

HEFT 62 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

Uhr	1709
Ultraschall	1713
Ultraviolellumpe	1717
Umlaufbahn	1718
Umweltschutz	1720
Unbemanntes Flugzeug	1725
Unkrautbekämpfung	1729
Unterseeboot	1732

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

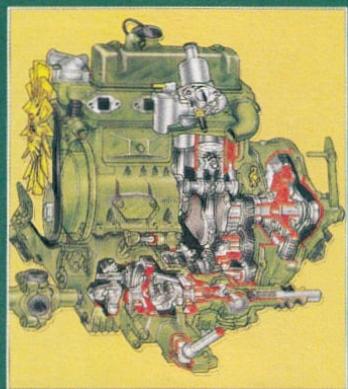
Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen. Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis 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 63 von Wie Geht Das

HEFT 63 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK DM 3

WIE GEHT DAS

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



Die Erfindung des Verbrennungsmotors hat entscheidend zur Entwicklung des Autos und des Flugzeuges beigetragen. Beide Verkehrsmittel haben das Leben im 20. Jahrhundert weitgehend beeinflußt. Lesen Sie in Heft 63 von Wie Geht Das, wie der Verbrennungsmotor funktioniert.

Uran ist aufgrund seiner Verwendung in Kernreaktoren und Atomwaffen heute eines der wichtigsten Metalle. Erfahren Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das, wie Uran aus dem Uranerz gewonnen wird und wozu es verwendet wird.

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 Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

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

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

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



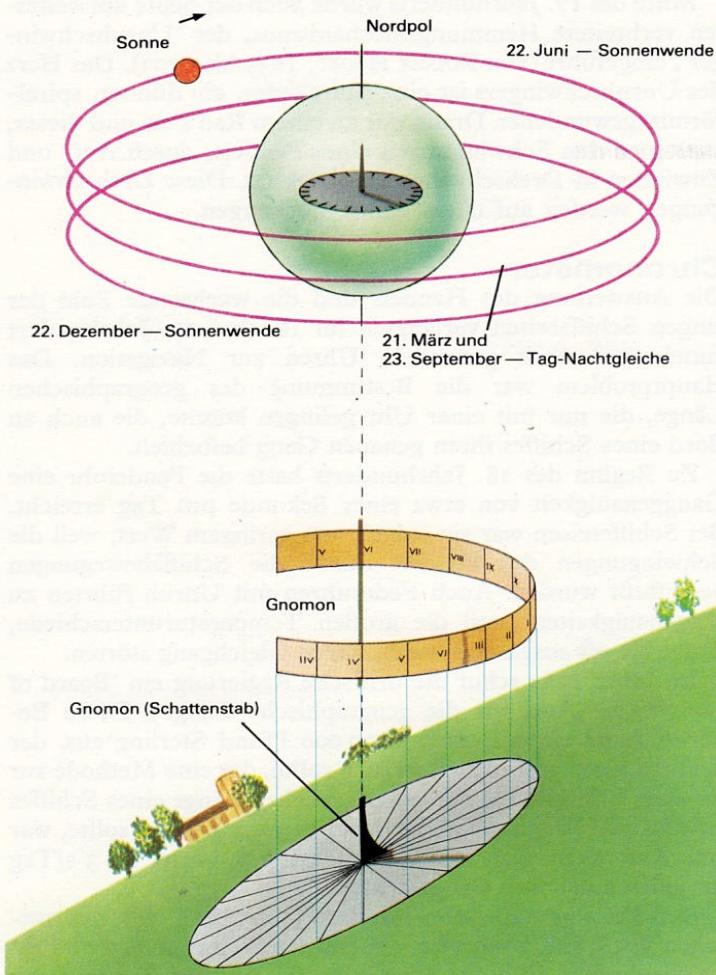
UHR

Uhren sind aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Neben ihrer üblichen Aufgabe, die Tageszeit anzugeben, werden sie in vielen anderen Bereichen gebraucht: Bei der Programmierung von Produktionsabläufen, bei Zeitschaltern zur Straßenbeleuchtung und anderen Schaltaufgaben, bei der Zeitmessung in der Technik und im Sport und bei der Navigation auf der Erde und im Weltraum.

Mit der Erfindung mechanischer Uhrwerke nahm die Vorstellung von der Zeit als einer linearen, kontinuierlichen und nicht auf andere physikalische Variablen zurückführbaren Größe Gestalt an. Die ersten Uhrwerke wurden wahrscheinlich im späten 13. Jahrhundert gebaut, aber erst seit dem 17. Jahrhundert kann die Genauigkeit der Uhren als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Lange vorher benutzte man Sonnenuhren, um den Ablauf der Zeit sichtbar zu machen. Die ersten Formen sind von den Chinesen und den Babylonieren bekannt. Die Sonnenuhr hat sich aus dem einfachen Sonnenweiser, dem Gnomon, entwickelt. Man lässt einen Stab einen Schatten werfen, der auf eine in Stunden unterteilte Skala fällt. Bei der Bewegung der Sonne von Osten nach Westen überstreicht der Schatten des Stabes die Skala und zeigt die Tageszeit an.

Bei Bewölkung oder nach Sonnenuntergang war die Sonnenuhr zur Zeitbestimmung nicht geeignet. Deshalb konstruierte man verschiedene Vorrichtungen, die aufgrund regelmäßiger Bewegungsabläufe oder Zustandsänderungen eine Messung des Zeitablaufs ermöglichen. Ein solches Gerät ist die Wasseruhr (früher 'Klepsydra'): Hier läuft Wasser aus einem großen Behälter durch ein dünnes Rohr in ein Auffanggefäß, dessen Wasserspiegel ein Maß für die Zeit darstellt.



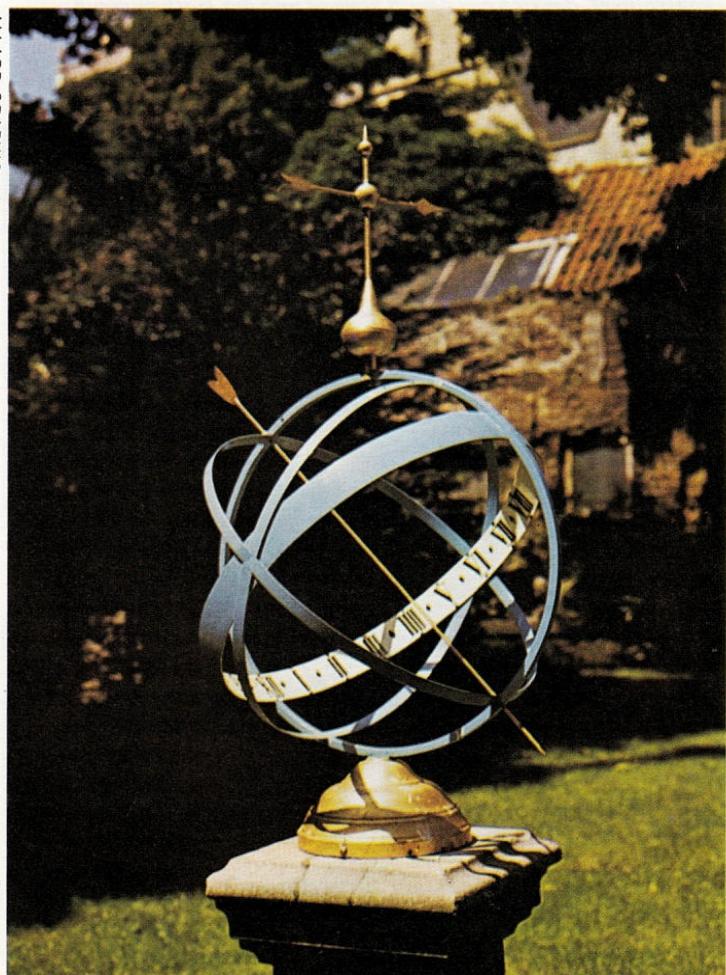
ALLARD GRAPHIC ARTS



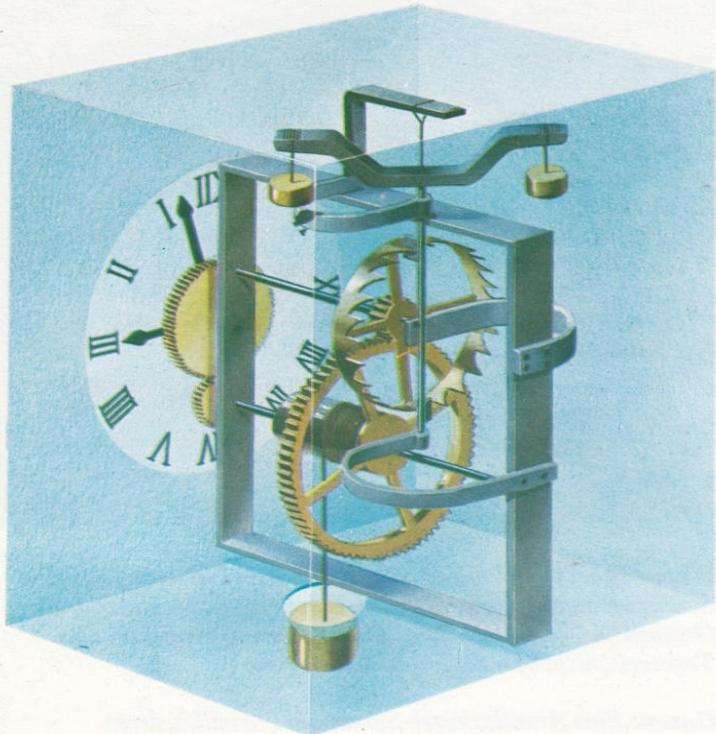
Oben: In die Wände vieler alter Kirchen sind Markierungen für Sonnenuhren eingeritzt. In diesem Beispiel fehlt der horizontale Gnomon (Schattenstab). Die Linien zeigten nur ungefähr die Tageszeit, nicht aber die genaue Uhrzeit an.

Unten: Eine Armillarkugel-Sonnenuhr (Armille), deren gleichmäßige Stundeneinteilungen auf einem Ring angebracht sind, der um den örtlichen Breitengrad geneigt ist. Der Gnomon zeigt auf den Himmels-Nordpol.

Links unten: Würde die Sonne sich um die Erde drehen und nicht umgekehrt, so müßte es scheinen, als bewege sich die Sonne täglich längs einer anderen Bahn. An drei Beispielen wird gezeigt, in welcher Weise eine Sonnenuhr im Erdmittelpunkt die Zeit anzeigen würde.



KEYSTONE PRESS



Oben: Die älteste Form der mechanischen Uhr. Der Antrieb erfolgt über ein Gewicht, das an einem Seil hängt. Das Seil wird um eine Walze gewickelt. Der Abwärtsbewegung des Gewichtes entspricht eine Drehbewegung der Walze. Der gesamte Ablauf wird durch einen Hemmungsmechanismus kontrolliert, der sich aus dem Kronrad und der Balkenunruh zusammensetzt.



Oben: Die Ulmer Rathausuhr. Früher war der Uhrenturm eines der wichtigsten Kennzeichen einer Stadt. Die reiche Uhrendekoration dieser Turmuhr hat die Zeichen des Tierkreises zum Gegenstand.

Die ersten Räderuhren

Die wesentlichen Teile eines mechanischen Uhrwerks sind eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Drehbewegung, ein Mechanismus zur Regelung der Geschwindigkeit dieser Drehung und ein System von Zahnrädern, das die Bewegung auf die Zeiger der Uhr überträgt. Die ersten Räderuhren wurden durch Gewichte angetrieben: Ein Gewicht wird an einer Schnur oder Kette befestigt, die man um eine horizontale Walze wickelt. Das 'Zuggewicht' zieht an der Schnur und versetzt damit die Welle in Drehbewegung.

Die Drehung der Welle wurde anfänglich durch eine 'Balkenunruhe' ('Foliot', 'Waag') kontrolliert, die um eine vertikale Achse, die 'Spindel', drehbar gelagert war. Zwei Ansätze an der Spindel griffen abwechselnd in die Zähne eines mitbewegten 'Kronrades' ein und hemmten so das Abrollen der Schnur. Die Schwingungen der Unruh wurden dadurch aufrechterhalten, daß das Kronrad dem Ansatz der Spindel, der gerade wieder von ihm abhob, einen kleinen Stoß mitgab. Die Drehgeschwindigkeit des Kronrades und damit schließlich auch die Geschwindigkeit der Zeiger der Uhr hingen von der Schwingungsfrequenz der Unruh ab.

Federn als Antriebsquelle anstelle von Gewichten tauchten zuerst im späten 15. Jahrhundert auf. Die Gangregulierung von Uhren durch Schwerependel hingegen kennt man erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts. Hier wird die Schwingungsbewegung des Pendels über zwei fest verbundene Zacken eines 'Ankers' zum Eingreifen in das Kronrad genutzt. Anderseits hält das Kronrad über den Energievorrat des Zuggewichts oder der gespannten Feder durch Anstoßen der Zacken beim Vorrücken um einen Zahn das Pendel in Gang. Da die Schwingungsdauer eines Schwerependels nur von seiner Länge abhängt, läßt sich durch verschiedene Regulierungsmechanismen (z.B. verschiebbare Gewichte) der Gang einer Pendeluhr sehr empfindlich kontrollieren.

Mitte des 17. Jahrhunderts wurde auch der heute am weitesten verbreitete Hemmungsmechanismus, der 'Unruhschwinger', eingeführt (von Robert Hooke, 1635 bis 1703). Das Herz des Unruhschwingers ist eine Spiralfeder, ein dünner, spiralförmig gewundener Draht, der an einem Rad sitzt und dieses, analog zu den Schwingungen eines Pendels, durch Auf- und Zuwinden in Drehschwingungen versetzt. Diese Drehschwingungen werden auf einen Anker übertragen.

Chronometer

Die Ausweitung des Handels und die wachsende Zahl der langen Schiffsreisen verlangten im 16. und 17. Jahrhundert zunehmend nach genaueren Uhren zur Navigation. Das Hauptproblem war die Bestimmung der geographischen Länge, die nur mit einer Uhr gelingen konnte, die auch an Bord eines Schiffes ihren genauen Gang beibehielt.

Zu Beginn des 18. Jahrhunderts hatte die Pendeluhr eine Ganggenauigkeit von etwa einer Sekunde pro Tag erreicht. Bei Schiffsreisen war sie jedoch von geringem Wert, weil die Schwingungen des Pendels durch die Schiffsbewegungen beeinflußt wurden. Auch Federuhren mit Unruh führten zu Ungenauigkeiten, weil die großen Temperaturunterschiede, denen sie oft ausgesetzt waren, ihren Gleichgang störten.

Im Jahre 1714 schuf die britische Regierung ein 'Board of Longitude' (Amt für die geographische Länge). Diese Behörde setzte einen Preis von 20 000 Pfund Sterling aus, der demjenigen zugesprochen werden sollte, der eine Methode zur genauen Bestimmung der geographischen Länge eines Schiffes entwickelte. Wenn eine Uhr dabei benutzt werden sollte, war eine Anforderung an ihre Genauigkeit von besser als 3 s/Tag für jeden möglichen Ort gestellt.

Den Preis gewann John Harrison (1693 bis 1776), der zwischen 1728 und 1759 vier verschiedene 'Chronometer', Präzisionsuhren zur Verwendung in der Navigation, konstruierte.



(Auch andere Uhren mit garantierter, hoher Genauigkeit werden heute als Chronometer bezeichnet.) Sein viertes Modell genügte schließlich den Anforderungen des Amtes: Während einer Reise von 156 Tagen zeigt es nur eine Abweichung von 54 s.

Moderne Uhren

Obwohl viele Uhren noch mechanisch angetrieben werden, setzen sich elektrische Uhren und elektronische ARMBAND-UHREN immer mehr durch. Elektrische Uhren können

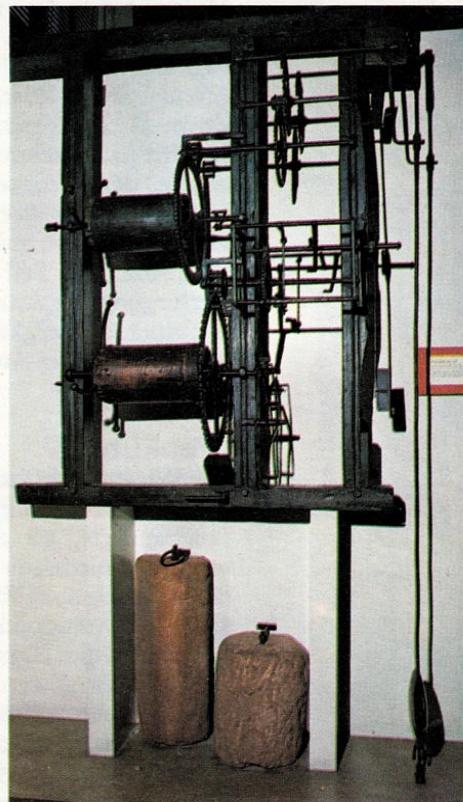
batteriegetrieben sein, wobei ein kleiner Motor über eine Unruhfeder gesteuert wird. Viele einfache elektrische Uhren werden direkt über das Wechselstromnetz versorgt. Ein Wechselstrommotor, dessen Achse sich mit der Frequenz des Stromnetzes dreht, bewegt über ein geeignetes Getriebe die Zeiger der Uhr.

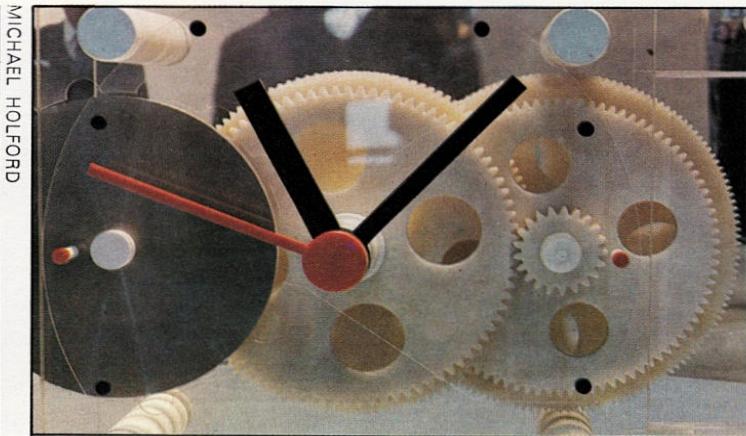
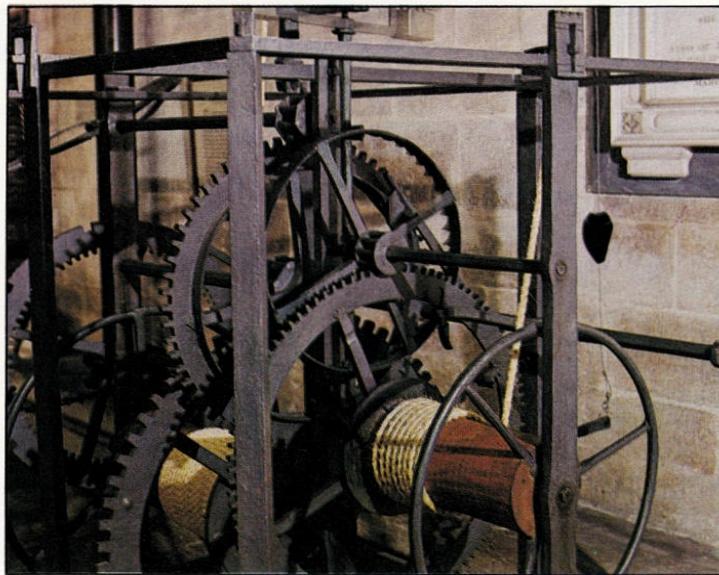
Bei klassischen mechanischen Uhrwerken geht man von periodischen Schwingungen, z.B. von Spiralfedern oder Pendeln, aus, um den Gleichgang zu garantieren. Entsprechend nutzt man in einer QUARZUHR die elektrisch angeregten

Oben: Eine alte Uhrmacherwerkstatt in einem Mailänder Museum.

Rechts: Turmuhr mit Holzbalkenstruktur im Wissenschaftsmuseum London. Die meisten Uhrenrahmen für Turmuhr wurden ab Ende des 13. Jahrhunderts aus Eisen gebaut. Es gibt jedoch eine Tradition der Holzrahmenkonstruktion, für die diese Kirchturmuhren aus Martley, Worcestershire, England, ein gutes Beispiel ist. Sie wurde wahrscheinlich zwischen 1680 und 1700 hergestellt. Die Balkenstruktur ist aus Eiche, in deren oberem Teil sich das Gehwerk und im unteren das Schlagwerk befinden. Das Pendel mit einem Ankerhemmungsmechanismus schwingt einmal in $1\frac{1}{56}$ s. Das Schlagwerk wird durch eine 'Schloßscheibe' oder einen 'Rechenhebel' gesteuert. Gehwerk und Schlagwerk werden jeweils mit einer Winde mit Sperrstangen aufgezogen, die in Speichenräder greifen. Die Gewichte sind aus Stein.

Rechts aussen: Dieses Pendel einer Barockuhr besteht aus zwei verschiedenen Metallsorten, um Schwingungsänderungen durch Temperatureinflüsse auszugleichen und größere Ganggenauigkeit zu erreichen.



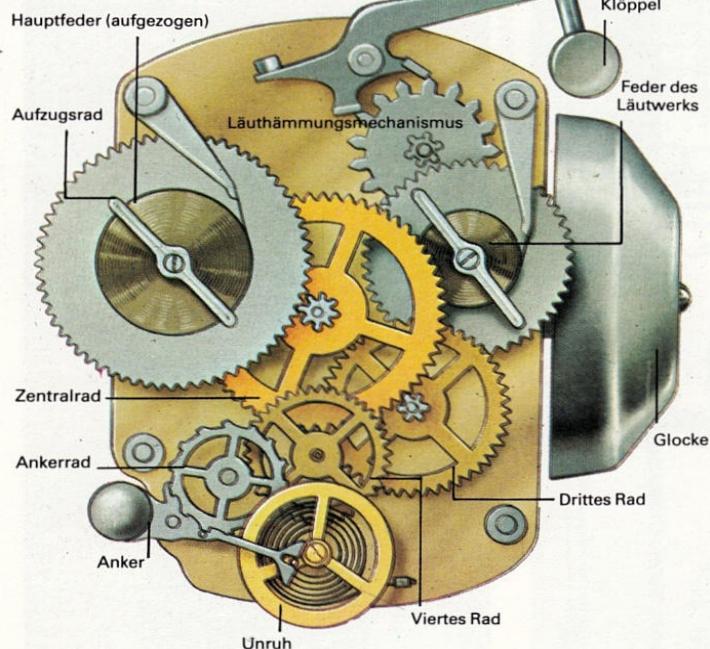


EXPRESSION FOTO

mechanischen Schwingungen eines Quarzkristalls. Quarz ist eine piezoelektrische Substanz: Wenn zwischen den Enden eines Kristalls aus Quarz eine elektrische Spannung angelegt wird, verändert sich seine Länge. Umgekehrt tritt bei einer Verformung eine kleine elektrische Spannung auf.

