

HEFT 29 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

Konservenfabrikation	785
Kontaktlinsen	789
Korrosionsschutz	792
Kraftstoffeinspritzung	795
Kraftwerk	798
Kran	805
Kreisel	808
Kreiselkompass	811

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDO WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

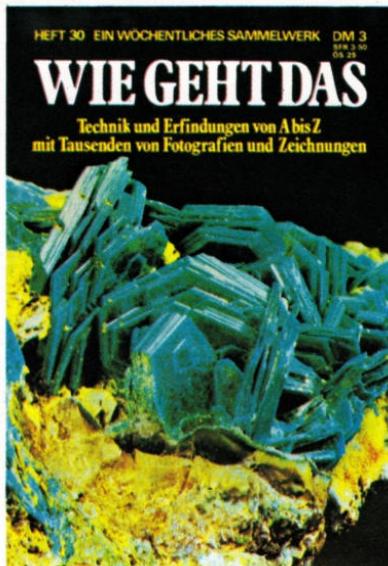
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: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

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

INHALTSVERZEICHNIS

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

In Heft 30 von Wie Geht Das



Kristalle sind feste Stoffe, in denen Atome bestimmte regelmäßige Muster bilden. Es gibt Hunderttausende von verschiedenen kristallinen Formen. Der Artikel über Kristalle und Kristallographie in Heft 30 von Wie Geht Das beschreibt ihren Aufbau und ihre Klassifizierung.

Obwohl für die moderne Kriegsführung hochkomplizierte Kampfflugzeuge und Raketen entwickelt worden sind, spielen Kriegsschiffe immer noch eine wichtige Rolle bei der Verteidigung eines Landes. Alles über Typen, Einsatz und Aufbau von Kriegsschiffen können Sie nächste Woche in Wie Geht Das lesen.

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

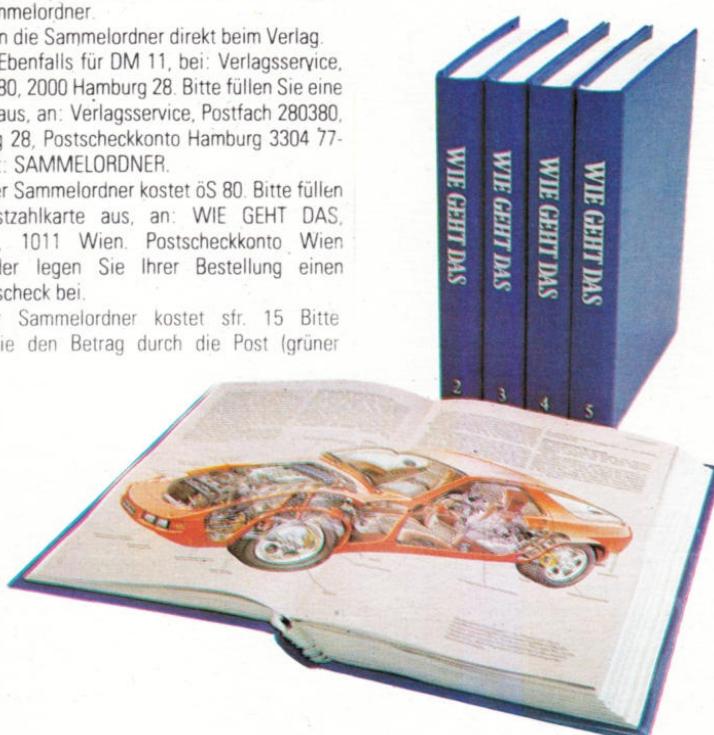
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202, Kennwort: SAMMELORDNER.

Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363.130. Oder legen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

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

Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung des Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: SAMMELORDNER.

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



KONSERVENFABRIKATION

Leichtverderbliche Nahrungsmittel können, in Dosen verpackt, viele Jahre unter beliebigen klimatischen Bedingungen gelagert werden, ohne ungenießbar zu werden.

