LM — Lunar Module) war das erste wirkliche Raumfahrzeug, bei dem auf jegliche aerodynamische Überlegungen verzichtet wurde.

## Die Zukunft

Der nächste Schritt wird die Raumfähre (engl. Space Shuttle) der NASA sein, ein wiederverwendbarer, bemannter Transporter, der regelmäßig zwischen der Erde und einer niedrigen Flugbahn hin und her pendeln wird. Es liegt nahe, daß auch die Sowjets einen ähnlichen Typ von Raumfahrzeug entwi-

keln. Die Raumfähre ist deshalb bedeutungsvoll, weil damit ein höheres technologisches Niveau in der bemannten Raumfahrt erreicht wird.

Die Raumfähre wird, ähnlich einem gewöhnlichen Flugzeug, senkrecht gestartet und antriebslos zu einer Landebahn zurückkehren. An Stelle des Ablationsschutzes wird sie mit einem neuen Typ keramischer Platten bedeckt, der für wiederholte Verwendung vorgesehen ist. Sie wird mit ihren drei Flüssigkeitstriebwerken abheben, die von einem riesenhaften, außen angebrachten abwerfbaren Treibstofftank versorgt werden, an dem ein Paar Feststoffraketen als Zusatztriebwerk angebracht sind, die den Hauptanteil des Schubs beim Abheben übernehmen. Die Zusatztriebwerke werden in der Höhe abgeworfen und aus dem Meer zur Wiederverwendung geborgen. Der Treibstofftank wird aus der Flugbahn zur Zerstörung in der Erdatmosphäre abgetrennt. Zwei kleinere Triebwerke werden Flugbahnmanöver erlauben.

Die Raumfähre ist überwiegend ein Transportfahrzeug. Ihr Frachtraum besitzt 18,3 m Länge, 4,6 m Durchmesser und ist in der Lage, 29,5 Tonnen in die Umlaufbahn und etwa 18 Tonnen zurück zur Erde zu bringen. Sie wird nicht nur Satelliten in den Weltraum bringen, sondern sie auch zu Reparaturen und zur Neuausstattung wieder einsammeln und auf die Erde zurückbringen. Vierzehntägige Flüge werden mit einer Besatzung von vier Mann möglich sein; darüber hinaus wird für vier weitere Passagiere Platz sein. Daher können Wissenschaftler an Bord genommen werden, um in einem neuen, in der Flugbahn befindlichen Nutzlastlabor zu arbeiten, das den Namen Raumlabor (engl. spacelab) trägt und in Europa entwickelt wird. Es ist ein Raumlabor für Perioden von sieben bis 30 Tagen.

Der nächste Schritt wird dann die ständige Raumstation sein, zusammengebaut und versorgt von der Raumfähre. Ein vollautomatisches Schleppfahrzeug wird zur Leistungssteigerung der Raumfähre gebaut werden, um Nutzlasten auf eine höhere Umlaufbahn bringen zu können, als es der Raumfähre möglich sein wird. Dieses vollautomatische Schleppfahrzeug könnte sich gut zu einem bemannten Schleppfahrzeug weiterentwickeln; es wäre dann das erste eigentliche Raumschiff, das dauernd im Raum operieren würde. Wenn die Geldmittel weitere Monderkundungen oder sogar den Bau einer Station auf der Mondoberfläche erlauben würden, könnte dieses Fahrzeug zu einer translunaren Fähre werden, die die Verbindung zur Raumfähre oder zur Raumstation in der Erdumlaufbahn herstellt.

Das interplanetare Raumschiff ist bereits theoretisch möglich. Ein bemannter Flug zum Mars, augenblicklich ad acta gelegt, war von der NASA für das Jahr 1986 vorgesehen. Der zweijährige Rundflug sollte (zur gegenseitigen Unterstützung) zwei identische Sechsmann-Raumfahrzeuge umfassen, die in einer Erdumlaufbahn zusammengebaut werden. Wie geplant, sollte jedes Schiff aus vier riesigen Zylindern aufgebaut sein, von denen drei in einer Reihe als Treibstofftanks für die drei Kernenergitriebwerke angeordnet sein sollten. Zusätzlich sollte der Mannschaftsraum, der am vorderen Ende des zentralen Tanks vorgesehen war, zur Aufnahme der Landefähre vorne etwas abgeschrägt sein. Seine Länge sollte 82,3 m und sein Gewicht 730 Tonnen betragen. Die beiden äußeren Triebwerke waren als Starthilfe vorgesehen, bevor sie abgelöst und in die Erdumlaufbahn zurückkehren sollten. Das dritte Triebwerk sollte das restliche Raumschiff auf der Reise antreiben. Die Schiffe sollten 80 Tage in einer Mars-Umlaufbahn kreisen, wobei jeweils die Hälfte jeder Besatzung 30 Tage an der Marsoberfläche verbleiben würde. Brennstoffbeschränkungen würden einen 290 Tage dauernden Rückflug erfordern, wobei die Bahn der Erde um die Sonne gekreuzt werden würde, um die Schwerkraft der Venus für das Rückflugmanöver zur Erde auszunutzen.