In einer Quarzuhr wird der Kristall elektrisch zu 'Resonanzschwingungen' angeregt — Schwingungen, die man leichter als alle anderen anregen kann. Die Frequenz von Resonanzschwingungen kann sehr genau aufrechterhalten werden, da sie durch die Gestalt und die Abmessungen des Kristalls bestimmt ist. Hat der Kristall begonnen, mit seiner Resonanzfrequenz zu schwingen, so ergibt sich an seinen Enden eine elektrische Wechselspannung derselben Frequenz. Diese Wechselspannung kann man (nach geeigneter Verstärkung) dazu nutzen, einen kleinen Motor anzutreiben, der die Zeiger einer Uhr bewegt. In Quarzuhren mit digitaler Anzeige wird die Spannung in einen Schaltkreis gespeist, der eine Flüssigkristallanzeige (LCD) oder eine Anzeige mit lichtemittierenden Diode (LED) kontrolliert. Ein geringer Teil der Wechselspannung wird dem Kristall zur Aufrechterhaltung der Schwingungen durch Rückkopplung wieder zugeführt.

WECKER



Oben: Der Mechanismus einer Weckuhr mit einer zusätzlichen Feder zum Antrieb des Läutwerks.

Links und oben: Im Bild links die heute noch eingesetzte, älteste öffentliche Uhr Großbritanniens in der Kathedrale von Salisbury. Sie wurde im Jahre 1386 hergestellt, hat eine Balkenunruh und wird durch Gewichte angetrieben, die an Seilen aufgehängt sind. Diese werden auf Holztrommeln gewickelt, über die die jeweils ersten Räder des Gehwerks und des Schlagwerks bewegt werden. Die Uhr im Bild oben ist im Gegensatz dazu ganz aus Kunststoff hergestellt.

Quarzuhren können mit einer Ganggenauigkeit von weniger als $1/30$ s Abweichung pro Tag gebaut werden.

Eine weitere Art von natürlicher Resonanz, die man zur Zeitmessung nutzen kann, findet sich bei Atomen, z.B. bei Cäsium in einem Magnetfeld. Je nach der Richtung des Spins seines äußeren Elektrons kann das Cäsiumatom zwei verschiedene Energiezustände einnehmen. Wenn ein Atom sich durch ein elektromagnetisches Feld bewegt, dessen Frequenz 9192 MHz beträgt, geht es von einem Zustand in den anderen über.

In der Cäsium-'Atomuhr' wird ein Strahl von Cäsiumatomen, die aus einem kleinen Ofen verdampfen, durch ein elektromagnetisches Feld gelenkt. Ein Quarzkristall liefert eine Frequenz von beispielsweise 5 MHz, mit der man durch Multiplikation die 9192 MHz-Schwingung des elektromagnetischen Feldes erhält. Wenn die Frequenz genau der der Atomresonanz entspricht, ändert eine maximale Zahl von Atomen ihren Zustand. Diesen Resonanzfall kann man mit einem Detektor nachweisen. Weicht die Frequenz etwas ab, so wird im Detektor eine Änderung gemessen, die eine Korrektur der Frequenz des Quarzschnürgesetzes auf den ursprünglichen Wert bewirkt. Da die Atomfrequenz sehr scharf ist, erhält man so eine sehr genaue Stabilisierung der Frequenz. Ein Teil des Signals des Schwingkreises wird zur Versorgung der Anzeige der Atomuhr verwendet, die die Zeit mit einer Genauigkeit von etwa 1 s in 1000 Jahren misst. Eine neuere Form der Atomuhr, die Wasserstoffmaseruhr, ist sogar noch genauer.

Weckuhren

Die Weckuhr, heute ein sehr verbreitetes Haushaltsgerät, hat ebenfalls eine lange Geschichte. Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts, als es darum ging, dieses Gerät zu einem möglichst niedrigen Preis herzustellen, ist es jedoch so ziemlich seine eigenen Wege gegangen. Die mechanischen Bauteile sind vom Standpunkt des Uhrmachers her nicht sonderlich verfeinert, die Herstellungsmethoden jedoch erheblich fortgeschritten. Manche Fabriken produzieren pro Minute einen vollständigen, geprüften Wecker, der mit einer Genauigkeit von 99,6% reguliert ist. Elektrische und elektronische Wecker erfreuen sich wachsender Beliebtheit, da das tägliche Aufziehen entfällt.

ULTRASCHALL

Ultraschallwellen sind Schallschwingungen hoher Frequenz, die der Mensch nicht hören kann. Sie können auf vielerlei Art verwendet werden, z.B. bei der Suche nach Öllagerstätten unter dem Meer oder nach Erdgasvorkommen, aber auch in der Medizin als Ersatz für Röntgenstrahlen.

Mit Ultraschall bezeichnet man eine bestimmte Art von Wellen, die sich von Schallwellen nur dadurch unterscheiden, daß sie für den Menschen wegen ihrer hohen Frequenz nicht mehr wahrnehmbar sind. Solche Wellen breiten sich aus, wenn sich ein Gegenstand in einer Substanz hin- und herbewegt, deren Bausteine (Atome, Moleküle) eng genug zusammenliegen, um aufeinander eine Wechselwirkung auszuüben. Diese Bedingung ist in Festkörpern, Flüssigkeiten und in Gasen unter normalem und höherem Druck erfüllt, aber nicht in Gasen bei niedrigem Druck oder im Vakuum.

Bei einer Kompressionswelle (Druckwelle), der einzigen in der Gasphase existierenden Schallwellenform, bewegen sich die Moleküle in der Ausbreitungsrichtung hin und her. Dadurch entstehen periodische Druckschwankungen. Kennzeichen dieser (wie auch aller anderen) Wellen sind die 'Frequenz', also die Zahl der Schwingungen pro Sekunde, die 'Amplitude', womit man die maximale Verschiebung der schwingenden Teilchen bezeichnet, und die 'Wellenlänge'. Die Wellenlänge ist die Strecke, die eine Welle zurücklegt, während sie eine volle Schwingung ausführt.

Das menschliche Ohr kann Druckwellen mit Frequenzen zwischen 20 Hz (Schwingungen pro Sekunde) und etwa 20 000 Hz mit dem Gehör wahrnehmen. Dieser Bereich heißt hörbarer 'Schall'. Schallschwingungen oberhalb 20 000 Hz heißen 'Ultraschall'. Obwohl Menschen in diesem Bereich nichts hören, können einige Tiere (z.B. Fledermäuse) Ultra-

Mit Ultraschall lassen sich Löcher beliebiger Form in ein Werkstück schneiden: Das Schneidwerkzeug dreht sich nicht um seine eigene Achse, sondern schwingt auf und ab.

schall wahrnehmen. Die obere Grenze des Ultraschallbereichs ist nur durch die verfügbaren Generatoren gegeben und liegt heute bei etwa 10^{10} (zehntausend Millionen) Hz.

Erzeugung von Ultraschall

Da Ultraschallwellen nichts anderes als Schallwellen hoher Frequenz sind, werden sie auch mit ähnlichen Methoden hergestellt. Beim Ultraschall werden nur höhere Frequenzen als beim hörbaren Schall benötigt.

Die meisten Ultraschallgeneratoren erzeugen die gewünschten Schwingungen durch die Umwandlung elektrischer oder magnetischer Energie in mechanische Energie. Die dazu benutzten Geräte heißen 'Wandler'. Ihre Arbeitsweise beruht auf piezoelektrischen, magnetostruktiven oder elektrostruktiven Eigenschaften bestimmter Materialien.

Piezoelektrische Wandler

Bestimmte Kristalle, beispielsweise Quarz und Seignettesalz (auch Rochellesalz genannt), zeigen den piezoelektrischen Effekt: Wenn man einen solchen Kristall zusammendrückt, entsteht zwischen den Enden eine elektrische Spannung. Wenn akustische Wellen (Schall oder Ultraschall) auf den Kristall fallen, wird er entsprechend der Frequenz des Signals abwechselnd gedrückt und gedehnt (bei Scherwellen in festen Körpern auch geschert). Dadurch entsteht eine mit dem Schallsignal synchrone Wechselspannung. Der Kristall kann also als elektrischer Detektor von Schallwellen dienen.

Dieser Prozeß kann umgekehrt werden: Ein elektrisches Wechselfeld, das auf einen piezoelektrischen Kristall wirkt, versetzt ihn in mechanische Schwingungen derselben Frequenz. Man erreicht den größten Effekt, wenn man den Kristall in 'Resonanz' anregt. Dazu muß man die Abmessungen des Kristalls so wählen, daß seine mechanische 'Eigenfrequenz' der Frequenz des anregenden Feldes entspricht.

Ein großer Nachteil beim Einsatz piezoelektrischer Kristalle wie Quarz ist, daß man zur Erzielung bester Resultate teure Einkristalle entlang speziellen Kristallachsen zurechtschneiden muß. In neuerer Zeit sind einfachere Verfahren mit polycristallinen keramischen Materialien entwickelt worden.





Links: Ultraschallschweißen von Steuerelektroden an Thyristoren. Dort, wo die beiden Teile, die zusammengefügt werden sollen, aufeinandertreffen, entstehen derartig intensive Vibrationen, daß die zum Zusammenschweißen notwendige Wärme erzeugt wird. Die Teile sind so klein, daß ein Mikroskop benutzt werden muß, um sie richtig zusammenzuschweißen.

Rechts unten: Überlagerung eines Ultraschallbildes (weiß) mit einem Röntgenbild (überwiegend schwarz) eines menschlichen Kniegelenks. Die Ultraschallaufnahme zeigt die Konturen eines Krebsgeschwürs. Die Technik der Ultraschalluntersuchung ist analog zum Sonar: Hochfrequente Schallwellen werden durch Hindernisse reflektiert. Je kürzer die Wellenlänge des Signals, desto kleinere Hindernisse (hier Krebsgewebe) sind feststellbar.

Winzige, ursprünglich regellos orientierte piezoelektrische Bereiche dieser Substanzen (z.B. Bariumtitanat) werden durch eine spezielle Vorbehandlung in einem starken elektrischen Feld einheitlich ausgerichtet.

Magnetostriktive Wandler

Die zweite wichtige Gruppe akustischer Wandler nutzt die Tatsache, daß ein Stab aus magnetischem Material seine Länge periodisch ändert, wenn er sich in einem magnetischen Wechselfeld befindet. Das Feld kann am einfachsten durch einen Wechselstrom erzeugt werden, den man durch eine um den Stab gewickelte Spule schickt. Die Längenänderung durch Änderung der Magnetisierung nennt man 'magnetostriktiver Effekt'. Der Stab verkürzt sich mit der doppelten Frequenz des magnetischen Wechselfeldes, weil die Längenänderung vom Vorzeichen des Feldes unabhängig ist.

Auch dieser Effekt ist umkehrbar. Wenn also einfallende Ultraschallwellen den magnetostriktiven Stab zu Schwingungen anregen, ergeben sich entsprechende periodische Änderungen des Magnetfeldes. Diese Feldänderungen induzieren einen Wechselstrom in der Spule. Als Materialien für magnetostriktive Wandler eignen sich Nickel, eine Reihe von Nickellegierungen und eine Klasse von Metalloxiden, die man als Ferrite bezeichnet. Magnetostriktive Materialien haben gegenüber piezoelektrischen Kristallen den Vorteil, daß sie leicht in verschiedenen Formen hergestellt und bearbeitet werden können.

Elektrostrikitive Wandler

Analog zum magnetostriktiven Effekt bedeutet der elektrostrikitive Effekt, daß ein auf ein elektrostrikтивes Material wirkendes elektrisches Feld Längenänderungen verursacht. Ein elektrisches Wechselfeld erzeugt demnach eine mechanische Schwingung der doppelten Frequenz, denn wieder ist die Längenänderung unabhängig vom Vorzeichen des Feldes.

Bei Umkehrung des elektrostrikтивen Effekts lassen sich akustische Signale als elektrische Wechselspannung nachweisen. Die wichtigsten, für elektrostrikutive Wandler benutzten Materialien sind Titanate von Barium, Calcium sowie Blei und Bleizirconat. Diese keramischen Stoffe haben gegenüber den Kristallen der piezoelektrischen Wandler den Vorteil einfacherer Formgebung bei der Herstellung. Außerdem lassen sich ihre Eigenschaften genauer kontrollieren. Beim Einsatz zur Erzeugung von Schwingungen kommt man im übrigen mit niedrigeren Spannungen aus.

Anwendungen

Ultraschall wird sehr vielseitig angewendet. Man zieht ihn den leichter zu erzeugenden hörbaren Schallwellen vor, weil die Schärfe der Bündelung eines gerichteten Strahls akustischer Schwingungen um so besser wird, je größer die Schallquelle im Verhältnis zur abgestrahlten Wellenlänge ist. Daraus ergibt sich, daß man bei Einhaltung einer handlichen Größe der Schallquelle kleine Wellenlängen (hohe Frequenzen) wählen muß, die im Ultraschallbereich liegen.

In der Industrie gibt es zahlreiche Anwendungen von Ultraschall. Das weitaus wichtigste Anwendungsgebiet ist die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, die häufig routinemäßig bei der Qualitätskontrolle in der Produktion, aber auch an fertigten Anlagen zur Überprüfung von Schweißnähten, tragenden Teilen usw. eingesetzt wird. In vielen Fällen können Ultraschallmethoden anstelle der gesundheitlich nachteiligen und teureren Röntgenmethoden zur Suche nach Rissen und Einschlüssen oder zur Dickenmessung von Produkten und Werkstücken benutzt werden.

Hierzu wird ein Ultraschallimpuls von einem Sendewandler in das zu prüfende Werkstück geschickt und durchläuft die Probe, bis er auf eine 'Diskontinuität' (Unregelmäßigkeit) trifft, an der er (teilweise) reflektiert wird. Im einfachsten Fall ist die Diskontinuität die gegenüberliegende Oberfläche, aber auch innere Risse, Hohlräume und Einschlüsse fremden

Materials können von einer gewissen Größe an als Störung wirken und einen Teil des Impulses reflektieren. Die reflektierten Signale werden von einem Wandler, der als Empfänger an der Oberfläche sitzt, nachgewiesen. Die Vergrößerung zwischen ausgesandtem und zurückkehrendem Impuls ist ein Maß für den Abstand der Störung vom Wandler. Damit lässt sich diese Technik zur Dickenmessung und zur Lagebestimmung innerer Unregelmäßigkeiten benutzen.

Die untere Grenze für die Abmessungen von inneren Fehlern, die man mit Ultraschall nachweisen kann, ist von derselben Größenordnung wie die verwendete Wellenlänge. Mit den höchsten Ultraschallfrequenzen weist man also die kleinsten Fehler nach.

Eine andere wichtige Anwendung findet Ultraschall beim Bohren und Schneiden. Wird ein geeignetes Schneidwerkzeug am Kopf eines Wandlers angebracht, so wird es ebenfalls in schwingende Bewegung versetzt und trägt in kleinen Schritten das Material des Werkstücks ab. Mit abtragenden Pulvern und Pasten wird der Schneidprozeß beschleunigt. Das Schneidwerkzeug bewegt sich gegenüber dem Werkstück periodisch auf und ab und schneidet so sein Profil in das Material. Ein normaler Bohrer dagegen dreht sich beim Eindringen um seine eigene Achse. Während mit dem Bohrer

also nur runde Löcher gelingen, lassen sich mit Ultraschall Löcher unterschiedlichster Form bohren.

In Flüssigkeiten verursacht Ultraschall das Phänomen der 'Kavitation', der Bildung kleiner Bläschen in der Flüssigkeit. In diesen Hohlräumen herrscht ein gewisser Unterdruck, der in der Flüssigkeit aufgeschwemmte Staubteilchen anzieht und beim Reinigen von verschmutzten Oberflächen fester Gegenstände nützlich ist. Nicht mischbare Flüssigkeiten wie Öl und Wasser können durch Ultraschall in fein verteilter Form miteinander vermischt werden ('Emulsion'). Andererseits wird Ultraschall zur Entfernung von Gasbläschen in Metallschmelzen benutzt. Durch eine Art Schüttelbewegung unter dem Einfluß des Ultraschallsignals steigen die Bläschen an die Oberfläche. Auch eine Ultraschall-Schweißtechnik ist entwickelt worden: Ultraschallschwingungen erzeugen durch Reibung zwischen den Kontaktflächen zweier Werkstücke Wärme, die ausreicht, das Material lokal aufzuschmelzen und fest zu verschweißen.

Anwendungen in Gewässern

Die Möglichkeiten, mit Ultraschall zu genaueren Tiefenmessungen im Wasser zu kommen, wurden schon sehr früh erkannt und genutzt.



JOHN HILLESON

Die gut gebündelten, schmalen Ultraschallsignale werden vom Wasser nicht so schnell absorbiert wie niederfrequenter, hörbarer Schall. Mit Ultraschall-Echolot (Messung der Zeit zwischen Aussenden eines Signals und Ankunft der reflektierten Wellen) lässt sich der Meeresboden sehr genau vermessen. Da Ultraschallreflexion auch von tieferliegenden Schichten der Erde noch gemessen werden kann, sind auf diese Weise Öl- und Erdgaslagerstätten unter dem Meeresboden entdeckt und untersucht worden.

Ultraschallwellen können unter Wasser auch beim Orten und Beobachten von Unterwasserfahrzeugen und beim Auffinden verborgener Hindernisse helfen ('Asdic' und 'Sonar'); bei diesen Aufgaben sind sie dem Radar vergleichbar. 'Unterwasserschallanlagen' benutzen gebündelte, modulierte Ultraschallwellen zur Nachrichtenübermittlung, z.B. zwischen Unterseebooten.

Medizinische Anwendungen

Bei der medizinischen und chirurgischen Diagnose sind Ultraschallmethoden in den letzten Jahren verstärkt eingesetzt worden.

Die verschiedenen Substanzen des menschlichen Körpers Knochen, Muskeln, Fett usw. reflektieren Ultraschall unterschiedlich stark. Wenn ein Teil des Körpers mit einem Ultraschallstrahl untersucht wird, treten deshalb eine Reihe verschiedener und für den Fachmann unterscheidbarer Reflexionen auf. Diese werden elektronisch verstärkt und auf

einem Bildschirm sichtbar gemacht. Auf diese Art lässt sich beispielsweise die Lage und die Entwicklung eines ungeborenen Kindes während der Schwangerschaft verfolgen. Auch Organeinschlüsse und Fehlbildungen, z.B. bei Nieren, und Frühstadien der Gehirntumorbildung können mit Ultraschall festgestellt werden.

In vielen Fällen erfüllt Ultraschall in der Medizin ähnliche Aufgaben wie die Röntgenstrahlen. Man vermeidet mit Ultraschall die gesundheitsschädigende Wirkung, die ionisierende Strahlung für den menschlichen Körper mit sich bringt.



ARDEA

Oben: Nahaufnahme einer Langohrfledermaus (*Plecotus auritus*). Damit sich Fledermäuse bei ihren nächtlichen Flügen orientieren können, benutzen sie ein Ultraschall-Leitsystem ('Echopeilung') während des Fliegens. Das Hörzentrum im oberen (dorsalen) Teil des Mittelhirns der Fledermäuse ist sehr stark entwickelt. Einige Arten von Walen, die sich mit Hilfe von Sonar orientieren, haben einen ähnlich hochentwickelten Gehörsinn.

BR. TRANSPORT FILMS



Links: Hier werden Eisenbahngleise mit Hilfe eines Ultraschallprüfgeräts auf fehlerhafte Stellen untersucht. Das Gerät produziert eine Aufnahme des Gleises — ähnlich einer Röntgenaufnahme —, die gleichzeitig auf seinem Bildschirm wie ein Fernsehbild zu sehen ist.

ULTRAVIOLETTLAMPE

Ultraviolettlampen (UV-Lampen) kennt man aus Diskotheken und als Höhensonnen. Sie finden aber auch vielfältige Anwendung bei der Behandlung von Hauterkrankungen oder bei der chemischen und geologischen Analyse.

Ultravioletstrahlen grenzen im kurzweligen Bereich an sichtbares Licht an. Sie haben einen Wellenlängenbereich von 390 nm (1 nm = ein Millionstel Meter; violettes Licht) bis zu 1 nm (Röntgenstrahlen). In der Erdatmosphäre werden die von der Sonne ausgestrahlten Wellenlängen, die kürzer

als 280 nm sind, ausgefiltert. Der Energiegehalt dieser Wellenlängen ist so hoch, daß sie die lebende Zelle schädigen können. Ultravioletstrahlen im Bereich von 280 nm bis 320 nm rufen eine Bräunung der Haut oder Sonnenbrand hervor. Glas absorbiert diese Wellenlängen, d.h. hinter Glas kann man keinen Sonnenbrand bekommen. Die längeren UV-Strahlen — sie liegen zwischen 320 nm und Ultravioletlicht — kennt man als nahes Ultraviolet.

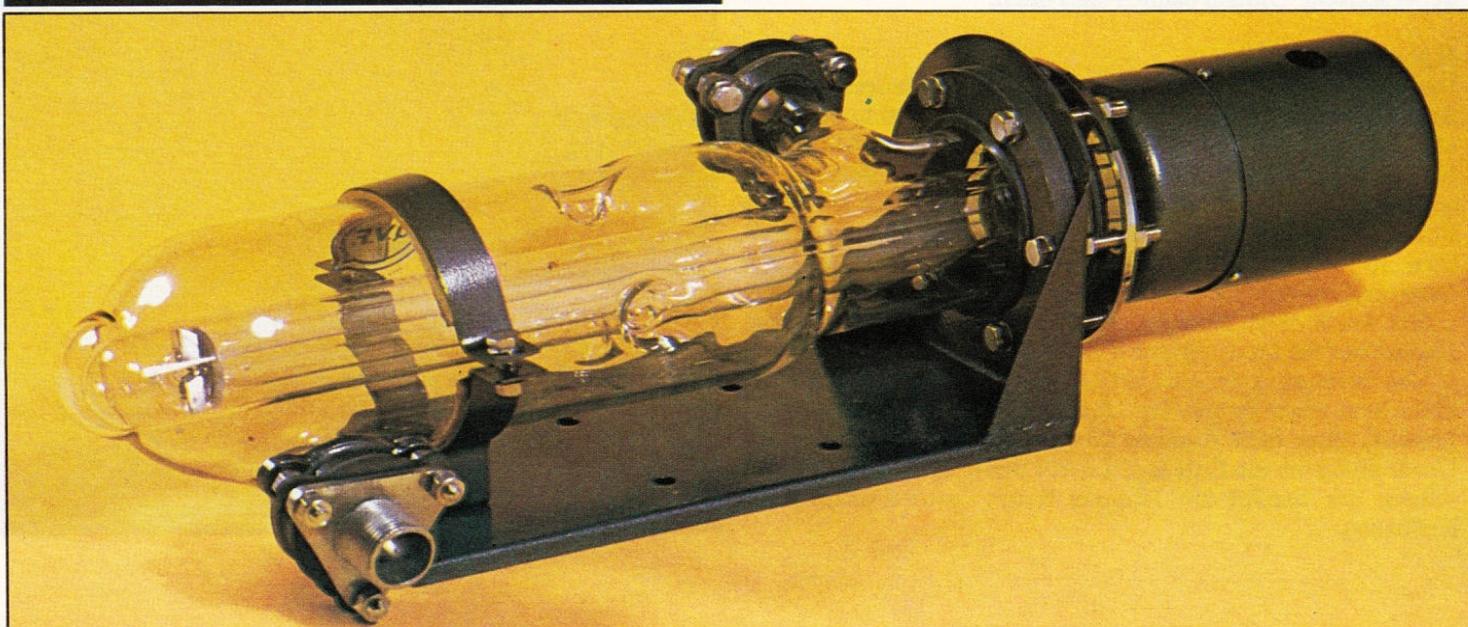
Lampen für UV-Licht sind Entladungsrohren, die durch Quecksilberdampf eine elektrische Entladung erfahren. Die Elektronen in den Quecksilberatomen werden durch die Entladung angeregt. Sie geben diese Energie beim Rücksprung auf tiefere Energieniveaus wieder ab, d.h. es wird Energie in Form von UV- oder Lichtstrahlung (siehe ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN) wieder abgegeben. Durch den Dampfdruck der Quecksilberlampe können UV-Lampen so beeinflußt werden, daß sie UV-Licht verschiedener Wellenlängen abstrahlen. Unerwünschte Strahlung kann mit Hilfe von Quarzglas oder einem speziellen Glas, das die Quecksilberdampflampe umgibt, herausgefiltert werden.