Die Konservenherstellung umfaßt das Erhitzen bzw. Sterilisieren von Lebensmitteln und Eindosen in luftdicht abgeschlossene Behälter, so daß sie jahrelang bei Zimmertemperatur lagerfähig bleiben. François Appert, ein französischer Koch (1750 bis 1840), gilt allgemein als 'Begründer der Konservierungstechnik', obgleich die Gründe für die Haltbarkeit der Lebensmittel in Dosen lange im Verborgenen blieben. Erst Pasteur zeigte gut 40 Jahre später den Zusammenhang zwischen Mikroorganismen und Verderblichkeit auf.

Bei diesen Mikroorganismen — Bakterien, Hefen, Schimmelpilzen — handelt es sich um in allen natürlichen Nahrungsmitteln, in Luft, Wasser und Erde vorhandenen Kleinst-

lebewesen. Ihre sich ungeschlechtlich fortpflanzenden Formen lassen sich bei relativ niedrigen Temperaturen (etwa 80°C) leicht abtöten, doch bilden manche Bakterien sogenannte Dauersporen, die bei viel höheren Temperaturen zu überleben vermögen.

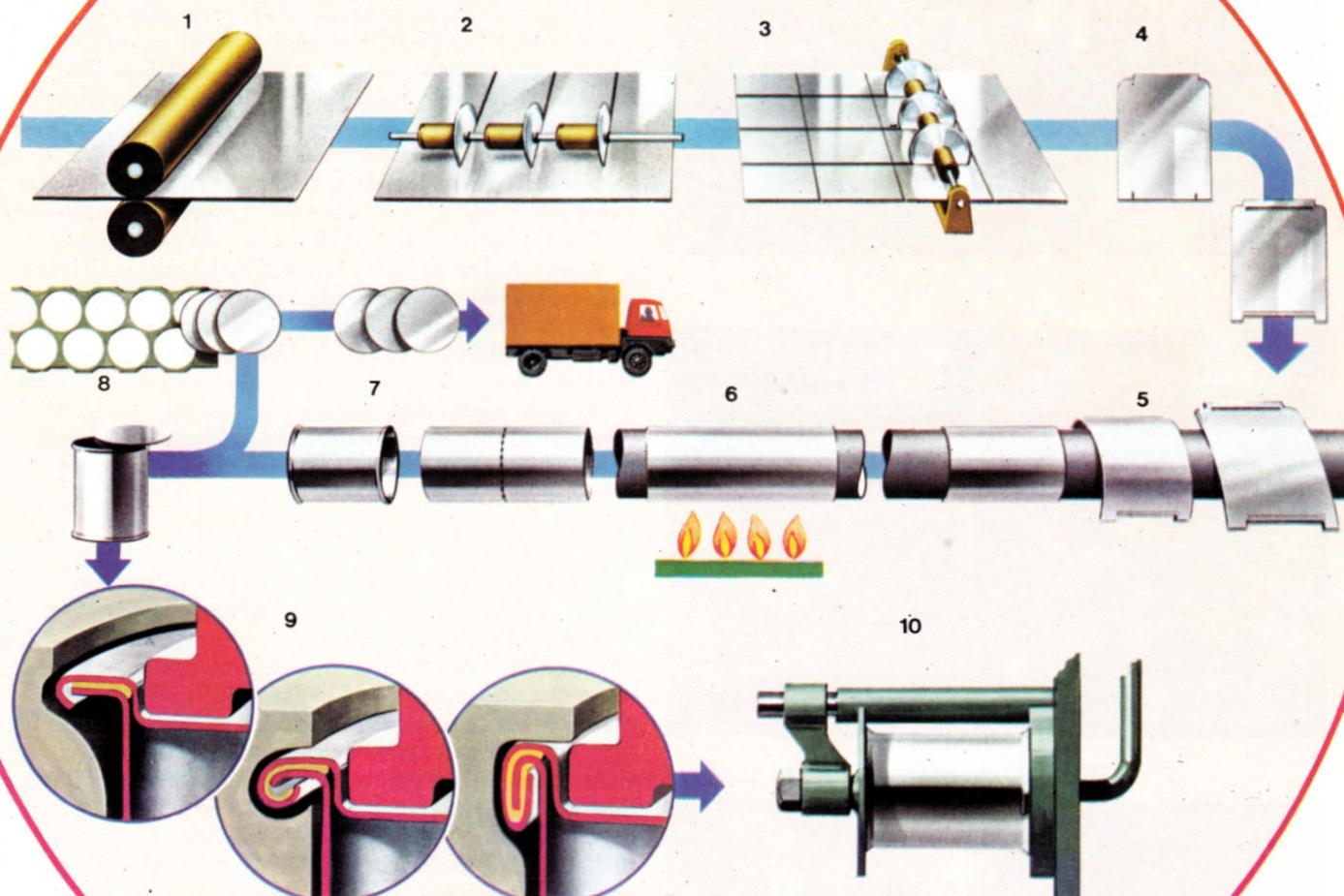
Viele Früchte, Gemüse, Milch-, Fleisch- und Fischsorten werden heute durch Eindosen haltbar gemacht. In säurehaltigen Lebensmitteln finden die gefährlichen Sporen keinen Nährboden, weshalb sich z.B. Früchte bei 'niedrigen' Temperaturen (100°C) konservieren lassen. Nahrungsmittel mit geringerem Säuregehalt hingegen müssen zur Haltbarmachung höheren Temperaturen (116°C und darüber) ausgesetzt werden.