# Erfindungen 39: DRUCKEN

Das Drucken wurde wahrscheinlich in Indien wenige Jahrhunderte vor Christi Geburt erfunden. Indien war zu dieser Zeit schon lange bekannt für seine Kleidung aus Baumwolle und die Farbqualität der Stoffe. Der griechische Schriftsteller Strabo — er starb 20 n. Chr. — beschrieb indische Druckstoffe. Das Druckmuster wurde offenbar als Relief auf die flache Oberfläche eines kleinen Holzblocks geschnitten und anschließend mehrere Male auf den ausgespannten Stoff gedrückt, so daß einfache, sich wiederholende Muster entstanden.

## Textildruck

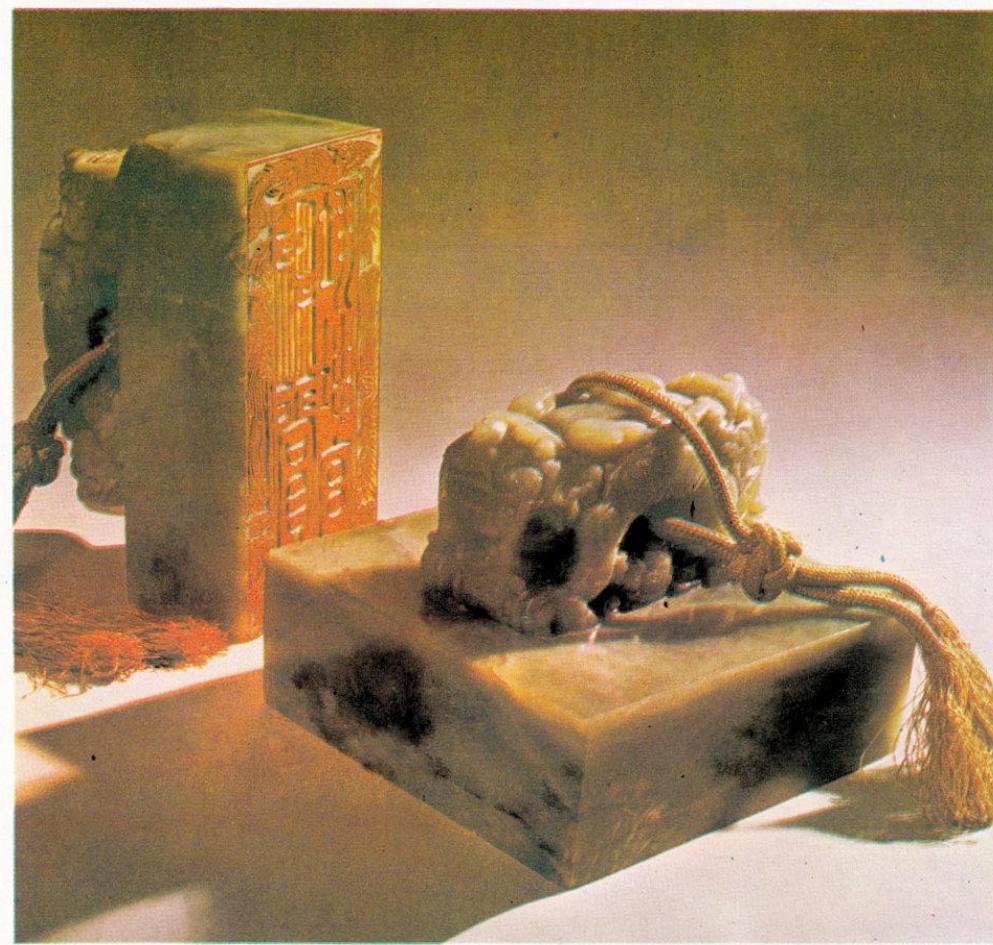
Im 6. Jahrhundert n. Chr. gelangte der Textildruck nach Ägypten. Beispiele dieser Drucke und der hölzernen Druckstöcke wurden in den Ruinen der Stadt Panopolis (heute Achmim) sowie im Grab von Cäsarius von Arles, der um 543 n. Chr. starb, gefunden.