Hochenergetische UV-Strahlung kann zum Sterilisieren leicht verderblicher Nahrungsmittel herangezogen werden. Da diese Strahlen Bakterien vernichten können, greifen sie auch Hautzellen an, so daß gewisse Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden müssen.

Quecksilberdampflampen, die im mittleren UV-Bereich wirksam sind und als Höhensonnen verkauft werden, filtern kurzwellige Strahlungen aus, die bei Überdosis gefährlich sein können. Sie werden hauptsächlich zur Bräunung der Haut verwendet und in der Medizin zur Bekämpfung von Hautkrankheiten eingesetzt.

Weniger energetisches UV-Licht beeinflußt die Haut des Menschen nicht. Es wird vorwiegend dazu verwendet, Substanzen zur Fluoreszenz anzuregen (siehe LUMINESZENZ). Die Fluoreszenz wird zur Erzeugung dramatischer Effekte im Theater und in Diskotheken angewendet, andererseits aber auch zur Bestimmung von Mineralen (chemische Verbindungen fluoreszieren bei verschiedenen Wellenlängen) und zur Bestimmung von kleinen Rissen auf den Oberflächen von Metallen oder anderen Materialien eingesetzt. In letzterem Falle wird auf die Metalloberfläche ein fluoreszierender Farbstoff aufgebracht und wieder weggerieben. Derjenige Farbstoff, der in die Risse eingedrungen ist, leuchtet unter einer UV-Lampe auf.

Die vier unteren Minerale im Bild ganz oben scheinen unterschiedlich zu sein. Bei UV-Licht betrachtet (darunter), stellt man fest, daß sie gleich sind. Unten eine UV-Sterilisationsanlage für Trinkwasser (auf Schiffen).



UMLAUFBAHN

Ein Raumschiff, das von der Erde aus gestartet wird, umkreist ab einer gewissen Geschwindigkeit die Erde. Ist es zu langsam, fällt es zur Erde zurück; ist es zu schnell, bewegt es sich auf die Sonne zu.

Von einer Umlaufbahn (oder einem Orbit) spricht man, wenn ein Körper unter dem Einfluß einer Gravitationskraft einen Weg zurücklegt und Gleichgewicht zwischen der Zentrifugalkraft, die auf den sich bewegenden Körper einwirkt, und der Gravitationskraft der Erde herrscht. Dieses Phänomen kann man sich leicht vorstellen, wenn man eine Kugel horizontal abfeuert. Eine aus einem Gewehr abgefeuerte Kugel fällt zur Erde zurück. Gibt man ihr jedoch — eine rein theoretische Überlegung — eine ausreichend hohe Anfangsgeschwindigkeit, so wird die Krümmung ihrer Bahn gleich der Krümmung der Erdoberfläche. Die Kugel bewegt sich dann in einer Umlaufbahn um die Erde.

Bei genauerer Betrachtung übt die Kugel ebenso eine Anziehungskraft auf die Erde aus wie die Erde auf die Kugel. Deshalb bewegt sich die Kugel nicht um den Mittelpunkt der Erde, sondern um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Kugel. Der gemeinsame Schwerpunkt einer Kugel und der Erde fällt praktisch mit dem Erdmittelpunkt zusammen. Anders verhält es sich zwischen Erde und Mond (Masse des Mondes = $1/81$ der Masse der Erde). Sie bewegen sich um ein Drehzentrum, das 5 000 km von dem Erdmittelpunkt entfernt ist, also 1 600 km unter der Erdoberfläche liegt.

Umlaufbahnen

Sir Isaac Newton (1643 bis 1727) zeigte im Jahre 1687, daß als Folge des Gravitationsgesetzes, bei dem die Kraft umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist, die Umlaufbahnen sogenannte Kegelschnitte sein müssen. Schon etwa 80 Jahre früher hat Johannes Kepler (1571 bis 1630) herausgefunden, daß sich die Planeten in Ellipsenbahnen um die Sonne, die sich in einem der Ellipsenbrennpunkte befindet, bewegen. Kepler entdeckte auch, daß sich die Planeten in Sonennähe (Perihel) am schnellsten und in Sonnenferne (Aphel) am langsamsten bewegen. Die mittlere Geschwindigkeit der Planeten nimmt mit wachsender Entfernung von der Sonne ab. Merkur, der Planet mit der kleinsten Umlaufbahn, hat eine mittlere Geschwindigkeit von 47,9 km/s, die Erde von 29,8 km/s und Pluto, der Planet mit der größten Umlaufbahn, von 4,8 km/s.

Neben der Ellipse sind der Kreis, die Parabel und die Hyperbel weitere Kegelschnitte. Kreis- und ellipsenförmige Umlaufbahnen sind geschlossene Bahnen. Parabolische und hyperbolische Umlaufbahnen sind offen.

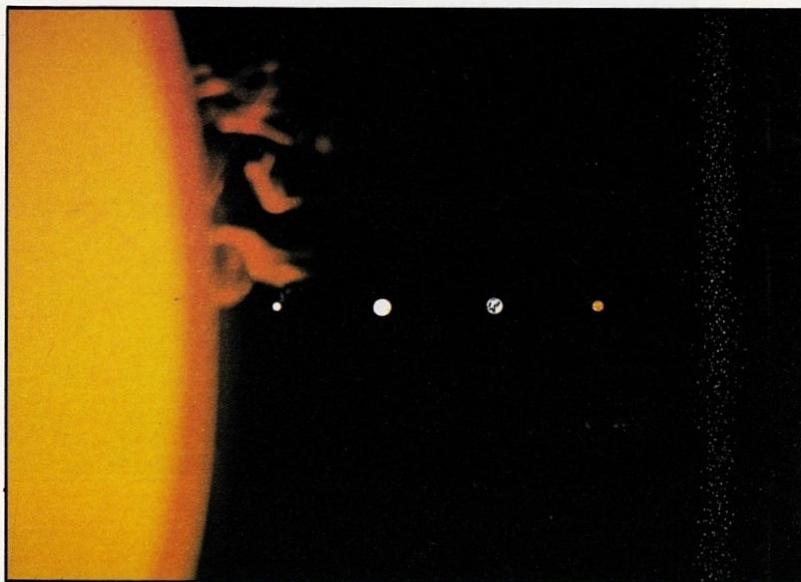
Raumschiff

Den Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich die Planeten um die Sonne bewegen, unterliegen auch künstliche SATELLITEN beim Umlauf um die Erde. Die niedrigste mögliche Höhe der Umlaufbahn um die Erde beträgt 200 km, die Umlaufdauer 90 Minuten und die Umlaufgeschwindigkeit 29 000 km/h. Da sich die Erde von West nach Ost dreht, ist es günstig, Satelliten in östlicher Richtung starten zu lassen. Von Cape Canaveral aus erhält ein Satellit eine Zusatzgeschwindigkeit von 1 600 km/h. Die Rotation der Erde hat ansonsten keinen Einfluß auf die Umlaufgeschwindigkeit.

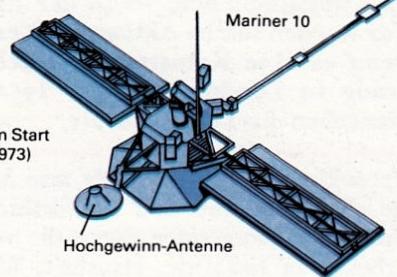
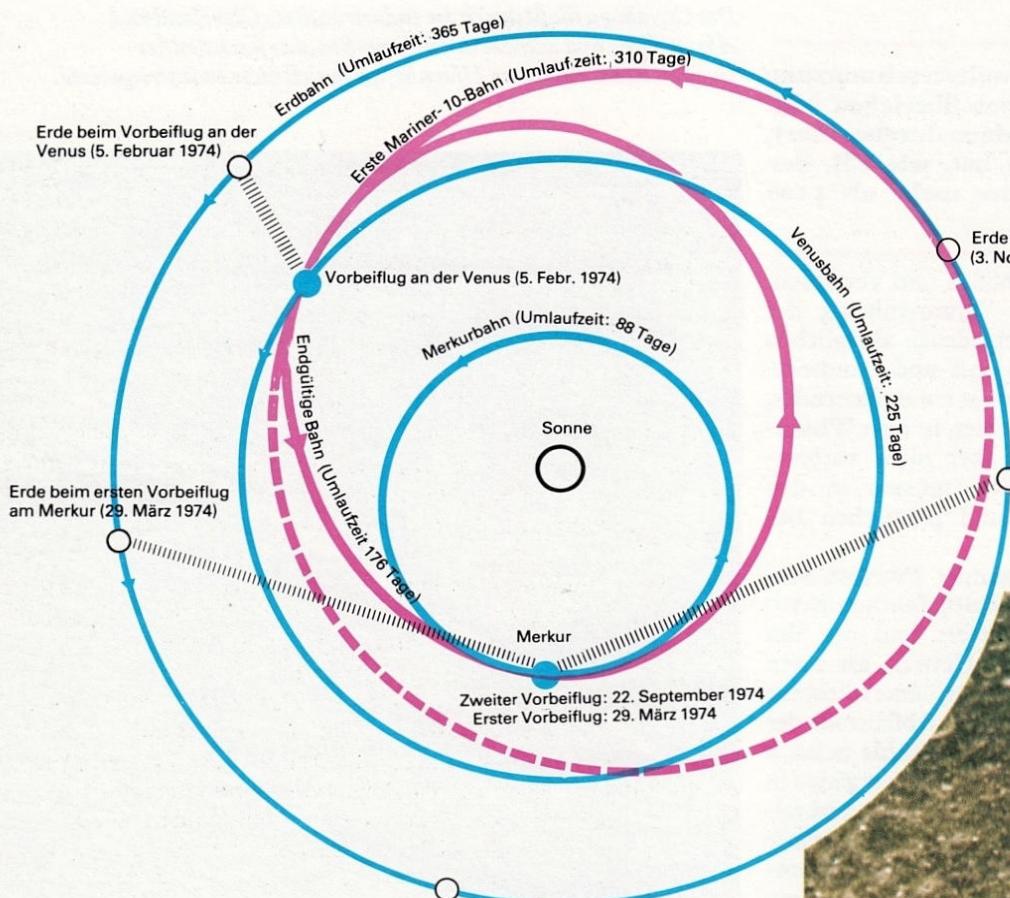
Von Bedeutung ist eine kreisförmige Umlaufbahn in einer Höhe von etwa 35 700 km. Auf ihr führt ein Satellit (z.B. Intelsat) über dem Äquator in einem Tag genau eine volle Umdrehung um die Erde aus, d.h. für den irdischen Beobachter scheint der Satellit am Himmel fixiert (geostationäre Umlaufbahn).

Ein Raumschiff, das sich mit einer Geschwindigkeit von 40 000 km/h von der Erde weg bewegt, kann die Gravitation der Erde überwinden. Es würde sich auf die Sonne zu bewegen und schließlich eine Umlaufbahn um die Sonne einnehmen oder in die Sonne stürzen. Raumsonden werden nach diesem Prinzip auf ihre Umlaufbahn gebracht. Eine Marssonde wird z.B. auf eine elliptische Umlaufbahn gebracht. Ihr Perigäum hat sie in der Nähe der Erde und ihr Apogäum in der Nähe des Mars. Diese sogenannte Hohmann-Übergangsellipse wird erhalten, indem man den Raumflugkörper in der Richtung beschleunigt, in der sich die Erde auf ihrer Umlaufbahn bewegt. D.h. der Raumflugkörper startet mit der Umlaufgeschwindigkeit der Erde und benötigt daher nur noch eine geringe Zusatzgeschwindigkeit. Würde man den Raumflugkörper von der Erdumlaufbahn direkt z.B. zum Mars hin beschleunigen, würde die Erdumlaufgeschwindigkeit nicht ausgenutzt werden; man benötigt also einen großen Treibstoffvorrat. Bei einem Flug eines Raumflugkörpers auf einer Hohmann-Ellipse ist die lange Reisegeschwindigkeit, z.B. 260 Tage für einen Erde-Mars-Flug, von Nachteil. In der Praxis wird durch Zusatztreibstoff die Fluggeschwindigkeit erhöht. Hierdurch wurde z.B. im Jahre 1971 die Reisedauer von Mariner 9 zum Mars auf 192 Tage beschränkt.

Die wirtschaftlichste Methode des Flugverkehrs zwischen Planeten ist die Verwendung von Raketen, die die Geschwindigkeit des Raumflugkörpers unterhalb der Erdumlaufgeschwindigkeit bringen. Als Folge wird dann eine Ellipsenbahn durchlaufen. Bei jeder dieser sogenannten Transferellipsen, muß sich der Zielplanet auf der rechten Seite seiner Umlaufbahn befinden, wenn die Raumsonde ankommt. Dies bedeutet, daß die Startzeit für den Raumflugkörper nur auf wenige Tage im Jahr beschränkt ist. Die Erde und der Zielplanet müssen relativ zueinander richtig 'stehen'.



DATEN ZU DEN PLANETEN	MERKUR	VENUS	ERDE	MARS	ASTEROIDE
Durchmesser (1000 km)	4,9	12,1	12,8	6,8	
Masse (Erde=1)	0,06	0,8	1,0	0,1	
Dichte (Wasser=1)	5,4	5,24	5,5	3,9	
Umdrehungszeit (Tage)	58,6	—243	1	1	
Umdrehungen um die Sonne (Jahre)	0,24	0,62	1,00	1,88	
Durchschnittstemperatur (in K)	600	750	180	140	
Schwerkraft (Erde=1)	0,28	0,90	1,00	0,38	
Monde	0	0	1	2	
Letzte Schätzungen ergaben, daß von 4000 Asteroiden nur 19 einen Durchmesser von mehr als 160 km haben					



Oben: Während der Apollomission konnten die Raumfahrtkörper den Mond in einer Höhe von nur 16 km umfliegen, da der Mond keine Atmosphäre hat.

Ganz oben: 'Mariner 10' flog 1974 einmal an der Venus und zweimal an Merkur vorbei und machte dabei Fernsehaufnahmen. Zunächst befand sich das Raumschiff in einer Hohmann-Übergangsellipse, aber als es sich der Venus näherte, konnte es durch die Kraft der Venusbahn seinen Kurs in Richtung Merkur ändern.

Links: Ein Diagramm der wichtigsten Planeten unseres Sonnensystems. Asteroiden sind kleine Felsbrocken, die die Erde in verschiedenen Umlaufbahnen umkreisen. Die meisten befinden sich zwischen Jupiter und Mars.

JUPITER	SATURN	URANUS	NEPTUN	PLUTO
143	120	52	48	3,0
317,8	95,1	14,6	17,2	0,11
1,3	0,7	1,25	1,77	4,7
0,4	0,4	?	?	6,4
11,86	29,48	84,01	164,79	248,4
128	105	70	55	?
2,69	1,19	0,93	1,22	0,2
14	14	5	2	1

UMWELTSCHUTZ

Aktionen zur Verminderung der Umweltverschmutzung sind unentbehrlich, wenn der Mensch überleben will. Nur werden solche Aktionen oft erst dann durchgeführt, wenn es eine Katastrophe gegeben hat, wie z.B. der Smog in London im Jahr 1952, der mehr als 4 000 Menschen das Leben kostete.

Unter Umweltschutz versteht man Methoden und Verfahren, die die chemische und physikalische Verunreinigung der Umwelt, hervorgerufen durch die verschiedenen alltäglichen Arbeiten in Industrie, Haushalt, Wirtschaft und Landwirtschaft, unter Kontrolle halten sollen. Dies ist ein umfassendes, noch in der Entwicklung befindliches Gebiet, in dem Wissenschaft und Technik eine bedeutende, aber nicht vorherrschende Rolle spielen. Weitere Schritte müssen in den rechtlichen, wirtschaftlichen, sozialen und politischen Bereichen unternommen werden.

In seinem Drang, die Vorteile bestimmter Prozesse auszunutzen, bedient sich der Mensch seit vielen Jahrhunderten seiner Umgebung — der Luft, des Wassers und des ihn umgebenden Landes. Er verwendet die Umwelt als einen bequem zu benutzenden Ablageplatz für unerwünschte Nebenprodukte der Industrie — beispielsweise Abfallstoffe der Chemie. Auch das Verbrennen von Holz und Kohle belastet die Umwelt. Dies war so lange tragbar, wie diese Vorgänge in einem begrenzten Ausmaß stattfanden und nicht weit verbreitet waren. Im vergangenen Jahrhundert gab es eine beispiellose Ausnutzung der auf der Erde vorhandenen Vorräte an Brennstoffen und Materialien, um die Erwartungen von mehreren Hundert Millionen Menschen auf Behaglichkeit und Komfort zu erfüllen. Mit zunehmendem Bewußt werden der Umweltverhältnisse und der menschlichen Abhängigkeit von ihnen stellte sich jedoch heraus, daß eine solche Lösung nicht mehr in jedem Fall zufriedenstellend ist.

Regionale und weltweite Verunreinigung

Auf regionaler Ebene sind die Auswirkungen der Umweltverschmutzung in der Nähe von Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte oder in Industriezentren am schwerwiegendsten. Durch Rauch, Flugsand, Dämpfe und giftige Gase, die aus den Schornsteinen von Haushalten, der Industrie und der Kraftwerke kommen, sowie durch Autoabgase ist es oft unangenehm und langfristig gefährlich, solche Luft einzutauen. Wenn die Wetterlage beständig und die Luft regungslos ist, erreicht die Verunreinigung ein Ausmaß, das sogar Todesfälle verursachen kann — besonders unter Menschen mit Erkrankungen der Atemwege, bei Kleinkindern und alten Menschen. Ungenügend behandeltes Abwasser von Haushalten oder aus der Industrie, das von verunreinigtem Land abgeleitet wird, oder die leichtsinnige Beseitigung von giftigen Abfällen können dazu führen, daß Flüsse und Wasserläufe für höhere Arten von Wasserpflanzen oder Wassertieren nicht mehr geeignet und zur Selbstreinigung nicht mehr in der Lage sind oder zur Wasserversorgung nicht mehr verwendet werden können. Viele dieser Fälle werden durch kleine Firmen oder durch Einzelpersonen hervorgerufen, die sich über den Schaden, den sie anrichten, wahrscheinlich gar nicht im klaren sind. Kürzlich hat beispielsweise das unerlaubte Abladen von Zyanid zu Problemen geführt.

In einigen Fällen waren Flüsse durch organische Abfälle so verunreinigt worden, daß Feuergefahr bestand. Die Gärung organischer Abfälle kann zur Entstehung von Methangas führen. In der Landwirtschaft verwendete Düngemittel können in die Flüsse gelangen und ein beschleunigtes Wachstum des Unkrauts hervorrufen, das dann die Strömung des Flusses behindert und stromabwärts zu weiteren Pro-

Der Cuyahoga fließt durch die Industriestädte Cleveland und Akron/Ohio und mündet in den Erie-See, den flächsten der Großen Seen. An seinen Ufern befinden sich viele Industriegebiete.



Dieser Fluß ist bereits einmal wegen seiner Verunreinigung in Brand geraten. Die hier sichtbare braune Ablagerung ist durch industrielle Verschmutzung entstanden.



UNITED STATES DEPT. OF THE INTERIOR

blemen führt. Die auf regionaler Ebene bestehenden Gefahren durch Landverunreinigung, wie z.B. Abwässer von Bergwerken oder das Abladen von Abfällen aus Haushalten und Industrie, bestehen darin, daß die Wasservorräte verunreinigt werden können oder daß schädliche Substanzen die angebauten Pflanzen giftig machen können.

Bis heute konzentrierten sich die Bemühungen um den Umweltschutz auf die Verminderung der regionalen Probleme, aber es gibt auch auf internationaler und sogar auf weltweiter Ebene Grund zur Sorge. Dies gilt besonders für die Verunreinigung von Luft und Wasser, deren Auswirkungen sich leicht über die politischen Grenzen hinaus zeigen. Man nimmt an, daß ein Teil der schwefeligen Abgase aus den Schornsteinen in Großbritannien und Europa als saurer Regen in Skandinavien niedergeht und den Anbau von Feldfrüchten wegen der Art des dortigen Bodens erschwert. Das Wasser des Rheins wird von vier Nationen verwendet und verunreinigt, bevor es die Nordsee erreicht. Darüber hinaus vermutet man, daß die sehr häufig als Aerosoltreibstoffe verwendeten Chlorofluoromethanverbindungen (z.B. in Hairsprays) die Ozonschicht in der Stratosphäre durch die katalytische Wirkung von Chloratomen schwächen könnten. (Die Ozonschicht schützt das Leben vor starken Dosen ultravioletter Strahlung der Sonne; eine Verringerung der Stärke dieser Ozonschicht könnte zu erhöhtem Auftreten von Hautkrebs führen.) Es gibt lebhafte Debatten, wie sicher die weitverbreitete Anwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen, die wie Papier verwesen, wodurch zur Abfallbekämpfung beigetragen werden soll, tatsächlich ist.

Der Beitrag der Wissenschaft

In den folgenden Bereichen des Umweltschutzes sind wissenschaftliche und technische Kenntnisse für die Entwicklung von Methoden und für die Instrumentierung unentbehrlich: Messung der Konzentrationen der Verunreiniger-substanzen in der Umwelt (dies wird auch manchmal Grenzwertüberwachung genannt); Ableitung von Vergleichskonzentrationen (z.B. auf die öffentliche Gesundheit bezogen), aufgrund derer potentielle Gefahren eingeschätzt werden können; Reduzierung der verschmutzenden Emissionen an ihrem Ursprungsort — indem man entweder den Bau von Reinigungsvorrichtungen für das ausfließende Medium ermöglicht oder durch Erfindung von neuen Verfahren, die von Natur aus sauberer sind. Weiter sind Grundlagenkenntnisse sowie Ausrüstungen erforderlich, die man bei der Bewältigung spezieller Probleme, wie z.B. auf See ausgelaufenem Öl, verwendet.