Eindosen

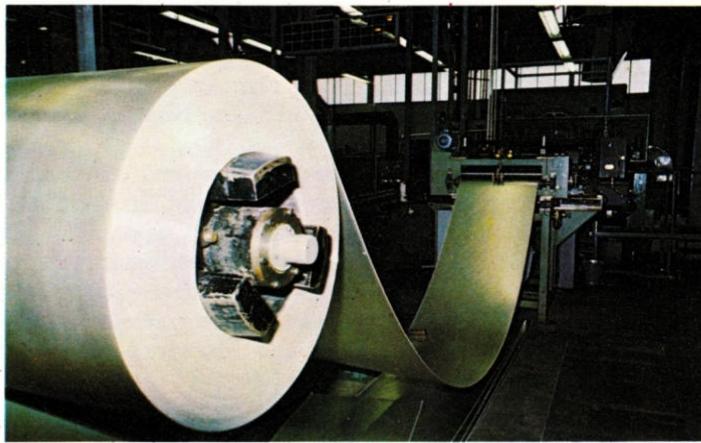
Die meisten Arbeitsgänge beim Eindosen sind unter Anwendung des Fließbandprinzips voll mechanisiert.

Sie dienen dazu, den gewaschenen, eßbaren Teil des entsprechenden Lebensmittels durch Eindosen haltbar zu machen.

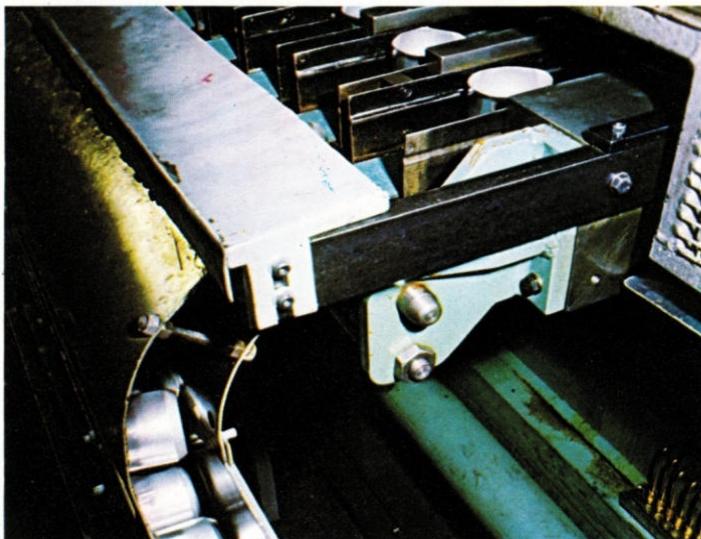
*Stufen bei der Herstellung von zusammengelöteten Einmachdosen:
Eine Blechplatte wird lackiert, zuweilen auch mit einem Aufdruck versehen (1). Das Blech wird dann geschnitten (2 und 3). Im Formgeber (4) werden die Stücke dann eingekerbt und fürs Löten vorbereitet.*