Die Kunst des Textildrucks dehnte sich nicht nur nach Westen aus. Man kennt auch Beispiele aus Japan, Persien und Zentralasien. Die Kenntnisse des Textildrucks wurden ohne Zweifel vom 2. Jahrhundert n. Chr. an durch buddhistische Mönche, die in Zentralasien ihre Lehre verbreiteten, dorthin gebracht. Durch das Zusammentreffen zweier Kulturkreise wurde die Entwicklung des Druckens äußerst günstig beeinflußt.

## Chinesische Tinte

Von 500 n. Chr. an kannten die Chinesen die Herstellung von Papier. Das Geheimnis der Papierherstellung hatte sich bis in den Bereich von Sinkiang verbreitet. Durch das Vorhandensein von Papier hat sich auch eine neue Art des Schreibens mit Tinte, der sogenannten Chinesischen Tinte, entwickelt. Sie wurde von Wei Tang etwa um 500 n. Chr. erfunden. Sie bestand aus einem Gemisch von Ruß und wasserlöslichem Gummi oder Leim und wurde in fester Form hergestellt. Durch Hinzufügen von Wasser erhielt man flüssige Tinte.

Auch die Chinesen hatten eine Art des Druckens entwickelt. Ein persönlicher Stempel zur Unterschrift von Dokumenten oder Briefen war allgemein verbreitet. Der Stempel wurde mit einer Mischung aus rotem Pigment (Zinnober) und Fett oder Öl überzogen und auf das Papier gedrückt. Von 400 n. Chr. an trat eine



**Oben:** Zwei kaiserliche Jadestempel aus China. Die Zeichen wurden reliefartig in die Oberfläche des Stempels geschnitten, der dann mit fetthaltiger roter Tinte überzogen und auf Papier gedrückt wurde. Die Zeichen erschienen somit rot auf hellem Untergrund.

**Unten:** Der Buchdruck im 16. Jahrhundert war ein mühsamer Vorgang. Jedes Zeichen wurde einzeln gesetzt und jede Seite für sich gedruckt. Danach wurde jede Seite individuell aufgehängt, damit die frisch aufgetragene und noch nasse Tinte trocknen konnte.



Potest ut una vox capi aure pharuma: IMPRESSIO LIBRORVM. Linunt ita una scripta mille paginas.

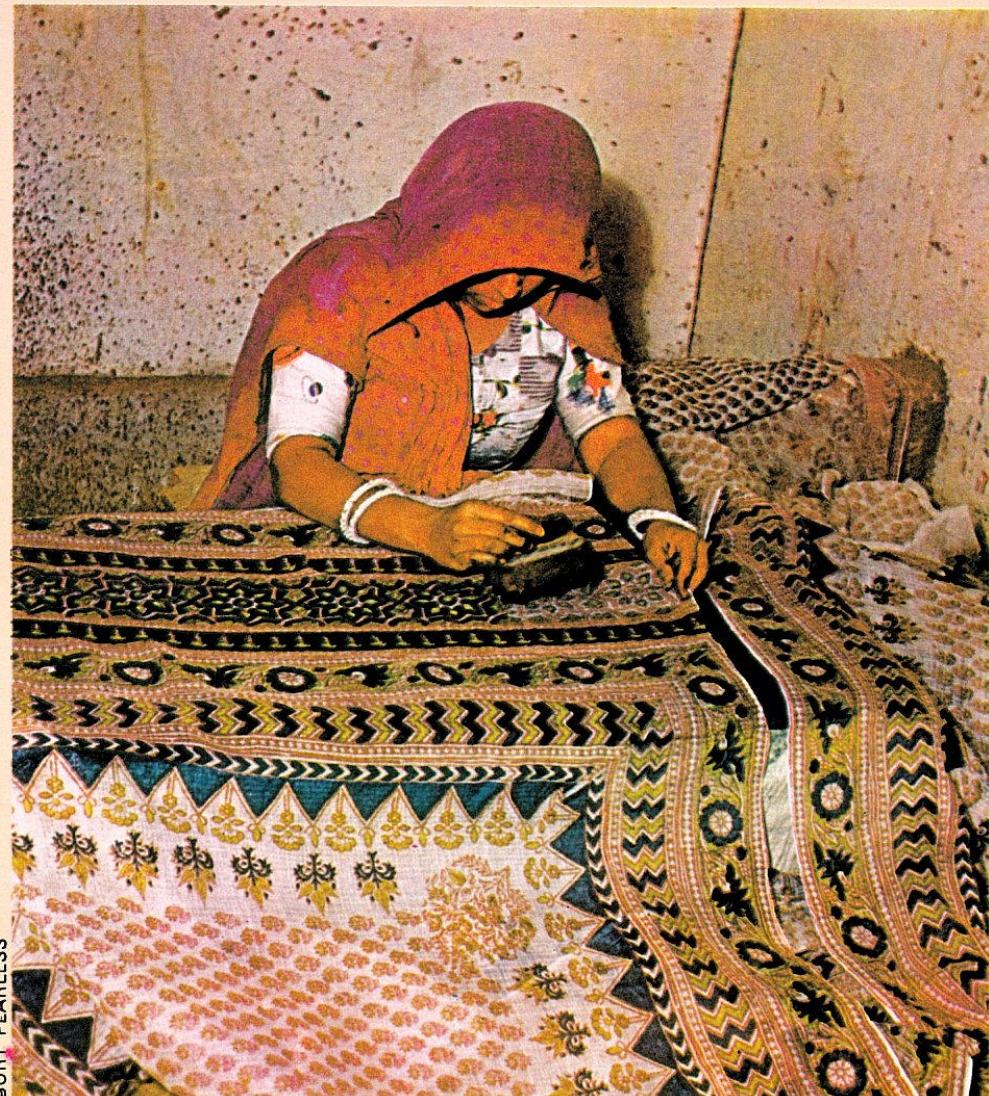
Druckstock aus Holz völlig aus. Das Bild oder der Text wurde spiegelbildlich in das Holz, das anschließend eingefärbt wurde, geschnitten. Das Papier wurde auf den Druckstock gelegt und mit einem halbkugelförmigen Kissen heruntergedrückt. Dies entspricht dem umgekehrten Druckvorgang von heute. Ab dem 10. Jahrhundert druckten die Chinesen nicht nur Bücher, sondern auch Kalender, Spielkarten und sogar Papiergele.