In all diesen Bereichen ist zwar schon sehr viel getan worden, aber es bleibt noch viel mehr zu tun. Es gibt einen solch großen Bereich von Beteiligten, die Verunreinigung verursachen, es gibt so viele Arten von Verunreiniger-substanzen, und es gibt so viele praktische Einschränkungen wie z.B. die Kosten und die Zuverlässigkeit der Ausrüstungen, daß fast jeder in der modernen Wissenschaft bekannte Zweig bei der Problemlösung einbezogen ist. So werden z.B. Verfahren der Kernphysik wie die Neutronenaktivierung und biologische Untersuchungen der Wachstumsrate von Flechten bei der Überwachung der Luftverunreinigung angewendet. Die Elektrostatik und Untersuchungen des bakteriologischen Wachstums werden bei der Messung von Abwasser hinzugezogen. Die Bereiche Elektronik, Statistik und Medizin werden bei der Ableitung von Bezugs-werten einbezogen.

Einige Kontrollmaßnahmen

Die menschlichen Sinnesorgane stellen vielleicht die am besten erreichbaren Kontrollmöglichkeiten dar und in einigen Fällen sind sie sicher am relevantesten. Sie sind gegenüber einigen Verunreinigungsquellen (z.B. Gerüche) außerordentlich empfindlich, aber gegenüber anderen (z.B.

Schwermetallverunreinigung oder Kohlenstoffmonoxid) sind sie leider völlig unempfindlich. Außerdem sind die Reaktionen eher relativ als absolut und daher ungeeignet, was Auslegung und Zuverlässigkeit betrifft. Das sorgfältige Beobachten jedes einzelnen ist jedoch immer noch eine der besten Möglichkeiten, drohende Verunreinigungsgefahren aufzudecken. Welche Tiere existieren, steht oft in sehr engem Zusammenhang mit dem Grad der Verunreinigung der Umwelt. Es gehört zu den Standardaufgaben, in vielen Flüssen den Artbestand von Flachwürmern, Larven der Köcherfliege, von Eintagsfliegen und selbst von Forellen und Lachsen festzustellen. In gewisser Weise kann die Umwelt selbst ihre eigene Überwachung übernehmen.

Eine sehr häufig angewendete Kontrollmaßnahme, die für Luft, Wasser und Land anwendbar ist, besteht darin, an verschiedenen interessierenden Stellen Proben zu nehmen und sie zwecks genauer Analyse ins Labor zu bringen. Dort kann eine ganze Reihe von chemischen und physikalischen Verfahren angewendet werden, wie z.B. Mikroskopie, Chromatographie, Atomspektroskopie und Gammastrahlenspektroskopie, Röntgenfluoroskopie und Neutronenaktivierung, um die Verunreinigersubstanzen zu identifizieren und die Konzentrationen zu messen.

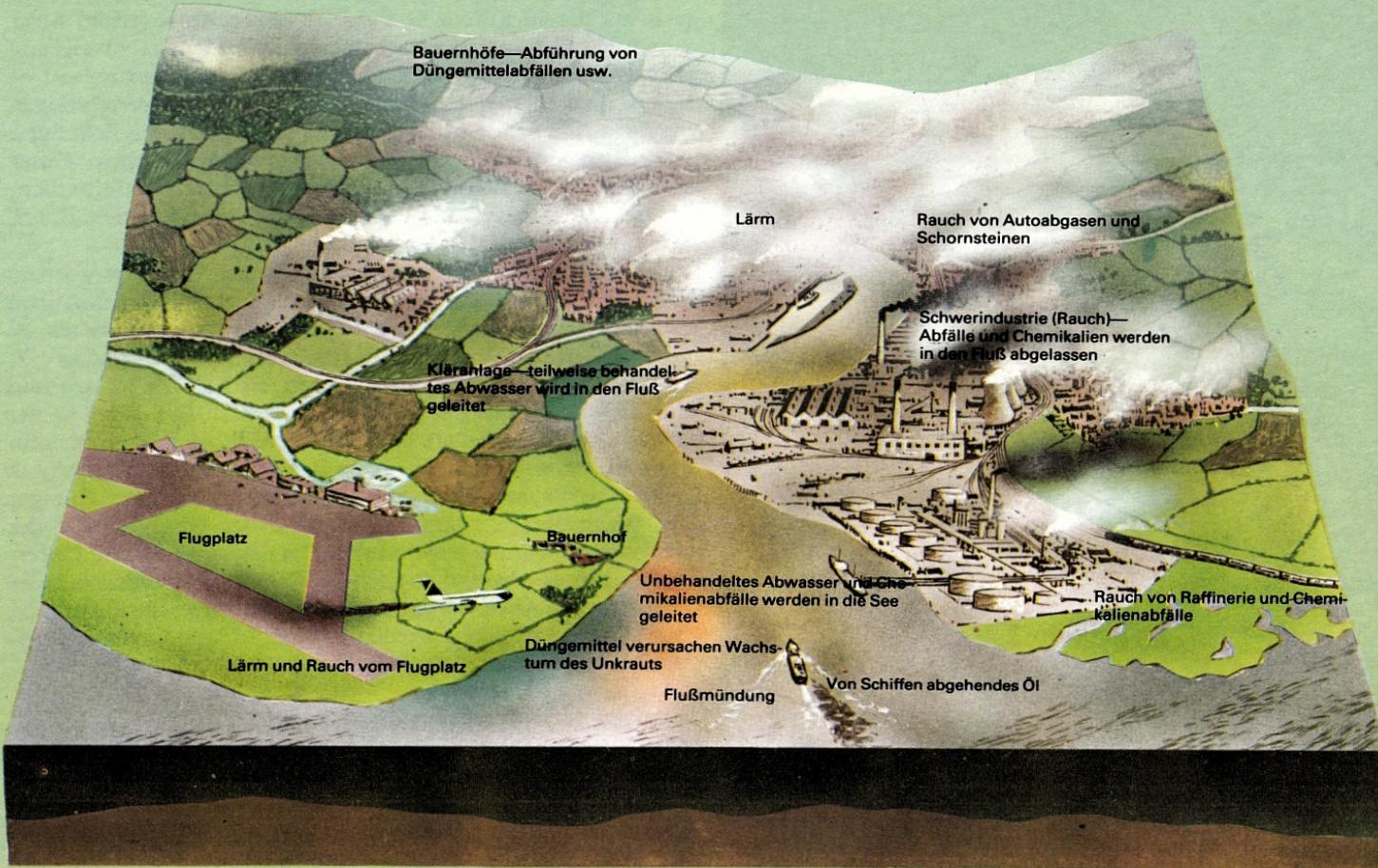
Es wird oft festgestellt, daß die Konzentration einer Verunreinigungssubstanz innerhalb eines Tages oder von einem Tag zum anderen beträchtlich variiert. In einem solchen Fall können Stichproben nur von begrenztem Wert sein; d.h. es müssen Methoden angewendet werden, mit denen über einen bestimmten Zeitraum durchschnittliche Konzentrationen gemessen werden können. Ein Beispiel dafür ist das Gerät, das sehr häufig zur Messung der Tagesdurchschnitts-

konzentrationen von Schwefeldioxid in der Luft verwendet wird. Die Luftprobe, die zur Entfernung von kleinen Teilchen zuerst gefiltert wird, wird einen Tag lang mit einer vorgeschriebenen Geschwindigkeit durch eine Lösung aus Hydrogenperoxid geleitet. Schwefeldioxid wird in schweflige Säure umgewandelt, deren Menge durch Titration mit einer genau standardisierten Natriumcarbonatlösung bestimmt wird. Die durchschnittliche Schwefeldioxidkonzentration kann dann berechnet werden, da die Menge der durchgeleiteten Luft und die von ihr erzeugte Menge der schwefligen Säure bekannt sind.

Es ist häufig erforderlich festzustellen, wie sich der Grad der Verunreinigung von Minute zu Minute ändert, besonders bei der Untersuchung der Luftverunreinigung, bei der sich die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung so schnell verändern können. Ein Gerät zur Bestimmung von Staub- und Rauchkonzentrationen verwendet einen schwingenden Kristall, wie er in einigen modernen Uhren verwendet wird. Die Luftprobe wird durch eine Hochspannungsleitung geleitet,

Die Umgebung einer kleinen Stadt vor und nach Einführung des Umweltschutzes. Der wesentliche Bereich — die Luft — wird verbessert, indem Gesetze erlassen werden, die z.B. die Verwendung von rauchfreiem Brennstoff und den Bau höherer Schornsteine erfordern. Die Flüsse und Wasserwege können durch Verbesserung der Einrichtungen zur Abwasserbehandlung und und durch einschränkende Bestimmungen hinsichtlich der Abwässer von Industrie und Landwirtschaft gesäubert werden. Diese können nämlich auch per Rohrleitung bis ins Meer transportiert werden.

Umweltschutz—vorher



die die Staubteilchen elektrisch auflädt und sie auf einer Fläche des Kristalls ablagert. Dies bewirkt, daß sich die Schwingungen des Kristalls proportional zur Masse des abgelagerten Staubs verlangsamen. Diese Veränderung kann elektronisch gemessen und aufgezeichnet werden.

Die Entwicklung von Geräten, die an Ort und Stelle kontinuierliche Aufzeichnungen über die Konzentrationen des Verunreinigungsstoffes liefern, ermöglicht die Aufstellung hochentwickelter Überwachungssysteme. Diese dienen nicht nur zum Sammeln von Daten mit anschließender Auswertung, sondern sie sind die Ausgangsbasis für unmittelbare Entscheidungen darüber, wie die verunreinigenden Emissionen bekämpft werden sollen. Ein System zur Untersuchung der Wasserverunreinigung umfaßt eine Anzahl von Kontrollstationen, die sich an sorgfältig ausgewählten Stellen entlang eines Flusses oder eines Flußnetzes befinden. An jedem Meßpunkt werden Säuregehalt, elektrische Leitfähigkeit, der Gehalt an gelöstem Sauerstoff, die Chloridkonzentration, die Trübung (Transparenz) und die Temperatur gemessen. Die Daten werden, gewöhnlich über Telefonleitungen, an eine Kontrollzentrale übermittelt. Dort können die Ergebnisse zur sofortigen Analyse in Computer eingegeben und zur Auswertung durch die Mitarbeiter auf Wandtafeln oder Fernsehschirmen gezeigt werden.

Verfahren zur Steuerung von Emissionen

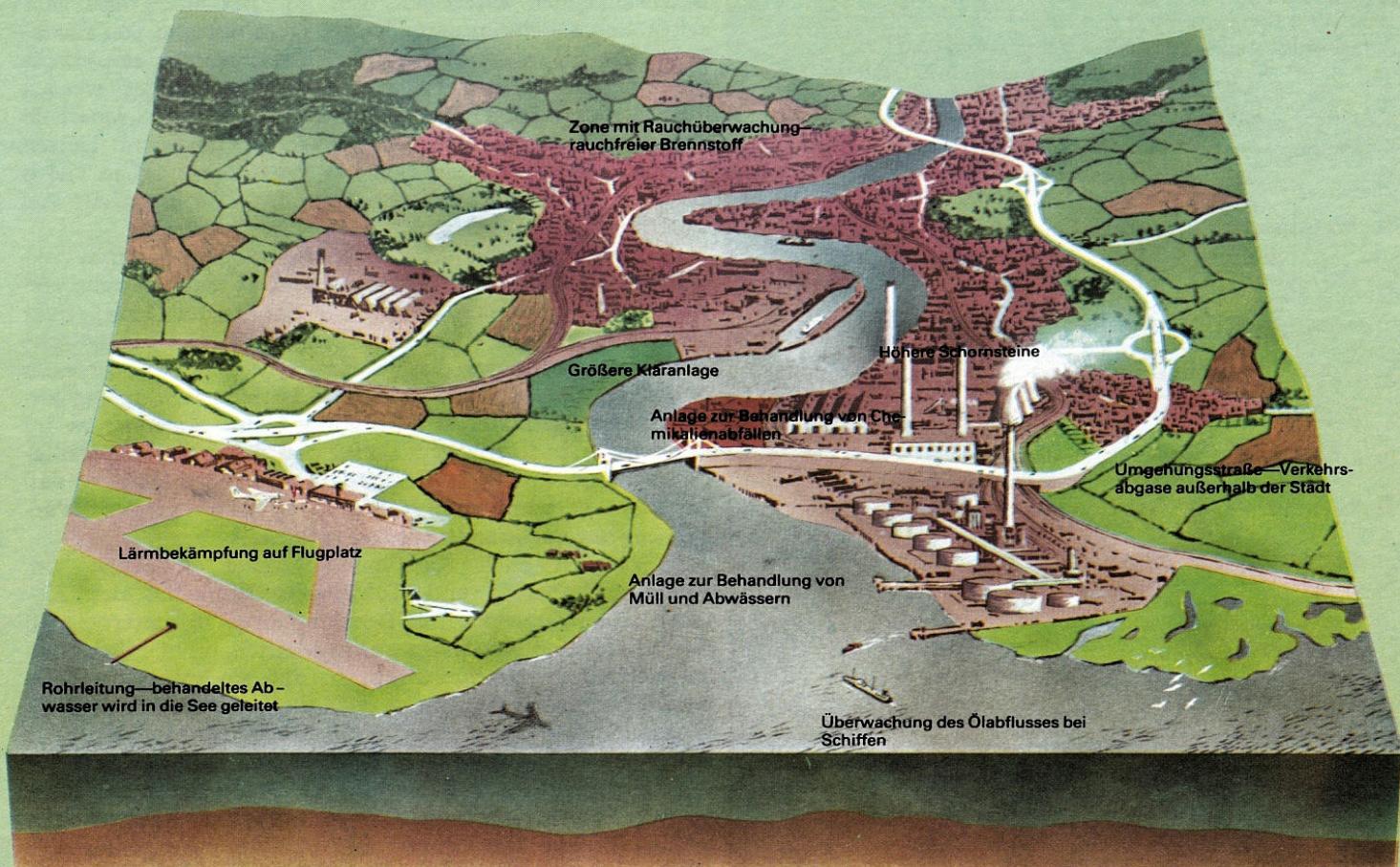
Es können bestimmte Maßnahmen durchgeführt werden, die die regionalen Verschmutzungsprobleme verringern, ohne daß dabei die verunreinigenden Emissionen reduziert werden. Hohe Schornsteine sorgen beispielsweise dafür, daß die ausströmenden Substanzen erträgliche Konzentrationen er-

reicht haben, bevor sie auf den Boden gelangen; durch örtlichen Verkehr hervorgerufene Abgasprobleme können durch die Kontrolle der Straßenbauplanung und des Verkehrs verringert werden; Industrieabwasser können durch eine Rohrleitung in das Meer geleitet werden. Diese Möglichkeit der Problemlösung kann jedoch in weltweitem Maßstab nicht befriedigend sein. Wenn die Luft, die Ozeane und das Land einmal in gefährlicher Weise verunreinigt sind, wird der Mensch kaum in der Lage sein, sie jemals wieder von der Verschmutzung zu befreien. Die für die Umwelt sicherere Methode des Schutzes besteht somit darin, die Emissionen an ihrem Ursprungsort zu reduzieren.

Einige von der Industrie stammende Abwässer sind jedoch für die Reinigung durch die bakteriologischen Verfahren der Abwasserbehandlung nicht geeignet. Bei diesen müssen chemische oder physikalische Methoden angewendet werden, wie z.B. Zersetzung durch Elektrolyse, Säure- oder Alkalineutralisation, Verdampfung und Verbrennung. In verschiedenen Fällen ist es möglich, die Kosten für das Betreiben der Abfallbeseitigungsanlage durch Rückgewinnung oder Wiederverwendung von Material aus dem Abfall wieder einzubringen. In der metallverarbeitenden Industrie kann beispielsweise wirklich reines Kupfer durch elektrolytische Behandlung von kupferhaltigen Abfällen in Schwefelsäurebeizbädern zurückgewonnen werden.

Die am häufigsten vorkommende Art der Verunreinigung in der Luft sind wahrscheinlich Teilchen, deren Durchmesser im Bereich von $0,01 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ liegt ($1 \mu\text{m} = 1 \text{ Millionstel Meter}$). Dieser Bereich umfaßt leicht sichtbare Rauchwolken sowie Flugsand und Staub und kaum sichtbare Aerosole (in diesem Fall sind die Teilchen oder Tröpfchen in der Luft

Umweltschutz—danach

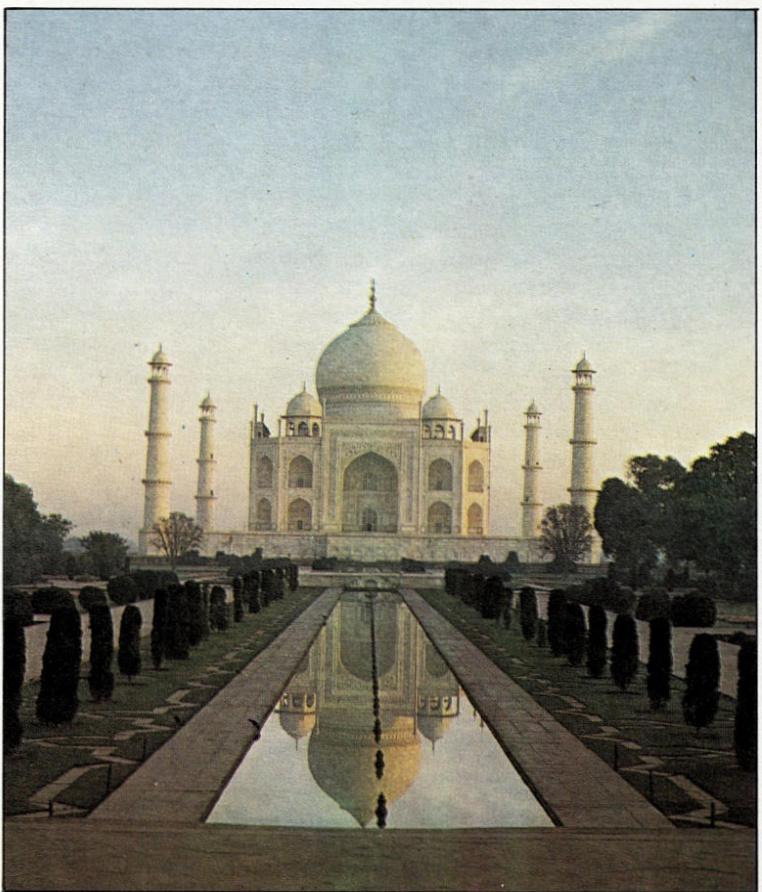


suspendiert). Es gibt viele Möglichkeiten, die Teilchen zu entfernen. Am häufigsten geschieht dies durch Filtersäcke, die regelmäßig ausgetauscht oder erneuert werden. Eine weitere Methode ist die Anwendung von elektrostatischen Abscheidern. In diesen werden die Teilchen durch elektrische Felder auf die Niederschlagsplatten hinbewegt, die maschinell gereinigt werden, wenn der Niederschlag zunimmt. Gelegentliches Besprühen mit Wasser ist eine wesentliche Methode, kleine Teilchen und die löslichen, gasförmigen Verunreinigungssubstanzen zu entfernen. Oder wenn die ausströmenden Gase in ausreichendem Maße in Wirbelbewegung versetzt werden, können die Zentrifugalkräfte hoch genug sein, um die Teilchen an die Wandungen eines Behälters zu schleudern, wo sie dann entfernt werden können. Flugsand und Staub, die von Materiallagern der Industrie weggeblasen werden, stellen in vielen Gebieten einen wesentlichen Verunreinigungsstoff dar. Diese Verschmutzung kann bis zu einem gewissen Grade durch regelmäßiges Abspritzen des Materials mit Wasser bekämpft werden. Oder es muß, wenn erforderlich, darauf bestanden werden, daß zur Lagerung und zum Transport geschlossene Behälter verwendet werden.

Rechts: Das im 17. Jahrhundert von dem Großmogul Schahdschahan errichtete Tadsch Mahal nimmt wegen der Luftverunreinigung durch die in der Nähe liegenden Fabriken allmählich eine braune Farbe an. Es werden Schritte unternommen, diese Verunreinigung zu verringern und somit sowohl das Mausoleum als auch die Gesundheit der örtlich ansässigen Bevölkerung zu schützen.

Unten: Die wesentlichen Ursachen der häufigsten die Luft verunreinigenden Substanzen.

Art des Schadstoffes	Herkunft
Schwefeldioxid	Stromerzeugungsanlagen, Ölraffinerien, Eisen- und Stahlwerke
Rauch, Staub, Flugsand	Eisen- und Stahlwerke, Kraftwerke, Gießereien, Gaswerke, Zementwerke
Carbonmonoxid	Verbrennung von Fossilbrennstoffen
Carbondioxid	Verbrennung von Fossilbrennstoffen
Stickstoffoxide	Anlagen zur Herstellung von Salpetersäure, Stromerzeugungsanlagen, Eisen- und Stahlwerke, Düngemittelfabriken
Amoniak	Ammoniakanlagen
Schwefeltrioxid	Schwefelsäureanlagen, Ziegeleien
Sulfide und Schwefel	Elektrizitätswerke, Schmelzhütten, Gummivulkanisieranlagen, Koksofen
Chlor und Hydrogenchloride	Chloranlagen, Aluminiumwerke, Chromanlagen
Chlorierte Kohlenstoffhydride	Chemische Reinigungen, Aerosol-sprays
Merkaptane	Ölraffinerien, Koksofen
Zinkoxid	Kupferanlagen



Eine wichtige Möglichkeit, die durch Verbrennung verursachte Luftverunreinigung zu verringern, besteht darin, daß die Behörden bezüglich der Brennstoffzusammensetzung Beschränkungen auferlegen. Ein gut bekanntes und sehr erfolgreiches Beispiel dafür ist die Durchsetzung von rauchfreien Zonen, in denen für alle Heizzwecke nur die jeweils genehmigten Brennstoffe und Geräte verwendet werden dürfen. Einige Städte haben Schritte unternommen, innerhalb ihrer Stadtgrenzen den Schwefelgehalt des zum Heizen verwendeten Öls und der Kohle zu begrenzen, und in vielen Ländern werden die Höchstgrenzen für den Bleigehalt von Motorenreibstoffen festgelegt.

Es gibt auch viele Möglichkeiten, geringe Mengen von unerwünschten Gasen zu entfernen. Das hängt jeweils von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B. der Art des Gases, seiner Konzentration, der Durchsatzmenge usw. Die katalytische Verbrennung, bei der die Verunreinigungssubstanz zu einer sichereren Substanz oxidiert wird, ist eine sehr häufig angewandte Methode. Die Bedeutung des Katalysators im Bereich der Industrie liegt darin, daß durch ihn die Oxidation bei einer niedrigen Temperatur stattfinden kann, so daß bei der Verschmutzungsbekämpfung keine großen Wärmemengen verschwendet werden müssen.