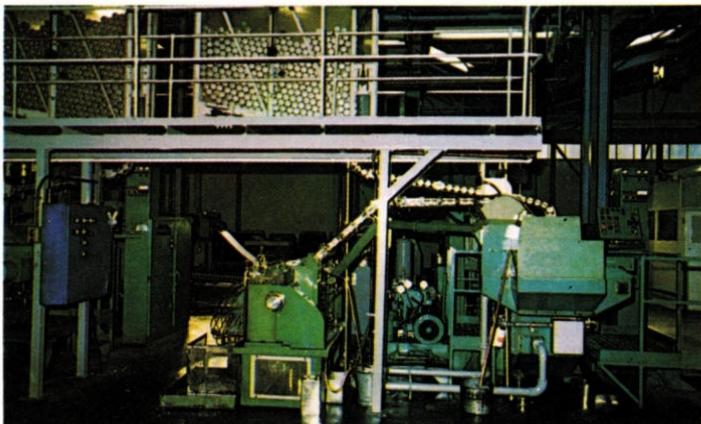
Die Stücke werden dann in Zylinderform gepreßt (5), und die Seiten werden verlötet (6). Die Enden der Zylinder werden nach außen geflanscht (7) und die Dosenenden ausgestanzt (8). Ein Endstück wird doppelt verlötet (9), dann erfolgt ein Drucktest (10).