### Gedruckte Bücher

Das älteste als Schriftrolle überlieferte 'Buch' ist das Diamond Sutra, das um 868 n. Chr. gedruckt wurde. Es ist etwa 30 cm breit und — entrollt — etwa 5 m lang.

Jede 'Seite' wurde von einem Druckstock, der von Hand geschnitten werden mußte, gedruckt. In gleicher Weise wurde der Buddhistische Kanon, der Tripitaka, etwa im Jahre 980 n. Chr. auf 5048 Schriftrollen abgedruckt. Der Taoistische Kanon mit 4565 Schriftrollen wurde etwa 1019 n. Chr. fertiggestellt.

Das Drucken mit Druckstöcken wurde in Ägypten nicht weiter fortgeführt und mußte daher in Ländern des Islam und in Europa neu erfunden werden. Um 1294 n. Chr. wurde Papiergele in Tabriz (Persien) gedruckt. Aus ungefähr der gleichen Zeit stammt der erste gedruckte Koran, der in der Nähe von El Faijum in Ägypten entstand. Ab 1440 n. Chr. wurden Spielkarten und Textilien auch in Europa ge- bzw. bedruckt. Der älteste bekannte Druck stellt den Heiligen Christophorus dar und stammt aus dem Jahre 1423 n. Chr.



entscheidende Änderung ein, als man dazu überging, die Zeichen reliefartig zu schneiden, wodurch die Zeichen beim Stempeln rot auf hellem Untergrund erschienen.

### Druckstöcke

Chinesische Tinte ließ sich nicht bei Stempeln aus Metall oder Stein verwenden, da sie wasserabstoßend sind und somit die Oberfläche nicht genügend färbten. Vermutlich waren es die buddhistischen Missionare, die als erste erkannten, daß chinesische Tinte in Verbindung mit einem hölzernen Druckstock, den sie bereits kannten, verwendet werden kann. Folglich stammen die ersten Druckerzeugnisse aus Zentralasien. Sie hatten die Form von Zetteln, auf denen Buddha als Glücksbringer abgebildet war. Diese Abbildungen entstanden vermutlich um 600 n. Chr. Im darauf folgenden Jahrhundert beschrieben chinesische Geschichtsschreiber, daß Druckstöcke sowohl in China als auch in Indien verwendet wurden. Im Jahre 767 n. Chr. ordnete der Kaiser von Japan, ein überzeugter Buddhist, den Druck von einer Million dieser Glücksbringer an.

Für kleine Auflagen reichte der

**Oben:** Einfache, sich wiederholende Muster sind typisch für das Bedrucken von Stoffen in Indien.

**Unten:** Japanische Drucker verwendeten zum Drucken hölzerne Druckstöcke. Das zu druckende Motiv wurde spiegelbildlich aus dem Holz geschnitten.