Es wurden auch Katalysatoraggregate entwickelt, um Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffe aus den Abgasen von Fahrzeugen mit Benzinmotoren zu entfernen. In diesem Fall sind Katalysatoren erforderlich, um die Oxidation ausreichend zu beschleunigen, so daß sie spätestens dann beendet ist, wenn die Abgase das System durchlaufen haben. Gründlich untersucht werden noch weitere Methoden zur Reinigung der Abgase von Kraftfahrzeugen, wie die Verwendung von Zusatzgeräten, die die Verdunstung aus Kurbelwanne und Kraftstoffbehälter einschränken sollen, grundlegender Umbau des Motors bis hin zur Anwendung des Gasturbinenprinzips und der Elektrifizierung.

UNBEMANNTES FLUGZEUG

Unbemannte Flugzeuge (Fernlenkflugzeuge) können für Aufklärungsflüge, Täuschungsmanöver und Zielübungen sowie in zahlreichen anderen Situationen, in denen das Leben des Piloten auf dem Spiel stehen würde, von großem Nutzen sein.

Ein Fernlenkflugzeug ist, ebenso wie eine Fernlenkwaffe, ein unbemanntes Luftfahrzeug mit eigenem Antrieb, dessen Flugrichtung entweder durch Fernsteuerung oder durch an Bord mitgeführte Ausrüstung zur Voreinspeicherung von Daten bestimmt werden kann. Im Gegensatz zu Lenkflugkörpern sind die meisten Fernlenkflugzeuge dazu konstruiert, nach dem Einsatz geborgen und wiederverwendet zu werden.

Das erste ohne Piloten gesteuerte Flugzeug war ein Curtiss-Flugboot der US Navy, das im Jahre 1913 mit einem von Elmer Sperry (1860 bis 1930) konstruierten Kreisel als Stabilisator für Schiffe und Flugzeuge getestet wurde. Diese Vorrichtung bildete die Grundlage für den ersten in der Praxis einsetzbaren Autopiloten (Fluglageregler). Fernlenkflugzeuge wurden und werden hauptsächlich als Ziele für Kampfflugzeuge und Kampfmittel zur Flugabwehr benutzt. Obgleich es sich bei einigen Fernlenkflugzeugen um mit Fernsteuerungsanlagen ausgerüstete Serienflugzeuge normaler Größe handelt, sind doch die meisten von ihnen kleiner und werden speziell für diese Aufgabe gebaut. Sie werden als Zielfrachten bezeichnet und stellen den größten Anteil der in

Die wichtigsten Konstruktionsteile und Aggregate des von der australischen Firmengruppe GAF gebauten Fernlenkflugzeuges Turana. Die Turana ist als Zielflugzeug für Artillerie und Fernlenkgeschosse konstruiert und mit einem Turbinen-Luftstrahl-Antrieb vom Typ Microturbo Cougar ausgerüstet, mit dem sie eine Höchstgeschwindigkeit von 725 km/h bei einer Reichweite von 600 km erreichen kann. Dieses auf der Grundkonstruktion der Ikara-Flugkörper entwickelte Fernlenkflugzeug ist ein Nachfolger der mit einer Stückzahl von 500 Einheiten gebauten Jindivik-Zieldrohne.

unserer Zeit gebauten unbemannten Flugzeuge. Jedoch wendet man sich gleichzeitig in immer stärkerem Maße einer als Fernlenkflugzeuge bezeichneten Flugzeug-Klasse zu.

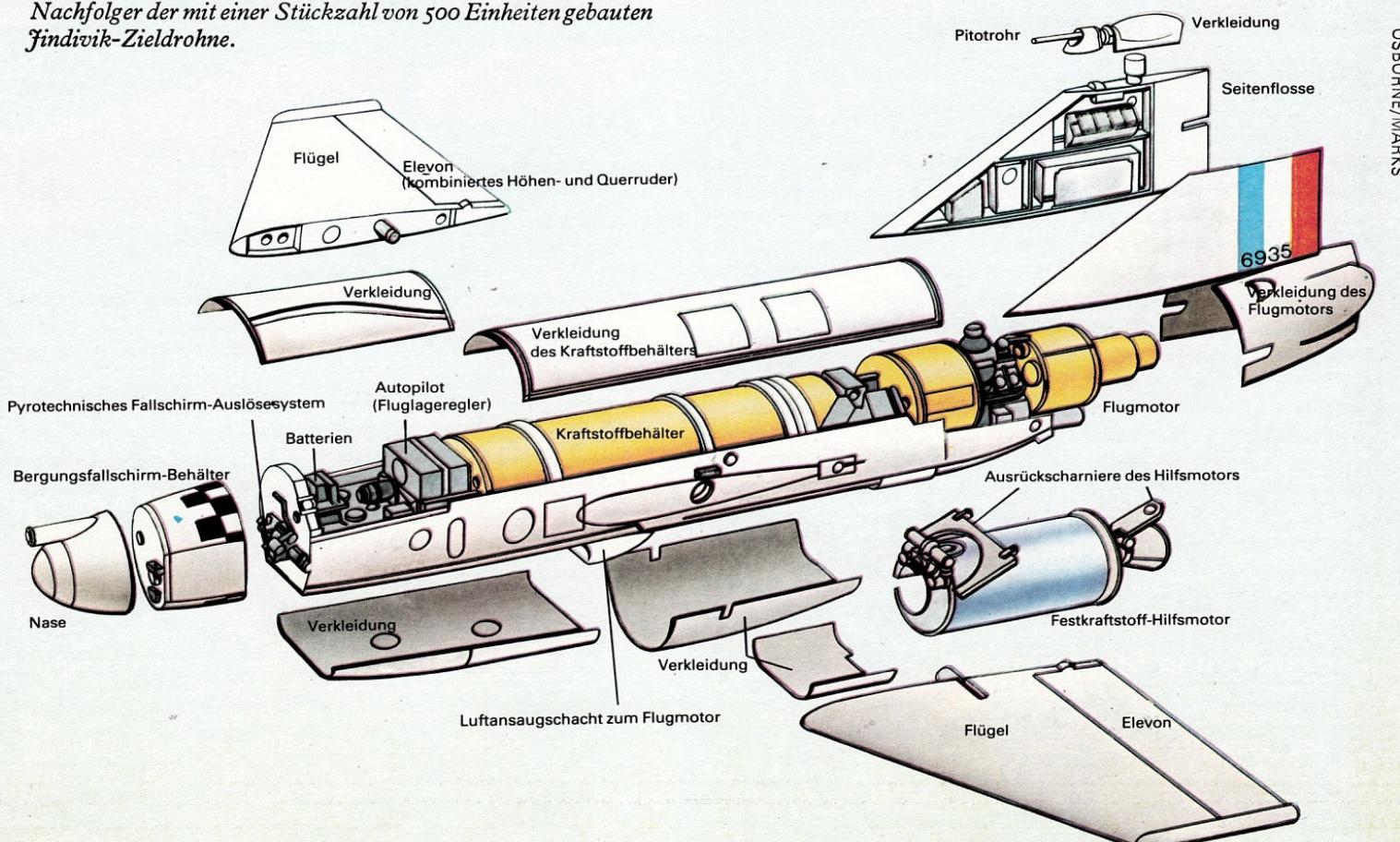
Wie bei einem Flugkörper sind die Grund-Baugruppen eines Fernlenkflugzeugs das Rumpfwerk, das Triebwerk und die zum bordseitigen Instrumentarium gehörenden Steuerungs-, Kommando- und Leitsysteme. Im Flugbetrieb arbeiten außer den genannten noch die Start-, Fernsteuerungs- und (normalerweise) die Bergesysteme. Darüber hinaus werden für Zielübungen Zielvergrößerungs- und Trefferanzeigesysteme erforderlich.

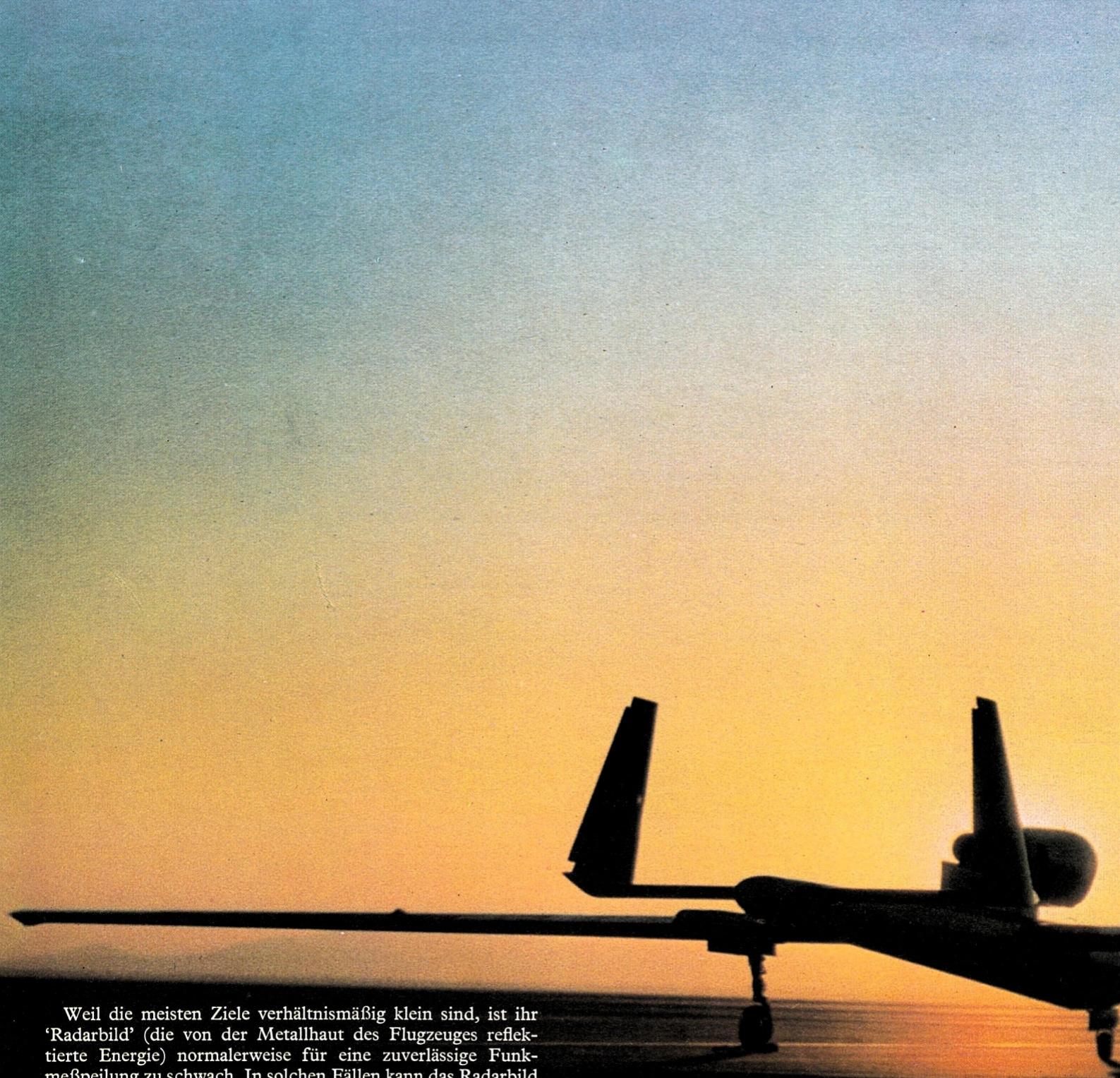
Rumpfwerk und Triebwerk

Die Konstruktion und der Bau des Rumpfwerkes entsprechen fast ohne Ausnahme dem eines bemannten Flugzeuges oder eines luftatmenden Flugkörpers. Zur Ausrüstung gehört das herkömmliche Flugwerk (Tragflächen/Flügel, Querruder, Höhenleitwerk, Flossen). Beim Triebwerk kann es sich um einen Kolben-Flugmotor, einen Turbinen-Luftstrahl-Antrieb, einen Turbinen-Propeller-Antrieb oder um einen Raketenantrieb handeln. Für die Verwendung als Flugkörper mit Eigenantrieb zur Simulation von Luftzielen oder zur Aufklärung (Drohne) umgebauten bemannte Flugzeuge behalten normalerweise das Cockpit (häufig mit einer Vorrichtung, die einem Piloten die Kontrolle der Instrumente gestattet) und das Fahrwerk bei. Einige andere Drohnen und Fernlenkflugzeuge besitzen ebenfalls ein Fahrwerk; jedoch werden die meisten so konstruiert, daß sie kein Fahrwerk benötigen.

Kommandolenkung

Die meisten Fernlenkflugzeuge sind mit einer Kommando-Funkempfangsanlage ausgerüstet, bei der ein bordseitiger Funkempfänger die von der Kommandoübertragungsanlage ausgesandten Pulse auffängt, entschlüsselt und so verarbeitet, daß sie die entsprechenden Relais zur Steuerung des Flugzeuges, zum Ein- oder Ausschalten der Trefferanzeigevorrichtung oder zur Durchführung anderer verlangter Funktionen auslösen.





Weil die meisten Ziele verhältnismäßig klein sind, ist ihr 'Radarbild' (die von der Metallhaut des Flugzeuges reflektierte Energie) normalerweise für eine zuverlässige Funkmeßpeilung zu schwach. In solchen Fällen kann das Radarbild durch einen bordseitigen Radar-Pulsgeber vergrößert werden, der von der Beobachtungsstation ein verschlüsseltes Pulssignal empfängt und mit einer unter vorgeschrriebener Energieabgabe abgestrahlten (ebenfalls verschlüsselten) Antwort darauf reagiert.

Ergänzend zu der für die Kommandolenkung erforderlichen Anlage ist die Drohne mit einer Meßwert-Fernübertragungsanlage zur Rückübermittlung von Angaben über die richtige Durchführung der vom Fernlenkstand erteilten Kommandos ausgerüstet. Außerdem kann sie solche Daten wie Fluggeschwindigkeit, Höhe und Kraftstoffreserve der Drohne zum Fernlenkstand zurückübermitteln, damit dort diesbezügliche Daten zur Unterstützung bei der Ausarbeitung weiterer Kommandos für die Drohne vorliegen.

Abschuß- und Startsysteme

Zieldrohnen und solche Fernlenkflugzeuge, bei denen es sich nicht um modifizierte Flugzeuge mit Handsteuerung handelt, werden entweder von Boden- oder Schiffs-Startrampen abgeschossen oder von einem Trägerflugzeug in der Luft gestartet. Bei Startrampen handelt es sich in der Regel um

kurze (ortsfeste oder auf Fahrzeugen montierte) schienenartige Konstruktionen, von denen aus die Drohne entweder mit eigener Kraft oder unter Verwendung eines für Raketenstarts benutzten Treibstoffzylinders, der ein paar Sekunden lang Schubkraft vermittelt und nach Verbrennen des Treibstoffes ausgeklinkt wird, in aufwärtsgeneigtem Winkel zum Abschuß gelangt. Zum Start in der Luft werden Drohnen oder Fernlenkflugzeuge an unter den Flügeln eines Mutterflugzeugs montierten Stahlträgern angehängt befördert. Wie bei einem Abschuß vom Boden werden Startvorbereitungssysteme überprüft und das Triebwerk bzw. der Motor über Versorgungsanschlüsse gestartet, die vor dem endgültigen Start getrennt werden müssen. Normalerweise wird kein Hilfsmotor benötigt. Die Drohne wird einfach aus der Tragevorrichtung ausgeklinkt, und die Fernsteuerung übernimmt ein paar Sekunden später das 'Kommando'. Zu Drohnen umgebauten Normalflugzeuge sind, ebenso wie einige größere Fernlenkflugzeuge, mit herkömmlichem Fahrwerk für normales Starten und Landen auf Rollbahnen ausgerüstet.



Fernsteuerungsanlage

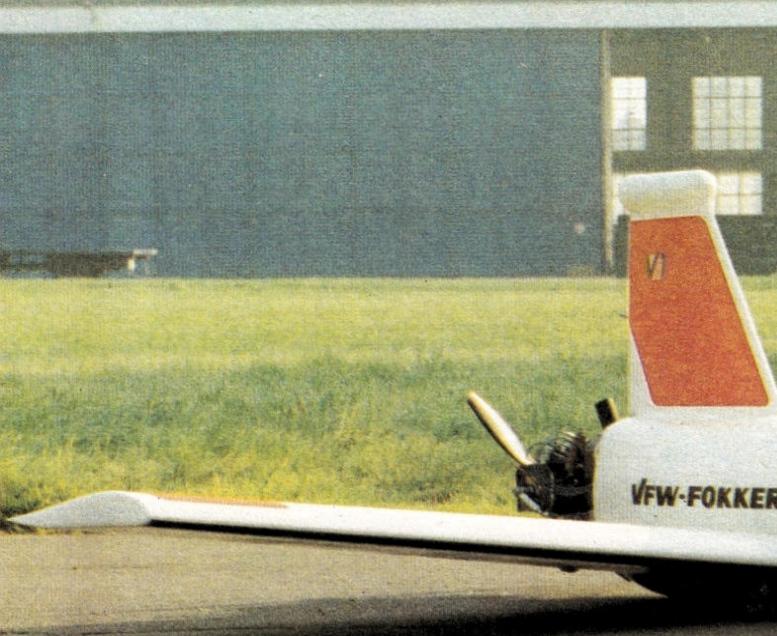
Die Fernsteuerungsanlage besteht aus dem Sender der Funksteuerungsanlage, einem Steuerungsteil zur Einspeicherung von Flug- und anderen für die Drohne bestimmten Kommandos, ein Radarzielverfolgungsgerät mit Vorrichtungen zur Verfolgung des von der Drohne eingeschlagenen Kurses mit Anzeige ihrer Position sowie die zum Empfang, zur Auswertung und zur Anzeige der von der Drohne zum Kommandostand zurückübermittelten Daten erforderlichen Ausrüstung. Die Fernsteuerungsanlage ist in der Regel in der bodenseitigen oder schiffsseitigen Kommandozentrale untergebracht, kann aber auch an Bord des Mutterflugzeuges mitgeführt werden.

Anlagen und Vorrichtungen zur Bergung

Ferngesteuerte Flugzeuge, die nicht mit einem Fahrwerk ausgerüstet sind, das eine Landung nach Abschluß eines Einsatzes ermöglicht, können in irgendeiner Form mit Hilfe von automatisch oder durch Fernsteuerung ausgelösten Fallschirmen geborgen werden. Mit einem kleinen Bremsfallschirm und einem großen Hauptfallschirm wird die Drohne in der

Die 'Compass Cope', ein amerikanisches Flugzeug, das für Aufklärungsflüge in großen Höhen eingesetzt wird.

Luft abgebremst und zur Bergung auf festen Boden oder eine Wasserfläche heruntergelassen. Zur Erzielung einer weichen Landung bzw. zur Verhinderung des Versinkens im Wasser kann die Drohne mit Luftsäcken ausgerüstet werden, die sich kurz vor dem Aufschlag selbsttätig mit Luft füllen. Die am häufigsten beobachtete Vorgehensweise ist jedoch die Bergung durch Hubschrauber-Einsatz in der Luft. Hierbei verläuft eine Schleppleine zwischen der Drohne und einem als Fang-Fallschirm bezeichneten dritten Fallschirm, in den ein vom Hubschrauber heruntergelassener Fanghaken eingreift. Hat sich eine haltbare Verbindung zwischen Hubschrauber und Drohne ergeben, klinkt sich der Hauptfallschirm selbsttätig aus, und der Hubschrauber kehrt mit der unter ihm hängenden Drohne zum Stützpunkt zurück. Sollte die Funkverbindung zwischen der Kommandozentrale und dem Empfänger über einen bestimmten Zeitraum hinweg unterbrochen werden, kann eine Sicherheitsvorrichtung die Bergefallschirme selbsttätig auslösen.



Zielvergrößerungsanlage

Weil eine Drohne ein Zielflugzeug normaler Größe realistisch darstellen muß, selbst jedoch nur verhältnismäßig klein ist, müssen ihre Ausmaße für den angreifenden Piloten künstlich vergrößert werden. Eine derartige Vergrößerung kann von einem einfachen Raucherzeuger, der dem Piloten ein Zielen auf ein sichtbares Ziel erleichtert, bis zu elektronischen Vorrichtungen reichen, die die Drohne auf den Cockpit-Instrumenten vergrößert erscheinen lassen. Im Falle von auf Wärme ansprechenden Fernlenkgeschossen kann die Drohne z.B. mit einer Wärmequelle ausgerüstet werden, um ihren Infrarot-Umriss zu vergrößern. Die Zielerkennung kann durch eine als Ansteuerungshilfsmittel benutzte bordseitige Radarbake — ähnlich wie sie beim Beobachtungssystem benutzt wird — unterstützt werden. Ein über Transistoren mit Energie versorgtes Dezi-Verstärkersystem kann das vom Rumpfwerk abgestrahlte natürliche Radarbild vergrößern.

Fernlenkflugzeuge

Diese neuen Flugzeuge haben sich aus den derzeit noch eingesetzten Zieldrohnen entwickelt. Ihre Vorteile liegen in ihrer geringen Größe und den demzufolge verhältnismäßig niedrigen Kosten. Außerdem kann man sie für aktive Militäraufgaben unter Bedingungen, die entweder die Anwesenheit eines Piloten im Cockpit unnötig machen oder den dort anwesenden Piloten in Lebensgefahr bringen, verwenden. Durch ihren Einsatz ist es möglich, Manöver in absoluten Grenzbereichen durchzuführen, da die durch die Anwesenheit eines Menschen im Cockpit auferlegten physikalischen Ein-

Oben rechts: Der 'Kiebitz' ist ein mobiles Trägersystem, bestehend aus einer autonomen Rotorplattform und einer Bodenanlage. Der Kiebitz, ein unbemannter Sensor- und Antennenträger, eignet sich u.a. für Zielortung, Tieffliegererfassung, Seezielüberwachung und Richtfunkanlage.

Ganz oben links: Ein unbemannter Aufklärungsflugkörper der Bundeswehr, die sogenannte 'Drohne' CL 289.

Oben: Der 'Tucan' ist ein ferngesteuertes Fluggerät, das Ziele bis auf 70 km Entfernung erkennt.

schränkungen außer acht gelassen werden können. Sie sind bereits erfolgreich mit fotografischer und elektronischer Ausrüstung für Aufklärungszwecke (z.B. in Vietnam), für den Abwurf von Sensoren, für Radar-Erkundungsflüge, für den Einsatz elektronischer Abwehrgeräte (als Störsender oder Täuschreflektoren) und für den Transport von Kampfmitteln eingesetzt worden. Ein mit Fernsehsendern und Laser-Radar ausgerüsteter Typ kann Flüge zur Ortung und Aufzeichnung von Zielpunkten durchführen und Einzelheiten über das betreffende Ziel an ein mit Kampfmitteln befrachtetes Fernlenkflugzeug-Geschwader zurücksenden, das außerhalb des Einsatzbereiches wartet; alle diese Vorgänge werden ferngesteuert. Zu den neuesten Entwicklungen gehören Kleinst-Fernlenkflugzeuge in der Größenordnung normaler Modellflugzeuge mit Funksteuerung, die mit Miniaturkameras, Radarköpfen und anderen Sensoren ausgerüstet werden und kurze Aufklärungsflüge über bestimmte Bereiche des betreffenden Kampfgebietes durchführen.