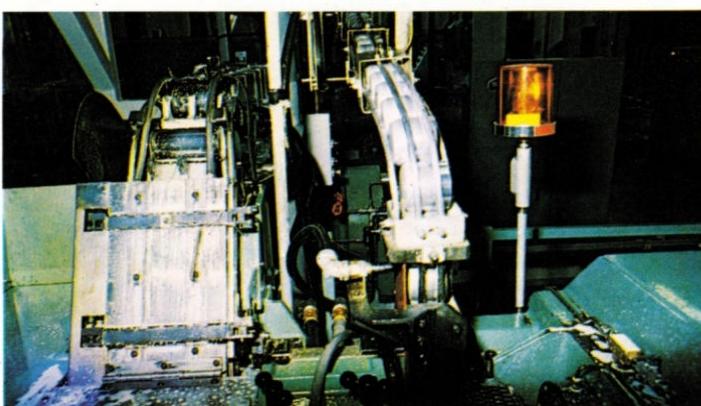
1



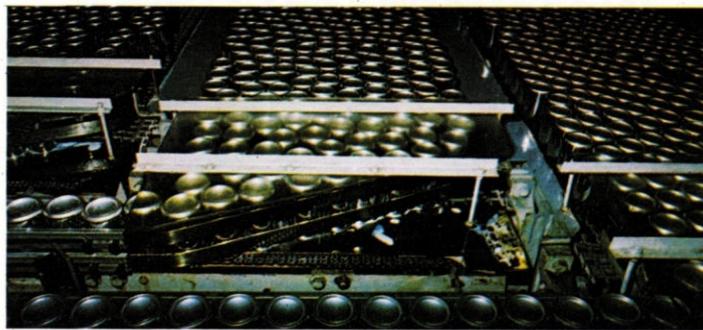
2



3



4



5



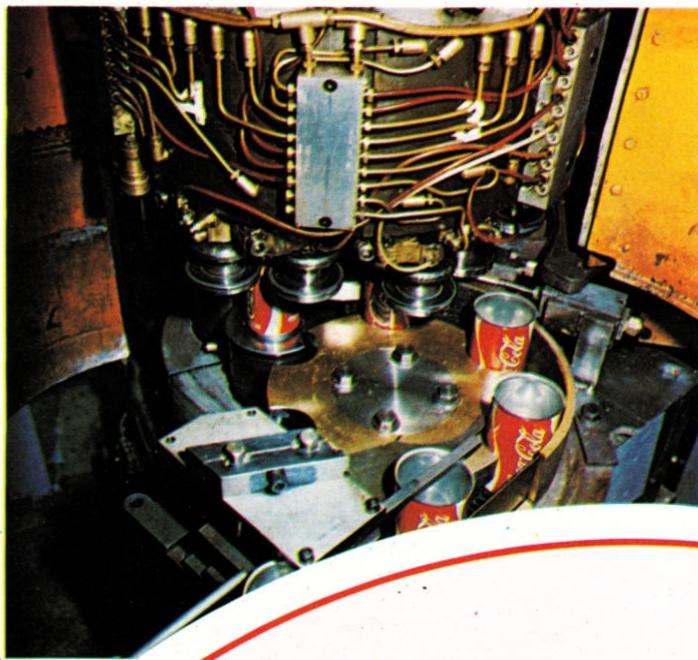
6

In der modernen Konservendosenfabrikation werden die Dosen aus einer Metallscheibe geformt. Die Scheiben werden aus Metallblech herausgestanzt, das sich auf einer Rolle befindet (1). Die Dose wird geformt, indem man die Dosenwände zunächst bis auf halbe Höhe (2) und dann ganz hochzieht (3 und 4). Die Wände sind dünn, während der Boden stabil ist. Man schneidet die Dosen dann noch genau auf die richtige Höhe zu und lässt sie durch eine Waschanlage laufen (5). Dort werden sie zweimal gewaschen (mit Spülmittel) und anschließend klar gespült und getrocknet. Der nächste Prozeß ist die Etikettierung. Heute werden die Bezeichnungen direkt durch Offset auf die Dose gedruckt (6). Anschließend kommen die Dosen zu dem Apparat, der die Ränder vorbereitet, so daß nach Einfüllen des Inhalts der Deckel aufgesetzt werden kann (7). Die Dosen laufen dann zu einem Testgerät weiter. Nach dem Testvorgang werden die Konserven mit einem Epoxid-Harz überspritzt und dann getrocknet. Schließlich gibt man ihnen noch eine Schutzschicht aus Vinyl, bevor man die Dosen zur Auslieferung bringt.

Durch Blanchieren, ein kurzzeitiges Erhitzen bei 82° bis 100°C, lassen sich die Enzyme abtöten, die sonst zu unerwünschten Erscheinungen wie Farbänderungen oder unangenehmen Gerüchen führen können; auch wird dem Produkt dadurch Luft entzogen und so der Füllprozeß erleichtert. Die vorbereiteten Nahrungsmittel werden entweder mit der Hand oder automatisch in gereinigte Dosen abgefüllt. Beim Mehrstufenverfahren werden zuerst die festen Bestandteile eingefüllt und dann mit Saft oder Sauce abgedeckt, wobei am oberen Dosenrand ein 6 mm breiter Luftraum verbleibt, um eine übermäßige Druckentwicklung während des Sterilisierens zu vermeiden.

Das Vakuum in den Konservendosen erhält man in erster Linie durch Einfüllen heißen Füllgutes. Zusätzlich können die Dosen noch durch ein Dampf- oder Heißwasserbett geschickt werden. Der dadurch im freien Luftraum oberhalb des Füllgutes entstehende Wasserdampf kondensiert beim Abkühlen der Dosen, wodurch der gewünschte Unterdruck entsteht.