UNKRAUTBEKÄMPFUNG

Es wird eine beträchtliche Menge Geld investiert, um die Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung zu erforschen. Man arbeitet an selektiv wirkenden Herbiziden, die die Nutzpflanzen nicht beeinträchtigen und nicht giftig sind, jedoch die hartnäckigsten Unkrautarten vernichten.

Bei den ersten Methoden der Unkrautbekämpfung bediente man sich mechanischer Hilfsmittel, d.h. es wurden keine Chemikalien verwendet. Durch Hacken des Erdbodens — Lockern und Zerstören der obersten Schicht — werden alle im Keimungsprozeß befindliche Unkrautsämlinge abgeschnitten, entwurzelt oder mit Erde bedeckt, was ein Weiterwachsen des Unkrauts verhindert. Dieser Arbeitsgang kann manuell durchgeführt werden, wie es jahrhundertelang getan wurde, oder, wie es heute üblich ist, mit Hilfe von Maschinen, die von Traktoren gezogen werden.

Durch die in Europa übliche Methode, den Boden mit einem mit Streichblech versehenen Pflug zu pflügen, der eine Furche schneidet und den Boden umwendet, kann das entstehende Unkraut freigelegt und vernichtet werden, besonders bei kaltem Wetter. Dieses System kann nur angewendet werden, wenn keine große Gefahr einer anschließenden Bodenerosion besteht. In einem solchen Fall muß ein anderes System angewendet werden, wie beispielsweise die in den USA durchgeführte Methode des Ackerbaus, bei der zur Ver-

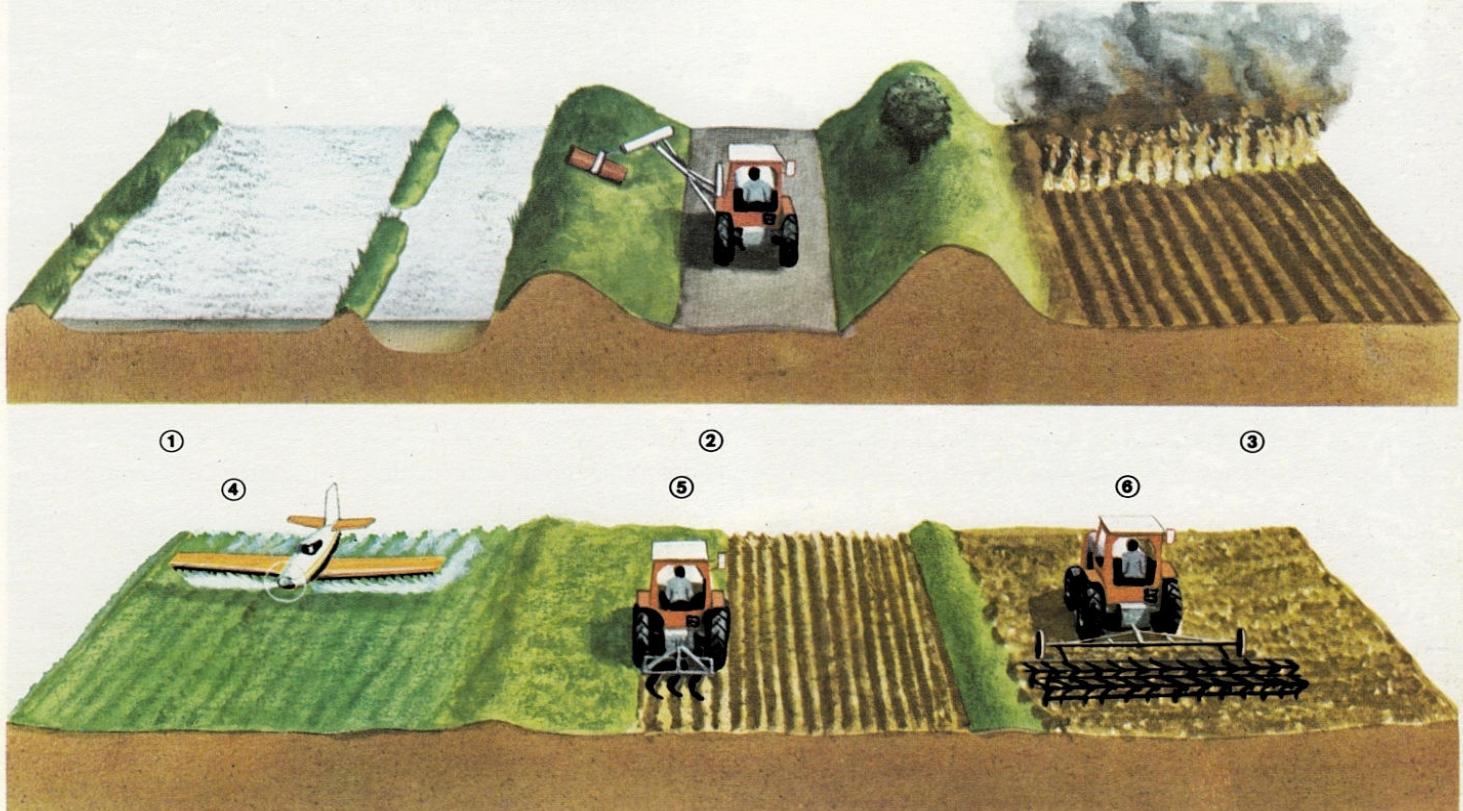
hütung von Erosion nur der Untergrund gelockert wird. Hierbei dringt man nicht so tief in den Erdboden ein. Das Unkraut wird abgeschnitten und wie eine Abdeckung auf die Erdoberfläche gelegt, wodurch das Wasser in dem Boden bleibt.

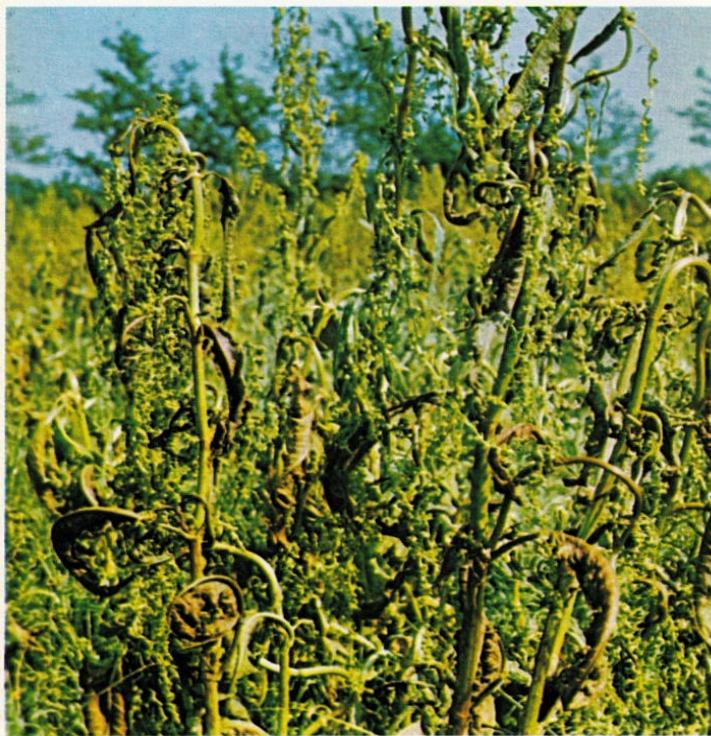
Andere mechanische Hilfsmittel, die heute verwendet werden, sind schwere Eggen, die zur Bodensäuberung über den Acker gezogen werden, Dreschflegel und Beschneidvorrichtungen. Diese werden beispielsweise zum Beschneiden von Hecken verwendet. Aber die Wahl des richtigen Zeitpunktes für diesen Arbeitsgang ist von großer Bedeutung, wenn das Aussehen der Straßenränder nicht verdorben werden soll. Viele regionale Behörden in Großbritannien haben jetzt ein in zwei Bereichen durchzuführendes Verfahren der Unkrautbekämpfung an Straßenrändern eingeführt, bei dem der unmittelbar an die Straße grenzende Bereich mit Hilfe von Dreschflegelgeräten oder Beschneidvorrichtungen zweimal oder dreimal pro Jahr kurz geschnitten wird, während man in den Bereichen weiter abseits von der Straße die Pflanzen höher wachsen lässt und weniger häufig beschneidet. Auf diese Weise wird das Unkraut unter Kontrolle gehalten, die Sicht an Straßenbiegungen bleibt erhalten und die Fußgänger haben einen Bereich, wo sie laufen können. Außerdem wird das Aussehen des Straßenrandes nicht verschlechtert, da dort weiterhin eine große Anzahl von blühenden Pflanzen wächst. Früher angewandte Methoden der Unkrautbekämpfung mit Hilfe von Chemikalien wurden mit allgemeinem Protest der Bevölkerung beantwortet.

Zu anderen Methoden der Unkrautbekämpfung ohne Zuhilfenahme von Chemikalien gehören das Überfluten der Felder für einen Zeitraum von mehreren Wochen, das Abbrennen und das Anbauen von ausgewählten Vegetationsarten, um z.B. das Wachstum von Unkraut unter Starkstromleitungen zu verhindern. Niedriges Strauchwerk beschränkt die Höhe des Unkrautwachstums, so daß kein Risiko der Beschädigung von Starkstromleitungen besteht.

In einigen Fällen ist es auch möglich, eine fremde Insektenart einzuführen, die nur einen bestimmten Unkrauttyp, der irgendwie eingeschleppt wurde, befällt. Ein sehr be-

Verschiedene Methoden der Unkrautbekämpfung: 1. Überfluten, wie es in Monsungebieten und in Teilen der USA durchgeführt wird. 2. Abmähen mit Dreschflegel und Beschneidvorrichtungen im Fall von Hecken und Straßenrändern. 3. Abbrennen von Stoppelfeldern — eine Gefahr für eine Reihe von Tieren, obgleich dadurch Schädlinge und Unkraut vernichtet werden. 4. Besprühen aus der Luft — wird selten durchgeführt. 5. Normale Bodenbearbeitung mit Hilfe des Pfluges. 6. Versprühen eines Herbizids von einem Sprühgerät aus, das von einem Traktor gezogen wird.





Oben: Verschiedene Ampfergewächse neigen dazu, üppig zu blühen, wenn andere Pflanzen beschritten werden. Bei Verwendung eines selektiv wirkenden Herbizids, das als 'Ban-dock' bekannt ist, ist es möglich, die Ampfergewächse mit ihren normalerweise breiten und großen Blättern sehr effektiv zu bekämpfen, wie dieses verwelkte Exemplar zeigt.

kanntes Beispiel dafür ist die Vernichtung des Feigenkaktus, der zu Beginn dieses Jahrhunderts in weiten Gebieten von Australien wucherte. Da der Feigenkaktus aus Brasilien stammte, also kein einheimisches Gewächs war, hatte er keine natürlichen Feinde. Nach genauer Untersuchung entschloß man sich, eine bestimmte argentinische Mottenart einzuführen, die ihre Eier in den plattenartigen Blättern des Feigenkaktus legt. Die Larven verursachten nach ihrer Einführung im Jahre 1926 eine spektakuläre Vernichtung des Unkrauts.

Unkrautbekämpfung mit Hilfe von Chemikalien

Eine zur Unkrautbekämpfung verwendete Chemikalie ist als Herbizid bekannt. Die erstmalige Anwendung eines Herbizids erfolgte im Jahre 1896 in Frankreich, als G. Bonnet entdeckte, daß Kupfersulfat zwischen den Getreidepflanzen wachsenden Hederich (Ackersenf) vernichten kann, ohne das Getreide übermäßig in Mitleidenschaft zu ziehen. Später entdeckte man, daß auch Schwefelsäure und Phenole verwendet werden können. Diese Substanzen wurden dann sehr häufig verwendet. Obwohl ihre Verwendung beträchtliche Risiken in sich birgt,

Unten: Buschwerk und Hecken an Straßenrändern können am besten durch ein in zwei Ebenen durchzuführendes Beschneidverfahren unter Kontrolle gehalten werden, so daß auf die Verwendung von Herbiziden verzichtet werden kann. Der unmittelbar an die Straße grenzende Bereich wird zweimal oder dreimal pro Jahr kurz geschnitten, während der übrige Teil des Straßenrandes nur einmal beschnitten wird. So können viele verschiedene Pflanzen blühen, ohne daß sie gleich zu üppig wachsen.





werden sie in einigen Teilen Europas noch immer eingesetzt.

Nach der Verwendung dieser Chemikalien als Unkrautbekämpfungsmittel folgten dann die als Auxine bekannten Wuchsstoffherbizide, die in den frühen vierziger Jahren dieses Jahrhunderts entdeckt wurden. Auxine sind die in der Natur in Pflanzen vorkommenden Chemikalien, die ihr Wachstum beeinflussen, beispielsweise durch Erhöhung der Längenausdehnung von einzelnen Zellen. Wenn synthetische Auxine auf Pflanzen angewendet werden, übersteigt die Wachstums geschwindigkeit ihr Wuchsvermögen und sie sterben bald ab. Die Entdeckung dieser Substanzen führte zu einer Veränderung der landwirtschaftlichen Methoden; sie werden heute sehr häufig verwendet, wobei 2,4-D die bekannteste dieser Substanzen ist. Die ursprünglichen Herbizide vom Auxin-Typ hatten eine besonders schädliche Wirkung auf breitblättrige Pflanzen. Sie wurden also verwendet, um Getreidepflanzen von Unkraut freizuhalten. Später wurden jedoch noch weitere Auxin-Herbizide entdeckt, die jeweils eine selektive Wirkung hatten. Herbizide vom Auxin-Typ sind für Tiere im allgemeinen nicht giftig und verbleiben nicht sehr lange im Erdboden.

Es gibt jetzt viele Herbizidarten mit jeweils selektiven Wirkungen, von denen einige auf verschiedene Weise das Wachstum hemmen. Außerdem gibt es nichtselektive (total wirkende) Herbizide wie z.B. Paraquat, das jede Vegetation, mit der es in Berührung kommt, vernichtet. Zu diesen Herbiziden gehört auch Natriumchlorat. Sie werden häufig verwendet, um Ackerland zu säubern.

Selektive Wirkung

In vielen Fällen ist nicht genau bekannt, in welcher Art ein spezielles Herbizid wirkt und warum es selektiv wirkt. Einige Herbizide wirken bei Berührung und unterbrechen die in den Pflanzen vorgehenden Prozesse wie z.B. die Photosynthese, bei der eine Pflanze unter dem Einfluß von Licht Kohlehydrate für das Wachstum erzeugt. In anderen Fällen werden die Herbizide von der Oberfläche absorbiert und in die Wachstumszentren oder in die Wurzeln transportiert, wo sie eine giftige Wirkung hervorrufen.

Disteln in einem Maisfeld. Sie wurden in einem früheren Stadium mit 2,4-D besprüht und gehen nun ein. Disteln gehören zu den unangenehmsten Feldunkrautarten.

Die Selektivität kann von einer ganzen Reihe von Pflanzeigenschaften abhängen, u.a. von dem Umfang ihrer Wachsschicht, der Form und der Position der Blätter und von der Lage des Vegetationspunktes, wo die Zellteilung stattfindet. Getreidepflanzen wachsen beispielsweise in Bodennähe oder unmittelbar unter der Erdoberfläche, während sich die Knospen und Wachstumspunkte von breitblättrigen Pflanzen an den Seitentrieben und Blättern befinden. Ein Spray, der bei Berührung wirkt, kann also breitblättriges Unkraut vernichten, ohne dabei Getreidepflanzen zu beschädigen.

Die Wahl des richtigen Zeitpunktes für die Herbizidanwendung ist von großer Bedeutung, besonders wenn eine selektive Wirkung erzielt werden soll. Das keimende Unkraut kann entweder vor Anbau der Feldfrucht vernichtet werden oder wenn das Wachstum des Unkrauts begonnen hat, das der Feldfrucht hingegen noch nicht. Die Menge der Feuchtigkeit im Boden ist oft von entscheidender Bedeutung, da eine bestimmte Menge erforderlich sein kann, um das Herbizid zu aktivieren. Wenn es jedoch zu stark regnet, können die Chemikalien in den Boden hineingewaschen werden, wo sie die Feldfrucht beschädigen oder überhaupt keine Wirkung auf das Unkraut haben können.

Einige Herbizide hemmen das Wachstum von Feldfrüchten, während sie das Unkraut vernichten. Sie dürfen also nur für das Unkraut verwendet werden. Auch die Konzentration ist wichtig: 2,4-D kann jede Pflanze vernichten, wenn die Konzentration hoch genug ist; außerdem ist es äußerst schädlich, wenn die Saat keimt.

Zu den herkömmlichen Herbiziden gehören 2,4-D (2,4-Dichlorphenoxyessigsäure), 2,4,5-T (2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure), MCPA (2-Methyl-4-chlorphenoxypropionsäure) und die Buttersäureabkömmlinge davon wie z.B. MCPB sowie Dalapon (2,2-Dichlorpropionsäure).

UNTERSEEBOOTE

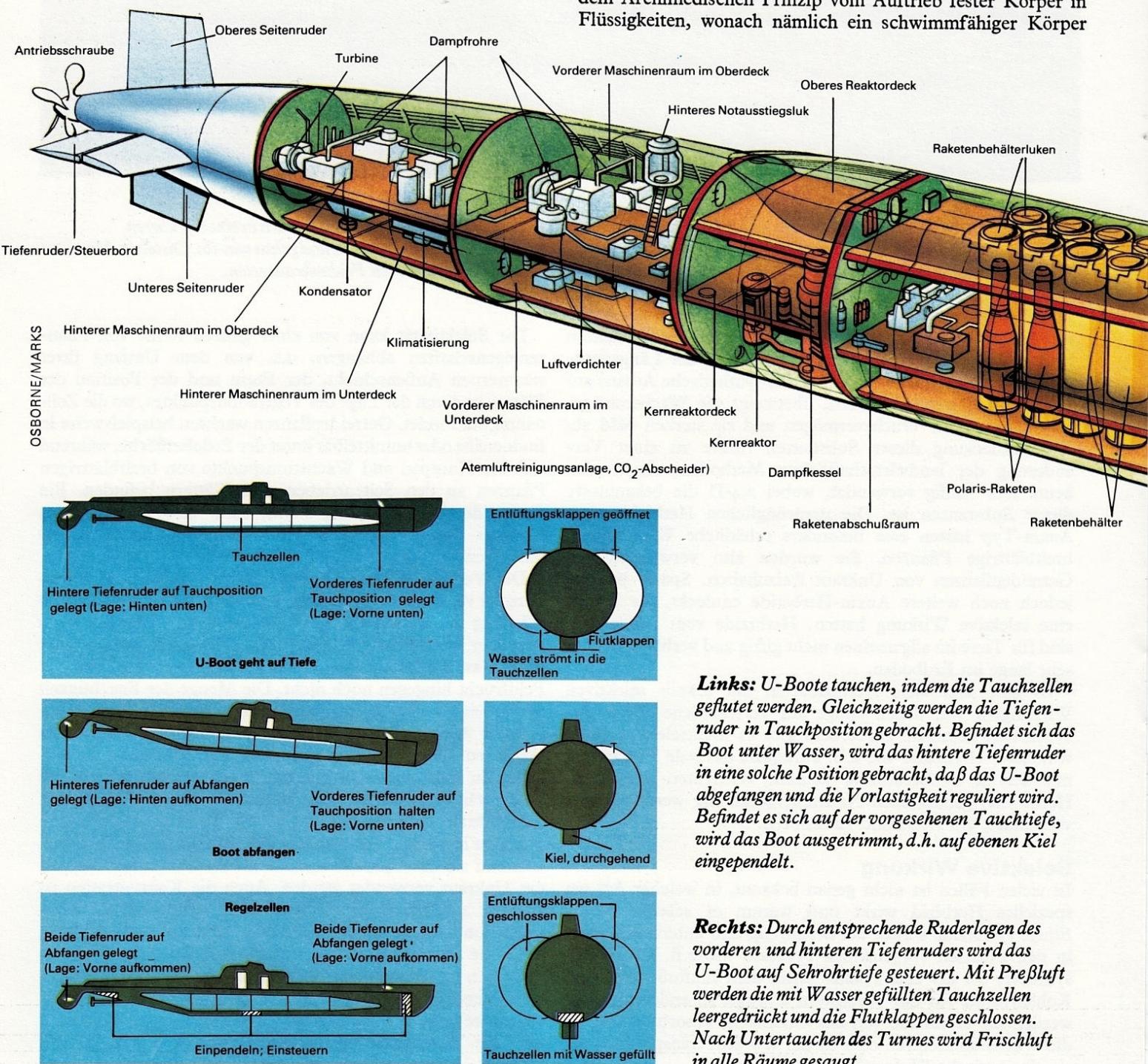
Unterseeboote, kurz U-Boote genannt, bilden innerhalb der Seestreitkräfte eine Teilstreitkraft. Aufgrund ihrer neuzeitlichen Konstruktion, neuer Antriebstechnologien sowie auf dem neuesten Stand der Technik befindlicher Navigationsanlagen gelten sie als weitgehend angriffsicher.

So lange U-Boote getaucht fahren, können sie nur schwer entdeckt werden, und auch im aufgetauchten Zustand sind sie wegen des kaum aus dem Wasser herausragenden Oberdecks und Turmes nur schwer auszumachen. Das gilt besonders für U-Boote mit Kernenergieantrieb, nachfolgend KE-Antrieb genannt. Da der Reaktor der KE-Antriebsanlage keine Verbrennungsluft benötigt, bilden diese U-Boote ein in sich geschlossenes Waffensystem, mit dem sehr lange Tauchfahrten möglich sind.

Das Prinzip der Taucherglocke war bereits vor mehr als

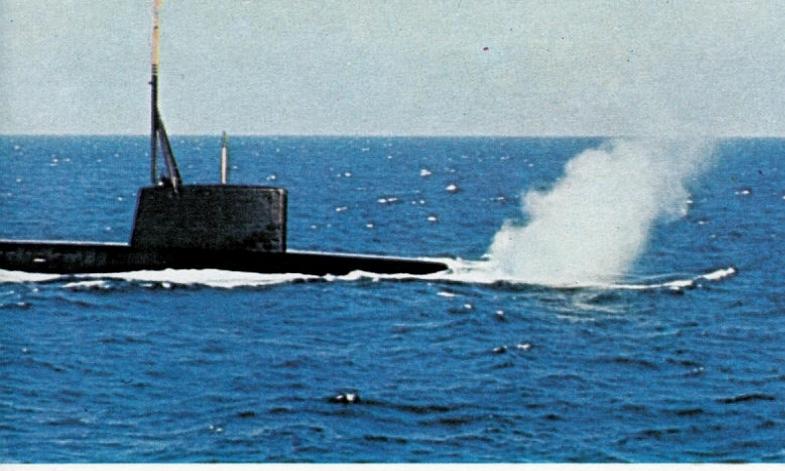


2 000 Jahren bekannt, und auch Leonardo da Vinci stellte in seinen Zeichnungen tauchbootähnliche Tauchgeräte dar. Aber erst im Jahre 1580 erarbeitete William Bourne, ein Offizier der englischen Kriegsmarine, eine Abhandlung über die Prinzipien des Unterwasser-Lastigkeitsausgleichs, mit der die praktischen Möglichkeiten des U-Bootsbaus untersucht wurden. Es wurde deutlich, daß es gemäß dem Archimedischen Prinzip vom Auftrieb fester Körper in Flüssigkeiten, wonach nämlich ein schwimmfähiger Körper

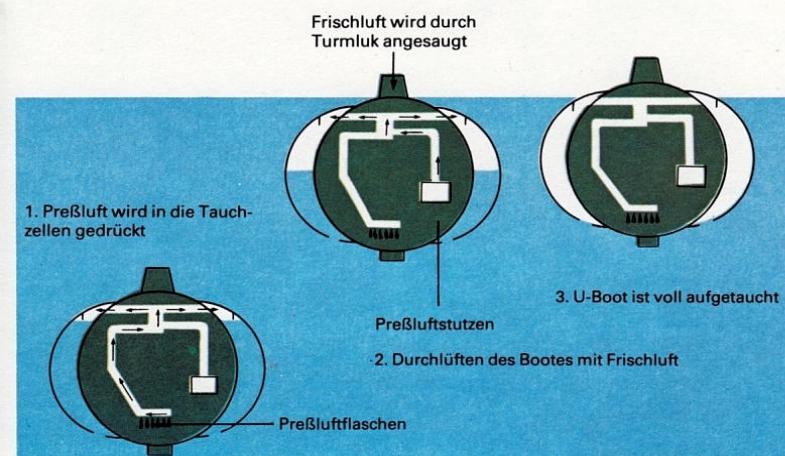
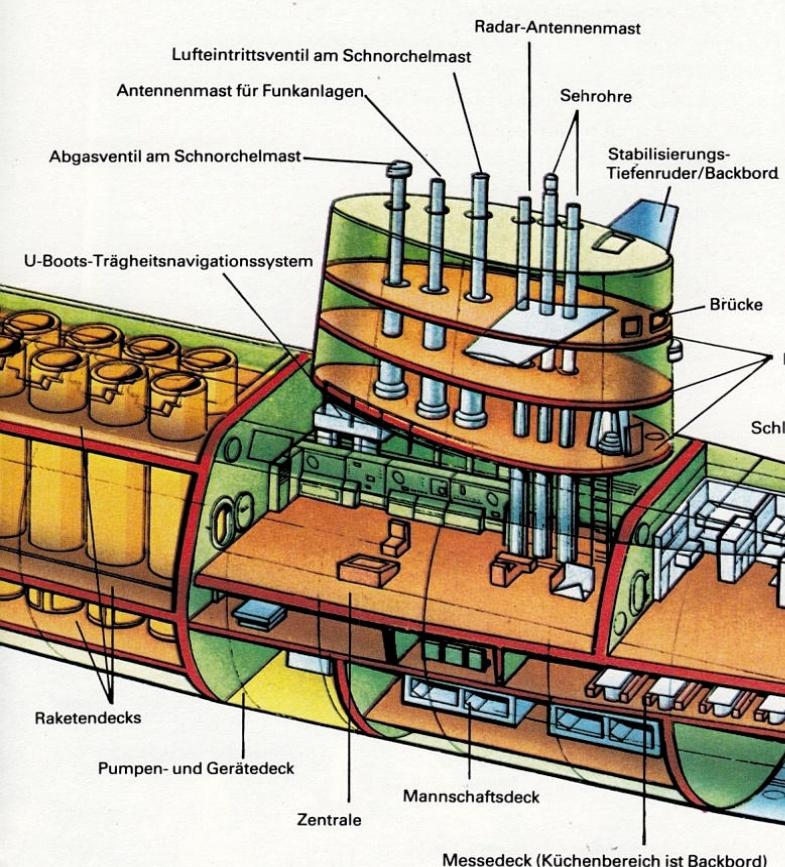


Links: U-Boote tauchen, indem die Tauchzellen geflutet werden. Gleichzeitig werden die Tiefenruder in Tauchposition gebracht. Befindet sich das Boot unter Wasser, wird das hintere Tiefenruder in eine solche Position gebracht, daß das U-Boot abgefangen und die Vorlastigkeit reguliert wird. Befindet es sich auf der vorgesehenen Tauchtiefe, wird das Boot ausgetrimmt, d.h. auf ebenen Kiel eingependelt.

Rechts: Durch entsprechende Ruderlagen des vorderen und hinteren Tiefenruders wird das U-Boot auf Seehöhe gesteuert. Mit Preßluft werden die mit Wasser gefüllten Tauchzellen leergedrückt und die Flutklappen geschlossen. Nach Untertauchen des Turmes wird Frischluft in alle Räume gesaugt.



Oben: Das englische KE-U-Boot 'HMS Resolution' beim Tauchen. Die aus den Tauchzellen entweichende Luft ist am Bug und Heck des Bootes zu sehen. KE-Antriebe benötigen weder Sauerstoff noch verursachen sie giftige Abgase (wie bei Dieselantrieb). Anlagen nach dem letzten Stand der Technik ermöglichen diesen U-Booten einen mehrmonatigen Aufenthalt unter Wasser.



die Wassermenge verdrängt, die seinem Eigengewicht entspricht, durch den Einbau von Wassereinlässen möglich ist, das Gewicht dieses Körpers durch Einlassen von Wasser so zu erhöhen, daß dieser unter Wasser sinkt. Er gerät in einen Schwebezustand, wenn sein Gewicht im Tauchzustand gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers ist. Umgekehrt kehrt dieser Körper an die Wasseroberfläche zurück, wenn das eingelassene Wasser mit Hilfe von Preßluft ausgedrückt wird. Ausgehend von diesen grundsätzlichen Erkenntnissen baute der Holländer Cornelius van Drebbel ein tauchfähiges Boot, das nicht nur unter der Wasseroberfläche fahren, sondern gewollt wieder zu ihr zurückkehren konnte. Sein Tauchboot, das dem König James I auf der Themse vor Westminster vorgeführt wurde, hatte ein expandierendes Schott aus Leder, mit dem Ballastwasser ausgestoßen, d.h. gelentzt, werden konnte, indem es jeweils in Position zurückgedrückt wurde. Dieses Verfahren entspricht der Wechselwirkung von Ansaugen und Ausdrücken, wie sie von einem Blasebalg her bekannt ist. Der Antrieb erfolgte manuell durch Pullen, aufgetaucht wurde durch Ansaugen von Außenluft über ein Belüftungsrohr. Dieses von van Drebbel konstruierte Tauchboot wurde von ihm selbst sicher über eine Strecke von etwa 10 km von Westminster nach Greenwich gesteuert.

Neuzeitliche U-Bootkonstruktionen

Die Festigkeit eines Druckkörpers ist ausschlaggebend für die Tauchtiefe eines U-Bootes. Ursprünglich waren die Stahlplatten, die den Druckkörper bilden, zusammengenietet, später wurden sie geschweißt. Die Form des Druckkörpers ist zylindrisch bis zigarrenförmig. Der Querschnitt muß möglichst kreisrund sein, um eine möglichst hohe Druck-

Oben: Schnitzzeichnung eines KE-U-Bootes der Polaris-Klasse. Aufgrund ihres KE-Antriebes können diese Boote im totalen Tauchzustand bleiben. Sie sind mit 16 Polaris-Raketen bestückt, die aus großen Tiefen abgefeuert werden und mit Atom-Sprengköpfen versehen sind; ihre Reichweite beträgt etwa 4 500 km. Es befinden sich auch normale Tropedos an Bord.

festigkeit gegenüber einem Wasserdruk in maximaler Tauchtiefe zu erzielen. Druckkörperöffnungen wie z.B. Turmluk, vorderes und achteres Torpedoübernahmehuk, achtere und vordere Torpedorohrmündungsklappen, Schnorchelmast sowie Druckkörperöffnungen für Seehohre und Unterwasserschallanlagen müssen auf ein Minimum reduziert bleiben, um den absoluten Verschlußzustand des Bootes zu gewährleisten, der täglich durch eine Unterdruckprobe überprüft wird. Sämtliche Luken haben einen Verriegel-

lungsmechanismus; bei längerer Unterwasserfahrt im Kriegseinsatz und bei Wasserbombenverfolgung werden außerdem besondere Wasserbombensicherungen in die Luken eingesetzt. Bei Überwasserfahrt bleiben alle Luken dicht mit Ausnahme des Turmluks. Die Ventile haben mechanische Fernbedienungen. Alle Luken, Klappen und Ventile müssen auf maximalen Wasserdruk, wie er in maximalen Tauchtiefen herrscht, geprüft und anerkannt worden sein.

Auf den Druckkörper, auf dem sich auch das durchflutete Oberdeck befindet, ist der Turm aufgebaut. Dazu die mit Flutschlitzen versehene durchflutbare Druckkörperverkleidung, die dem U-Boot die Schiffsform mit Bug und Heck verleiht. Es ist wichtig zu wissen, daß ein U-Boot während der Überwasserfahrt auf einer Luftblase schwimmt, die von den mit Preßluft ausgedrückten Tauchzellen gebildet wird, die innerhalb und außerhalb des Druckkörpers liegen. An beiden Seiten befinden sich die Treibstoffbunker, die entweder wulstförmig als Satteltanks an den Druckkörper angebaut oder als doppelwandiger Treibstoffbunker innerhalb des Druckkörpers konstruiert sind. Nach Verbrauch des Treibstoffs werden sie als Tauchbunker gefahren, die dem Boot zusätzlichen Auftrieb geben. Jede Tauchzelle hat zwei Öffnungen, eine an der Unterseite, die durch Flutklappen, und eine an der Oberseite, die durch Entlüftungsklappen geschlossen wird. Zum Tauchen werden beide Klappen geöffnet, damit durch die unteren Öffnungen Wasser einströmen und die Luft in den Tauchzellen durch die Entlüftungen entweichen kann. Beim Auftauchen werden die Entlüftungen geschlossen, die Flutklappen bleiben dagegen geöffnet, damit das Wasser mit Preßluft aus den Tauchzellen ausgeblasen werden kann und das Boot Auftrieb erhält. Es gibt Tauchzellen, die man als 'freiflutend' bezeichnet, weil sie keine Flutklappen, sondern nur ein Seeventil haben. Sie befinden sich im Bug- und Heckbereich des Bootes. Das in diesem Falle oben liegende Entlüftungsventil, durch das die Preßluft unter leichtem Überdruck als Luftblase in den beiden Tauchzellen gehalten wird, ist dann das Hauptventil. Einige U-Boote hatten Tauchzellen, die sich innerhalb des Druckkörpers befanden, besonders U-Boote der englischen U- und V-Klasse. Wegen der vielen zusätzlichen Druckkörperöffnungen, die dadurch erforderlich wurden und somit die Tauchtiefe stark beeinträchtigten, wurden sie wieder außer Dienst gestellt. Immerhin gab es insgesamt 48 U-Boote der U-Klasse.

Tauchen

Zum Tauchen eines U-Bootes werden alle Seeventile und Flutklappen sowie die Hauptventile und Entlüftungen geöffnet. Das von unten in die Tauchzellen einströmende Wasser drückt die Luft aus diesen hinaus und bewirkt durch die Zunahme des Bootsgewichts ein langsames Absinken, d.h. der Zustand des sogenannten 'neutralen Auftriebs' wird aufgehoben. Das Absinken erfolgt langsam, gefährlich langsam, weil die Manövrierefähigkeit durch das Absinken beeinträchtigt wird und das Boot wie ein träger Wal auf dem Wasser liegt.

Um das Tauchen zu beschleunigen, ist die Wirkung der Antriebsschraube sowie der vorderen und hinteren Tiefenruder erforderlich, die paarweise horizontal am Bug und Heck angeordnet sind.

Nachdem das U-Boot auf diese Weise unter die Wasserober-

Das amerikanische KE-U-Boot USS 'Whale' am Nordpol im Jahre 1959. Die erste Seereise unter die Eiskappen des Nordpols hindurch machte das U-Boot USS 'Nautilus' — das erste KE-U-Boot der Welt — im August des Jahres 1958. Es befand sich auf der Fahrt von Hawaii nach England.



fläche manövriert wurde, muß das Boot ausgetrimmt, d.h. in Trimmlage Null gebracht werden. Das geschieht durch Umpumpen von Wasser zwischen den beiden Trimmzellen. Befindet sich das Boot dann auf ebenem Kiel, kann das Aufstreben bzw. Durchsacken des Bootes verhindert werden, indem in die Regelzellen Seewasser eingelassen wird oder diese ausgedrückt werden. Dies ist z.B. bei Veränderungen des spezifischen Gewichts des Seewassers erforderlich und bei Verbrauch von Proviant, Treibstoff usw. Damit die Trimmzellen ihre größte Wirkung haben, werden sie an den äußersten Enden des Bootes untergebracht. Sie liegen, von der Zentrale aus gesehen, gewissermaßen an zwei langen Hebelarmen. Je größer die Tauchtiefe wird, um so stärker wird auch der Wasserdruk, dem der Druckkörper ausgesetzt ist (in 10 m Wassertiefe beträgt der Wasserdruk z.B. 1 N/cm²), d.h. um so geringer wird die Wasserverdrängung. Dies bedeutet, daß größere Wassermengen gelenkt werden müssen, und zwar so viel, daß die Wasserverdrängung gleich dem Gewicht des Bootes ist. Dieser Zustand, bei dem sich das Boot ohne Schraubenmotor und ohne Betätigung der Tiefenruder in der vorgesehenen Tauchtiefe im Schwebezustand befindet, wird auch als 'auswiegen' bezeichnet.

Antrieb

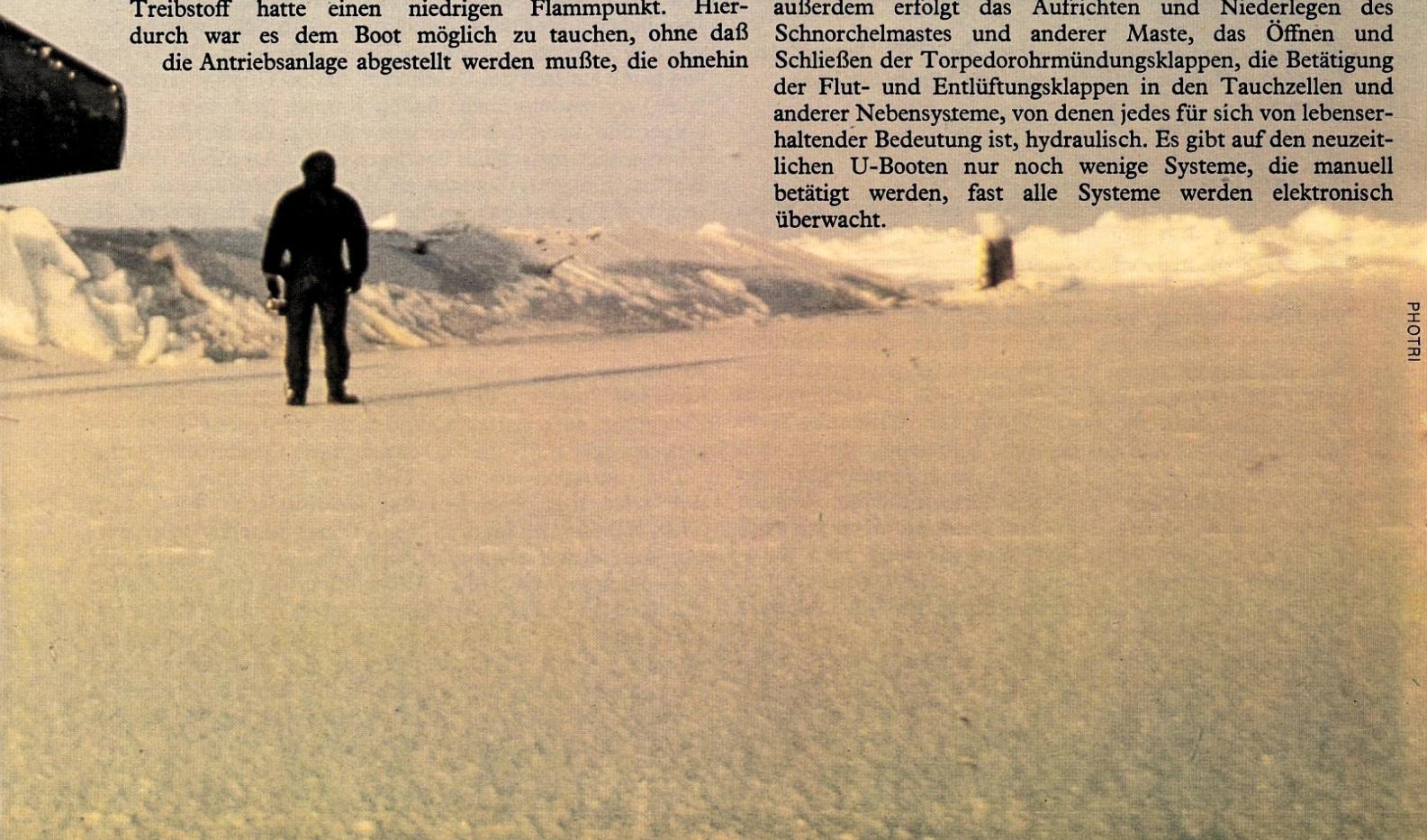
Erst als der Antrieb der U-Boote durch Dieselmotoren erfolgte, waren die Probleme, die es vorher für den Antrieb gegeben hatte, gelöst. Dampfmaschinen, die man gelegentlich für den Antrieb gewählt hatte, bereiteten die größten Probleme, da für den Rauchabzug ein Schornstein vorhanden sein mußte. Außerdem mußte der Dampfkessel vor dem Tauchen außer Betrieb gesetzt werden, wodurch das Tauchen verzögert wurde. Zusätzlich ergaben sich aus der Hitze, die der Kessel unter Wasser ausstrahlte, weitere Probleme. Benzinmotoren erzeugten oftmals Benzindämpfe, die zu einem explosiven Luft/Gas-Gemisch wurden. Darüber hinaus war die Lagerung des sehr schnell verdunstenden Benzins mit zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden. Bei den Schwerölmotoren, die später von den Dieselmotoren abgelöst wurden, gab es diese Schwierigkeiten und Probleme nicht. Der verwendete Treibstoff hatte einen niedrigen Flammpunkt. Hierdurch war es dem Boot möglich zu tauchen, ohne daß die Antriebsanlage abgestellt werden mußte, die ohnehin

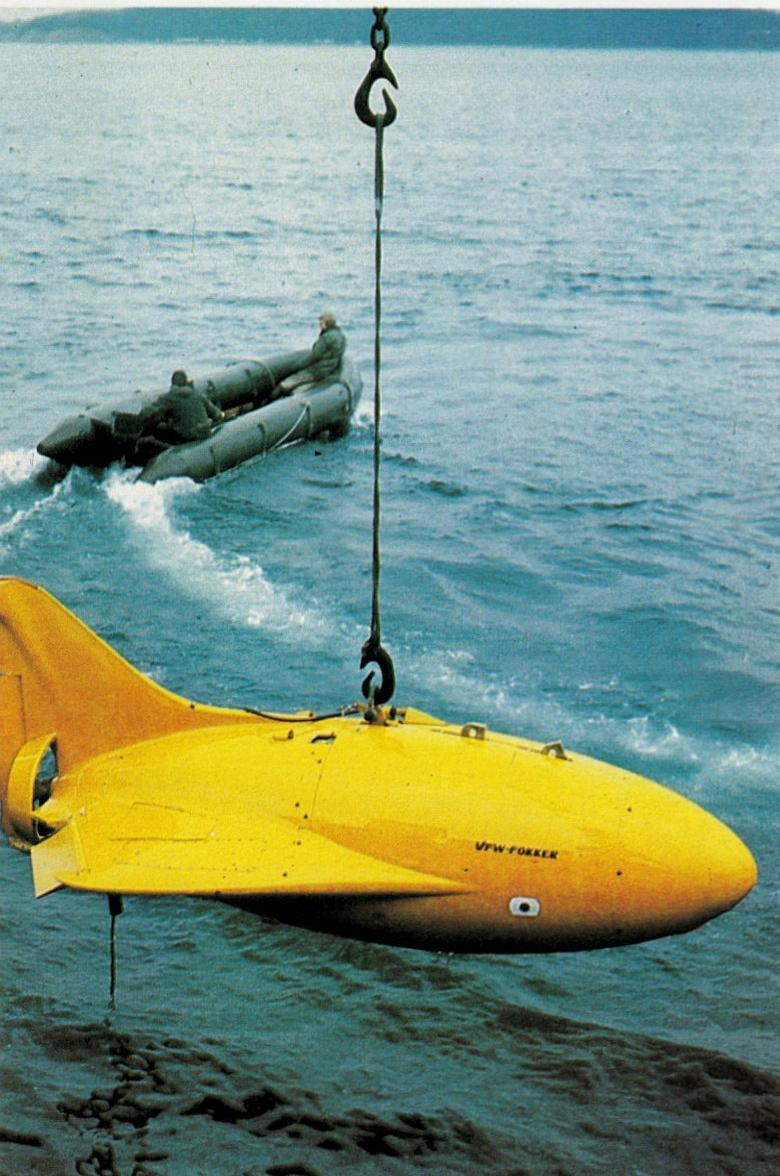
betriebssicherer war. Der Dieselantrieb für U-Boote wurde vor mehr als vierzig Jahren entwickelt und war nicht nur bei der deutschen U-Bootwaffe verbreitet. Auch heute werden normale Patrouillen-U-Boote während der Überwasserfahrt von Dieselmotoren angetrieben, die auch die Batterien aufladen, die für die Tauchfahrt erforderlich sind. Die Mehrzahl dieser Boote ist mit einer Schnorchelanlage ausgestattet, zu der ein Schnorchelmast gehört. Über ihn wird die für den Dieselsbetrieb des auf etwa 15 m unter Wasser fahrenden U-Bootes erforderliche Dieselzuluft sowie Frischluft für das Bootsinnere angesaugt; gleichzeitig werden auch während des Schnorchelbetriebes die Batterien aufgeladen. Der Antrieb bei Marschfahrt über Wasser oder auf Seehöhe im Schnorchelbetrieb erfolgt entweder, indem der Fahrdiesel direkt auf die Schraubenwelle gekuppelt ist oder aber indem die Diesel zur Stromerzeugung auf die E-Maschinen und Generatoren geschaltet sind, dabei die Batterien aufladen, und dann auf die Schraubenwelle gekuppelt sind; das Boot wird diesellektrisch angetrieben.

Bei Unterwasserfahrt in größeren Tiefen als Seehöhe erfolgt der Antrieb durch E-Maschinen. Das sind Elektromotoren, die ihren Strom aus einer umfangreichen und starken Batterieanlage beziehen, die sich in Batterieräumen unterhalb der Flurplatten im Vor- und Hinterschiff befindet. Die E-Maschinen können, ebenso wie die Diesel, jede für sich auf die Schraubenwelle gekuppelt werden.