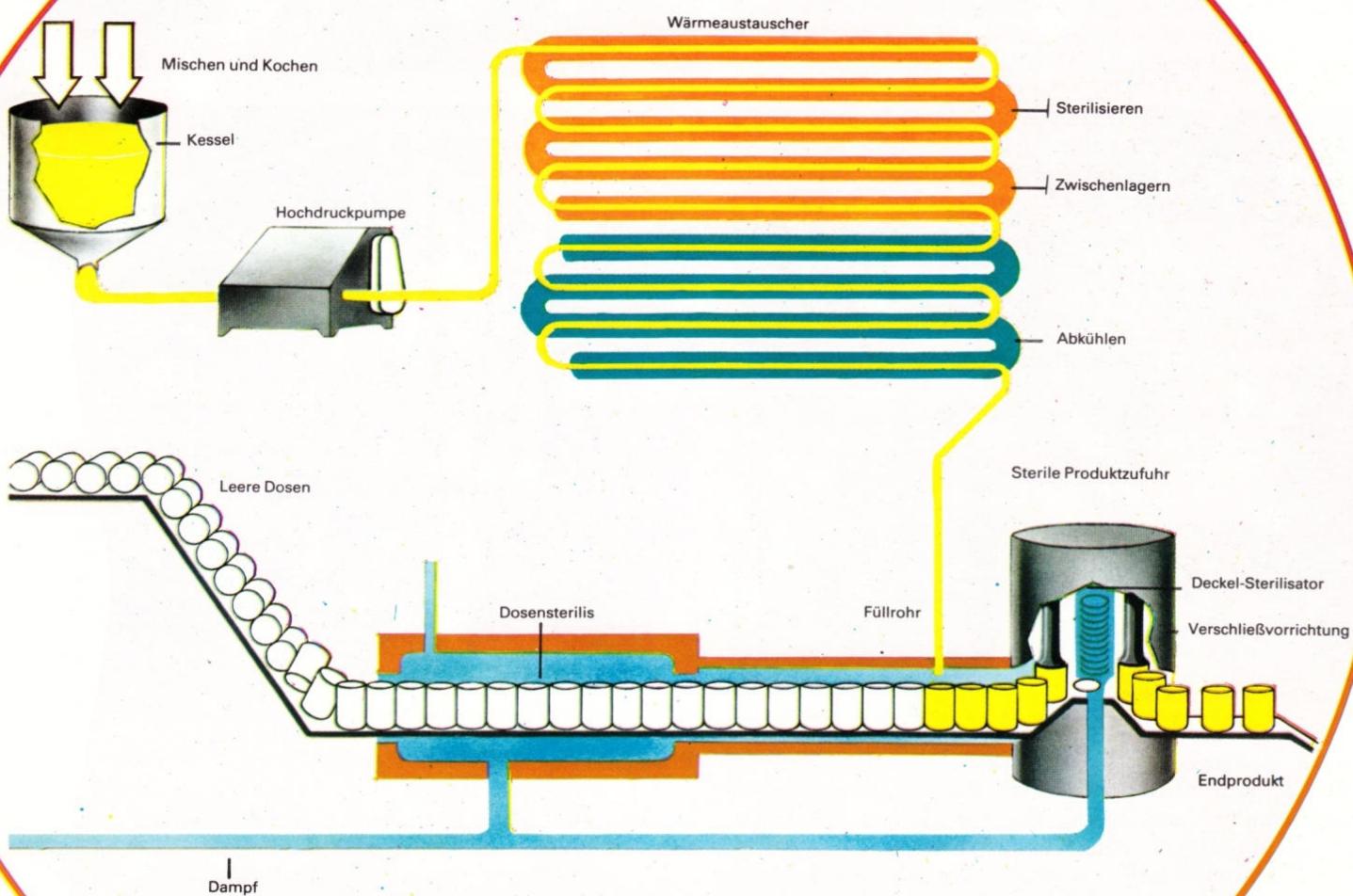
Der Deckel wird mit der Chargennummer versehen und mit der Dose, ähnlich wie zuvor beim Dosenhersteller der Dosenboden, doppelt verlötet.