Bei Atom-U-Booten, d.h. U-Booten mit KE-Antrieb, wird von einem hochthermostrahlenden Kernreaktor eine Flüssigkeit aufgeheizt, die sich in einem geschlossenen Wärmeaus tauschkreis befindet. Dieser liegt zwischen dem Kernreaktor und einer Dampfturbine, in der die Flüssigkeit wieder gekühlt wird, wodurch Dampf entsteht. Dieser wird über Ventile zu den Haupt-Antriebsturbinen sowie zu Hilfsturbinen geleitet, in denen er zur Stromerzeugung für Nebensysteme benutzt wird. Die Haupt-Antriebsturbine kann entweder über ein Untersetzungsgetriebe direkt auf die Schraubenwelle gekuppelt werden oder ist, ebenso wie beim Diesel-Elektroantrieb normaler U-Boote, als Turbo-Elektroantrieb zu schalten.

Nebensysteme werden für viele Zwecke benötigt. Die Sehrohre z.B. werden hydraulisch aus- und eingefahren; außerdem erfolgt das Aufrichten und Niederlegen des Schnorchelmastes und anderer Maste, das Öffnen und Schließen der Torpedorohrmündungsklappen, die Betätigung der Flut- und Entlüftungsklappen in den Tauchzellen und anderer Nebensysteme, von denen jedes für sich von lebenserhaltender Bedeutung ist, hydraulisch. Es gibt auf den neuzeitlichen U-Booten nur noch wenige Systeme, die manuell betätigt werden, fast alle Systeme werden elektronisch überwacht.





Ein kleines, unbemanntes Unterseeboot, die VFW 'Pinguin', bei Tests in der Nordsee. Sie wird zur Unterwasserbeobachtung eingesetzt.

Navigation

In der Frühzeit der U-Bootnavigation galt der eher spöttisch als abwertend gemeinte Satz: 'Navigation ist Glückssache'. Da die U-Boote in dieser Zeit keine Sehrohre hatten, mit denen markante Küstenpunkte ausgemacht und zur terroristischen Navigation benutzt werden konnten, war Navigation ein schwieriges Unterfangen. Als die Boote dann Sehrohre bekamen, zeigten einige der gegeneinander geneigten Kippspiegel ein verkehrtes Bild im Okular. Spätere Ausführungen ermöglichen dann die Beobachtung von Wasseroberfläche und Himmel, wie z.B. das deutsche Luftzielsehrohr aus dem Zweiten Weltkrieg, mit dem auch das Himmelsgestirn mit Hilfe von Sextanten zur Standortbestimmung benutzt werden konnte. Noch spätere Ausführungen arbeiteten nach dem Prinzip der Radar-Entfernungsmessung und Rastlichtauflösungstechnik. Außerdem gab es Sehrohrsextanten, mit denen eine Standortbestimmung durch das Himmelsgestirn unter Wasser möglich war.

Die Zeiten sind jedoch vorbei, da mit Hilfe des Sehrohrs markante Küstenpunkte zur Standortbestimmung herangezogen wurden oder zeitraubend aufgetaucht werden mußte, damit der Navigationsoffizier mit Hilfe von Sextanten die Sonne

VFW oder Mond und Sterne zur Standortbestimmung benutzen konnte. Diese Art Navigation wurde abgelöst von dem U-Boot-Trägheitsnavigationssystem, das auf der komplizierten Kreiseltechnologie beruht und eine hervorragend genaue Langstreckennavigation ermöglicht, bei der nur alle paar Tage aufgetaucht werden muß, um durch Standortbestimmungen über Wasser mit Hilfe von Sextanten den Kurs zu überwachen. Dabei wird der Navigationsoffizier von bewährten Navigationshilfen wie Radaranlage und Echolot unterstützt, die ihm zu jeder Zeit Aufschluß über den jeweiligen Standort geben, und zwar mit der gleichen Genauigkeit, wie sie auch bei den Überwasserstreitkräften üblich ist.

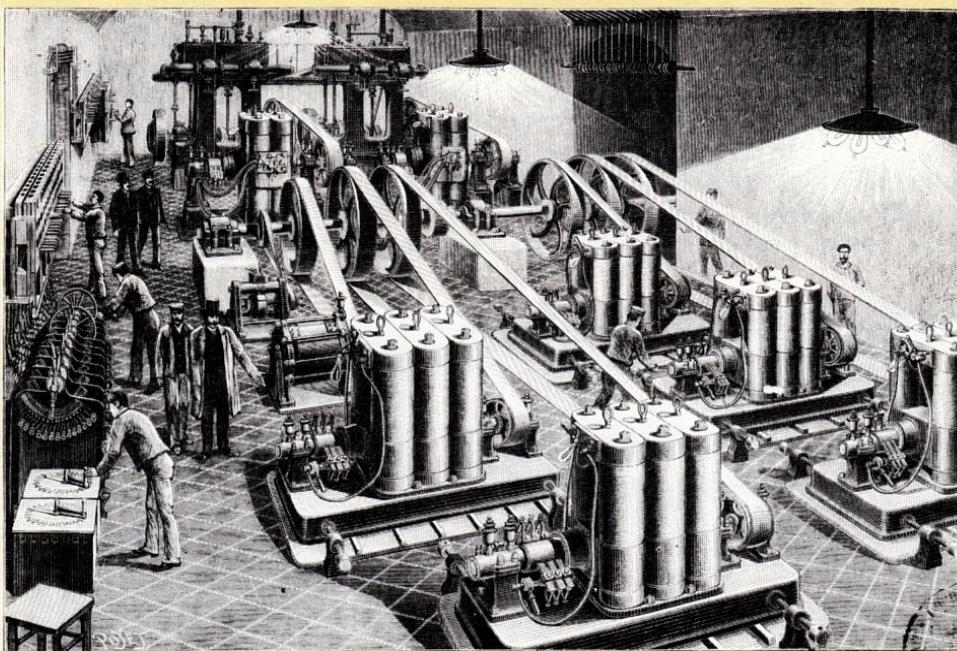
Bewaffnung

Die Bewaffnung der U-Boote wurde im Verlauf der Jahre unbemerkt verbessert. Die ursprünglichen spindelförmigen Sprengladungen wichen dem verbesserten 'Rundholz-TORPEDO', einem langen Rundholz, an dessen einem Ende eine Sprengladung befestigt war. Robert Whitehead verbesserte in den Jahren zwischen 1870 und 1880 seinen steuerbaren Torpedo mit Selbstantrieb, der dann bald zur Standard-Torpedobewaffnung für U-Boote wurde. Ursprünglich wurden diese Torpedos aus einem Schellenband abgeworfen, das sich an Oberdeck des U-Bootes befand und mit dem die Torpedos unterfangen waren. Später wurden sie aus Rohren ausgestoßen, die in den Druckkörper eingearbeitet waren. Diese konnten nachgeladen werden, nachdem sie dicht schließende Mündungsklappen erhalten hatten. Die Torpedos wurden damals 'nach Augenmaß' auf das Ziel lanciert, d.h. ohne Zielhilfsmittel mit dem ganzen Boot auf das Ziel gerichtet. Auch dieses Verfahren wurde so verbessert, daß die Torpedos mit Hilfe rechnergestützter Torpedo-Abschußanlagen auf das zu bekämpfende Schiff gerichtet wurden; inzwischen wurden auch diese Anlagen auf den neuesten Stand der Technik gebracht. Das Geschütz, meistens auf dem Vorderdeck unmittelbar vor dem Turm aufgestellt, war über viele Jahre eine wertvolle Waffe. Es wurde jedoch aufgrund der Entwicklung der Schnorchelanlage, die das Zeitalter des totalen Tauchzustandes einleitete, überflüssig und von Bord genommen. So haben z.B. deutsche Front-U-Boote vom Typ VII C ab Sommer 1944 Feindfahrten im totalen Tauchzustand im Schnorchelbetrieb von 8 Wochen bis drei Monate Dauer abgeleistet. Das U-Boot von heute hat statt des Geschützes, das im Überwassergefecht keine Verwendung mehr findet, Raketen und andere Flugkörper und damit eine Gesamtbewaffnung, die der eines jeden Überwasserkriegsschiffes überlegen ist mit Ausnahme der Flawaffen. Einige U-Bootklassen der hauptsächlichsten Seestreitkräfte haben ballistische Raketen und Flugkörper, die mit Atomsprengköpfen bestückt werden können so z.B. die amerikanische Polaris-Rakete, deren maximale Reichweite etwa 4500 km beträgt, oder die verbesserte Poseidon-Rakete mit einer maximalen Reichweite von etwa 4800 km. Dazu kommen Flugkörper für Kurzstrecken mit einer Reichweite von maximal 400 km. Außerdem gehören natürlich Torpedos, die mit passiven oder aktiven Rücklauf-Zielgeräten ausgestattet sind oder drahtgesteuerte Rücklauf-einrichtungen für Kurzstrecken haben, zur Gesamtbewaffnung.

Die Situation in der U-Boot-Kriegsführung änderte sich schlagartig, nachdem das amerikanische KE-U-Boot 'USS Nautilus' im Januar 1955 in Dienst gestellt worden war. Von nun an war es möglich, ohne Brennstoffergänzung und abgeschlossen von jeder Außenluftversorgung im totalen Tauchzustand über Jahre hinweg taktisch unter Wasser zu operieren, wobei das U-Boot mit Bordmitteln selber die Atemluft- und Trinkwassererzeugung übernimmt und Dauergeschwindigkeiten entwickelt, die bisher nicht erreicht wurden. Auch die Tauchzeiten konnten bisher von keinem U-Boot mit Dieselantrieb erreicht werden.

Erfindungen 58: STROM - VERSORGUNG

MARY EVANS



Die Wissenschaft der Elektrizität — hierunter versteht man heute elektrische Ströme und nicht die Elektrostatik — begann mit der Erfindung der elektrischen Batterie durch Volta (1745 bis 1827) im Jahre 1800. Während des gesamten 19. Jahrhunderts wurden neue Entdeckungen der Elektrizität gemacht. Hundert Jahre nach Voltas Erfindung wurde die Elektrizität in Büros, auf Straßen und in Wohnhäusern eingesetzt.

Elektrische Generatoren

In demselben Jahr (1820), in dem Oersted (1777 bis 1851) darüber berichtete, daß ein von Strom durchflossener elektrischer Leiter von einem Magnetfeld umgeben ist, stellte Arago (1786 bis 1853) den ersten Elektromagneten her. Ein Jahr später zeigte Faraday (1791 bis 1867), daß man umgekehrt auch elektrischen Strom in einem elektrischen Draht erzeugen kann, wenn man entlang des Drahtes einen Magneten bewegt. Dies ist der Grundgedanke aller elektrischen Generatoren.

In der Praxis wird der Draht zu einer Spule gewickelt, die zwischen den Polen eines Magneten rotiert. Zuerst verwendete man Permanentmagnete, später Elektromagnete, die von Batterien gespeist wurden. Schließlich war es Wheatstone (1802 bis 1875), der zeigte, daß der Strom des Generators seinen eigenen Elek-

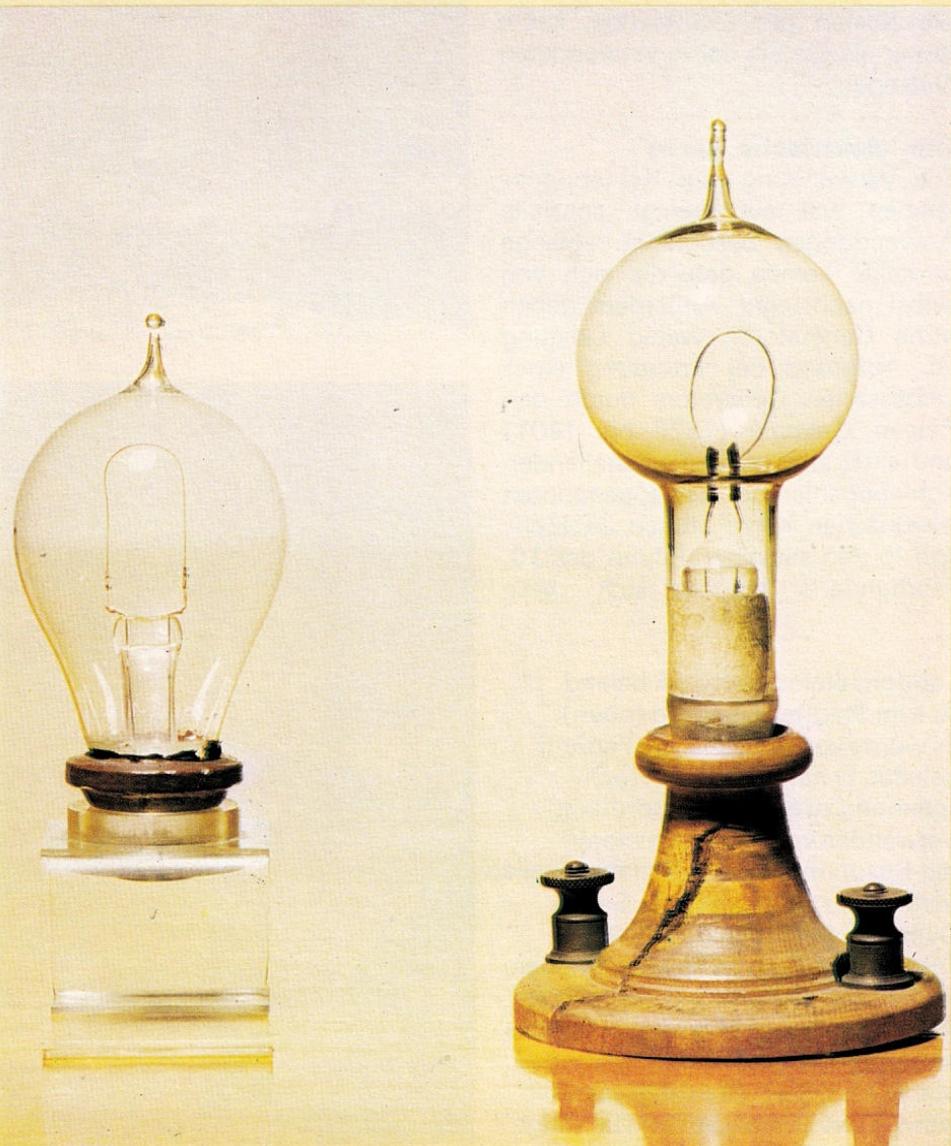
tromagneten betreiben kann: In einem Elektromagneten ist immer eine kleine Restmagnetisierung vorhanden, die den Generator anwirkt.

Die Kohlebogenlampe

Der Ansporn, Elektrizität zu erzeugen, lag nicht darin, Maschinen anzutreiben oder Wärme zu erzeugen. Die

Links: Ein von Edison erbautes Elektro-Werk aus dem Jahre 1887. Jeder Dynamo konnte ausreichend elektrischen Strom für entweder 500 oder 1000 Glühbirnen liefern.

Unten: Im Bild rechts ist die erste Kohlefadenlampe von Edison und links die erste kommerzielle Glühlampe zu sehen.



COOPER-BRIDGEMAN

ersten stromerzeugenden Gesellschaften wurden ausschließlich zur Erzeugung von elektrischem Licht gegründet. Schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts findet man Hinweise auf 'elektrisches Licht'. Das erzeugte Licht wurde allerdings nicht durch die heute allgemein übliche Glühfadenlampe, sondern durch den Kohlebogen oder, ganz früher, durch Funkenbildung von sich entladender statischer Elektrizität gebildet. Das helle Licht der beiden Kohlestäbe, die mit einer Spannungsquelle von 50 V verbunden sind, übertrifft bei weitem die Helligkeit der Anfang des 19. Jahrhunderts eingeführten Gaslampe. Da aber die Kohlebogenlampe dauernd nachgestellt werden mußte, wurde sie nur begrenzt angewendet. Die ersten bedeutenden Bogenlampen wurden in Leuchttürmen entlang der englischen Küste installiert. Die erste Installation fand im Dezember 1858 in South Foreland statt. Die Kohlebogenlampen wurden von einer Dampfmaschine betrieben, die nur eine Leistung von 1,5 kW erzeugte. (Ein elektrischer Heizofen verbraucht zum Vergleich eine Leistung von 1 kW.) Das abgegebene Licht war recht gut und, bezogen auf die Kosten pro Lichtmenge, kaum teurer als die bis dahin verwendeten Öllampen.

Die 'elektrische Kerze'

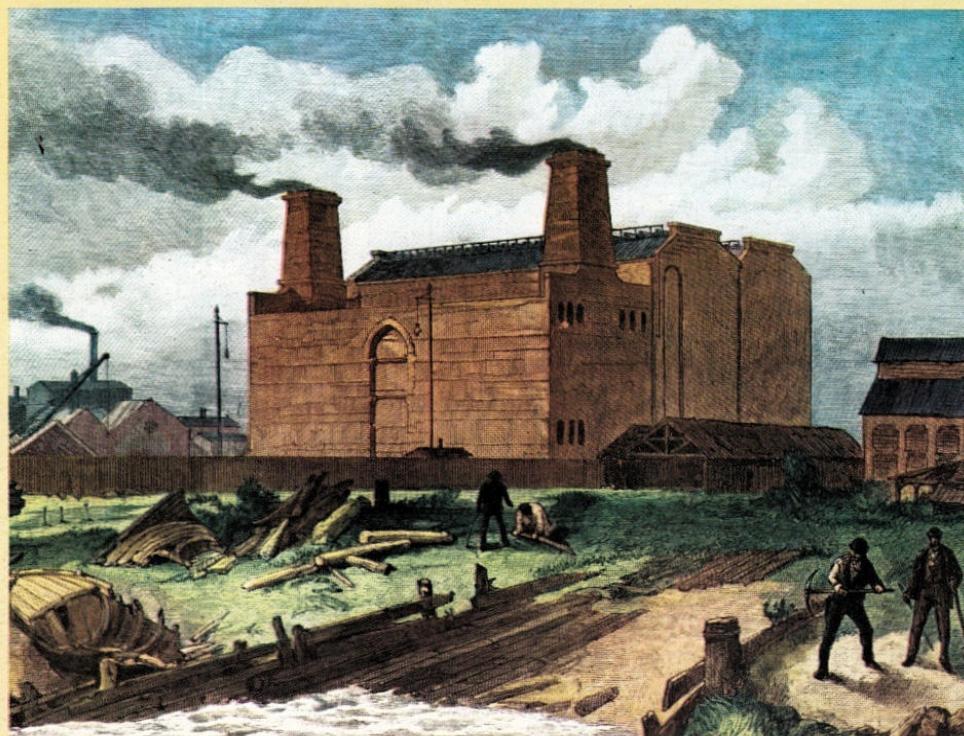
Die Verwendung von Kohlebogenlampen war auf wenige spezielle Anwendungen beschränkt, solange es keine Lampe gab, die sich von selbst nachstellte. Außerdem gaben frühe Generatoren wenig Leistung ab. Aufgrund der Erfindung eines verbesserten Generators durch den Belgier Gramme (1826 bis 1901) und einer sich selbst nachstellenden Kohlebogenlampe, der sogenannten 'elektrischen Kerze', durch Jablochkoff in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts breitete sich diese

Lichtquelle rasch in großen Geschäftshäusern, Fabriken und in öffentlichen Gebäuden wie z.B. Bahnhöfen aus.

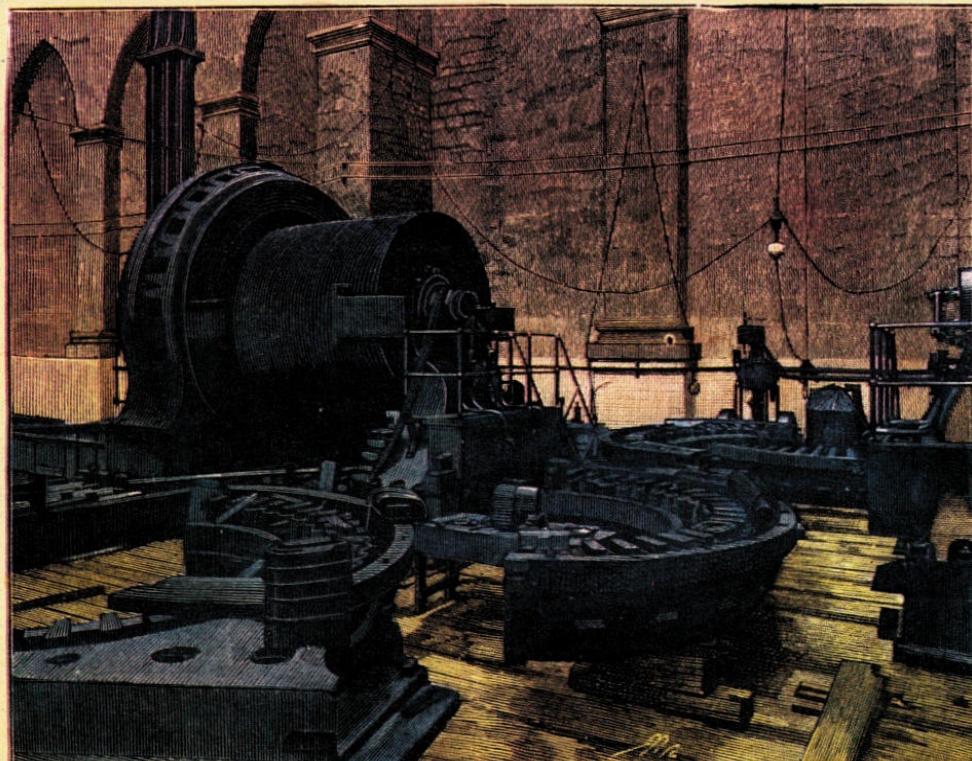
Die weißglühende Fadenlampe

Die hellen, lauten und rauchenden Kohlebogenlampen waren für kleinere Räume wenig geeignet. Durch die Erfindung der Fadenlampe änderte sich die Situation völlig. Es war bekannt, daß ein auf einen dünnen Leiter (z.B. einen Platin draht) einwirkender elektrischer Strom den Draht zum Glühen brachte. Außerdem wußte man, daß er schnell verbrennt, wenn man ihn nicht unter Vakuum betrieb. Die

ersten in der Mitte des 18. Jahrhunderts hergestellten Glühbirnen hatten nur eine geringe Lebensdauer, da man noch kein gutes Vakuum herstellen konnte. Als sich Joseph Swan (1828 bis 1914) in England und Thomas Edison (1847 bis 1931) in den USA Ende der siebziger Jahre des 19. Jahrhunderts mit dem Problem der Herstellung einer Glühbirne auseinandersetzten, waren die Vakuumpumpen schon weiterentwickelt. Um Patentprobleme zu vermeiden, schlossen sich beide im Jahre 1883 zusammen. Edison hatte ein Jahr zuvor sowohl in England als auch in den USA eine Firma für elektrische Lampen gegründet.



MANSSELL COLLECTION



MANSSELL COLLECTION

Londons erstes Kraftwerk befand sich im Stadtteil Deptford (oben). Es wurde von Sebastian de Ferranti geleitet. Er hatte die Idee, Hochspannung zu erzeugen und durch Verwenden von Transformatoren die Spannung an den Abnahmestellen herunter zu transformieren. Seine Dynamos (rechts) hatten einen Durchmesser von 14 Metern. In einem Bericht aus dem Jahre 1889 heißt es: 'Die Glühlampen sollten in einem Haus an den vorteilhaftesten Stellen angebracht sein. Sie sollten abgeschaltet werden, wenn man sie nicht benötigt.'