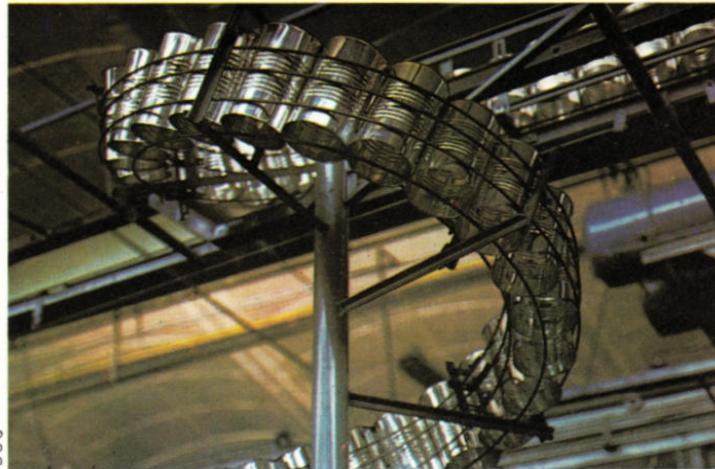
Sterilisieren

Um alle für den Menschen gefährlichen Mikroorganismen abzutöten, werden die Dosen schubweise oder kontinuierlich sterilisiert. Im ersten Falle werden sogenannte Autoklaven, die großen, haushaltsüblichen Dampfkochtopfen ähneln, mit einer Charge beschickt, fest verschlossen und die noch vorhandene Luft mittels Dampf 'ausgetrieben'. Anschließend wird der Apparat unter Druck auf die Sterilisationstemperatur erhitzt, die von einem Temperaturregler aufrechterhalten wird. Nach dem Erhitzen werden die Dosen wieder abgekühlt, wobei jedoch der Druck mit Hilfe von Druckluft zunächst aufrechterhalten wird, um eine Verformung der Dosen zu vermeiden. Die Sterilisierung von säurehaltigen Obstkonserven wird bei 100°C vorgenommen — für Lebensmittel mit geringerem Säuregehalt sind Autoklaventemperaturen bis zu 127°C erforderlich. In kontinuierlich arbeitenden Autoklaven mit einem Durchsatz von 2000 Dosen pro Minute können 132°C erreicht werden. Die Dampfdruckregelung erfolgt gewöhnlich über mechanische Ventile.

Lebensmittel von überwiegend flüssiger Konsistenz, wie etwa



*Schematischer Ablauf eines aseptischen Sterilisationsverfahrens.
Das aseptische Eindosen eignet sich für Flüssigkeiten und flüssige
Lebensmittel wie Suppen, die durch enge Rohre fließen können.
Das Konservierungsgut wird gekocht, im Rohrsystem sterilisiert,
abgekühlt, in sterilisierte Dosen abgefüllt und verschlossen.*



BSC

Unten links: Fruchtsaftdosen auf einem Transportband, das sie vor dem Abpacken in Kartons in Zweierreihen ordnet und weiterbefördert.

Unten rechts: Diese Maschine verschließt fünfzig Dosen in der Minute. Der Luftraum über dem flüssigen Doseninhalt wird vor dem Verschließen der Dosen mit Kohlesäuregas aufgefüllt, um die in der Luft befindlichen Bakterien abzutöten. Das Sterilisieren spielt beim Prozeß des Eindosens eine Hauptrolle.



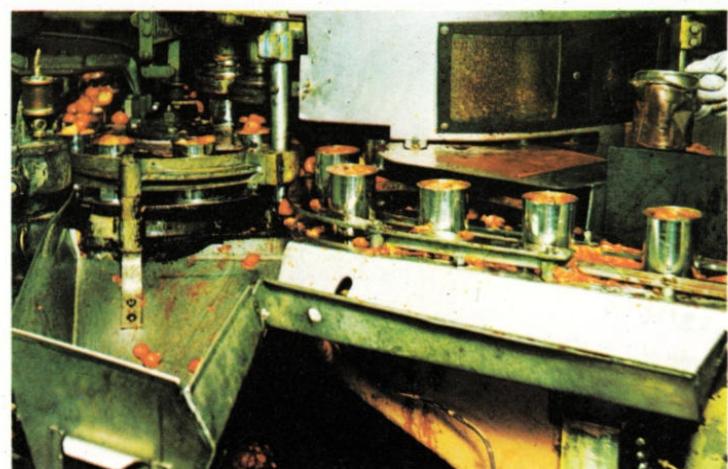
SCHWEPPES

Gemüse in Salzlösung, können durch Flammensterilisation haltbar gemacht werden. Dabei werden die Dosen in einer Brennkammer schnell rotierenden Gasflammen ausgesetzt, ohne daß das Füllgut dadurch Schaden nimmt.

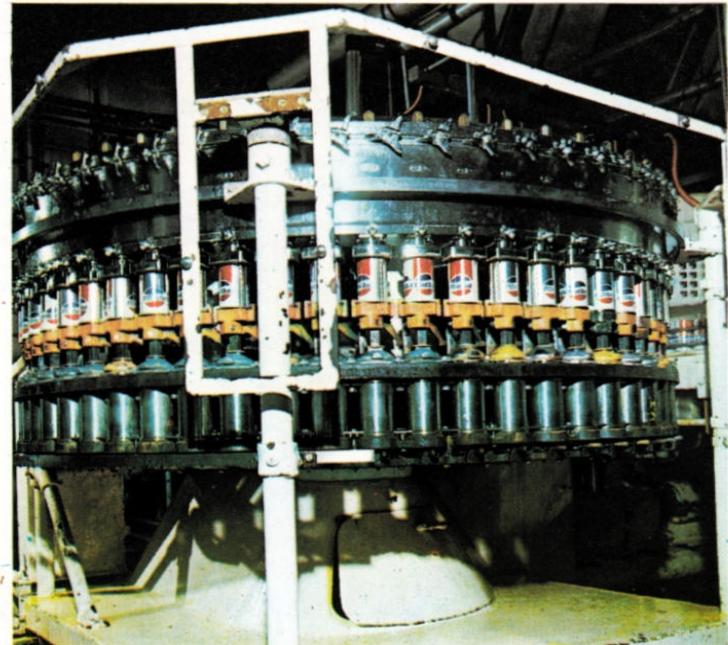
Beim aseptischen Eindosen werden dünne Schichten homogener Produkte erhitzt und wieder abgekühlt. Im Vergleich zu konventionellen Verfahren sind hier erheblich kürzere Verarbeitungszeiten und höhere Temperaturen (bis zu 149°C) möglich. Das abgekühlte, keimfreie Produkt wird in sterile Dosen abgefüllt, die wiederum in steriler Atmosphäre zugesetzt werden. Auf diese Weise lassen sich empfindliche Lebensmittel ohne Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigung konservieren.

Fortschritte in der Kunststofftechnologie führten zur Ent-

Links und unten: Automatische Anlage zur Herstellung von Erdbeerconserven. Die Dosen werden bis zum Rand mit Früchten und etwas Fruchtsirup gefüllt, doch beim Verbraucher entsteht häufig der Eindruck, daß die Konserven hauptsächlich Saft enthalten. Der Grund dafür ist in dem relativ hohen Wassergehalt der Früchte zu sehen. Durch Osmose gelangt dieses Wasser in den Fruchtsirup. Dies hat zur Folge, daß die Früchte schrumpfen und die Saftmenge zunimmt. In Extremfällen kann dies bedeuten, daß die Dosen zu 50% Saft und zu 50% Früchte enthalten.



MAX REDLICH



wicklung von Schichtkunststoffbehältern, bei denen eine Schicht aus Aluminiumfolie als Gas- und Feuchtigkeitsbarriere dient. Diese Behälter sind unempfindlich gegen die zur Sterilisation von Lebensmitteln erforderlichen hohen Temperaturen. Der am weitesten verbreitete Typ ist der flexible Beutel, dessen innere Kunststoffschicht nach dem Einfüllen des Füllgutes heißversiegelt wird, bevor er im Sterilisierapparat sterilisiert wird. Diese Beutel können für eine Vielzahl von Produkten verwendet werden. Man nimmt an, daß sie die dem Verbraucher angebotene Palette hitzerestaurierter Lebensmittel erheblich erweitern werden. Seit ihrer Verwendung durch die amerikanischen Astronauten im Apollo-Programm hat ihre Zahl auch in Europa und Japan ständig zugenommen.

KONTAKTLINSEN

Obwohl Kontaktlinsen meistens aus kosmetisch-ästhetischen Gründen getragen werden, korrigieren sie das Sehvermögen besser als Brillengläser.

Es gibt zwei Arten von Kontaktlinsen: korneale und sklerale LINSEN. Sklerale Linsen bedecken die ganze Vorderseite des Augapfels. (Die Sklera ist die äußere Hülle, die Lederhaut, des weißen Teils des Auges.) Korneale Linsen werden auf die Kornea, die Hornhaut vor der Iris, aufgesetzt. Die dickeren skleralen Linsen werden durch die Augenlider und durch Kapillarkräfte festgehalten, während die dünneren und leichteren kornealen Linsen wegen der größeren Krümmung der Kornea an ihrem Platz bleiben. Sklerale Linsen werden von Sportlern getragen, um der Gefahr eines Herausfallens vorzubeugen, und von Menschen mit kranken oder beschädigten Augen, bei denen es auf einen Schutz vor Infektionen und einer Beschleunigung des Heilprozesses ankommt. Bei einer schlecht geformten Kornea oder einer Narbe kann auf der Unterseite einer skleralen Linse eine Tränenlinse (ein mit Tränenflüssigkeit gefüllter Hohlraum) vorgesehen werden, die solche Fehler korrigiert. Im übrigen sind jedoch korneale Linsen heute die am meisten verbreitete Form.

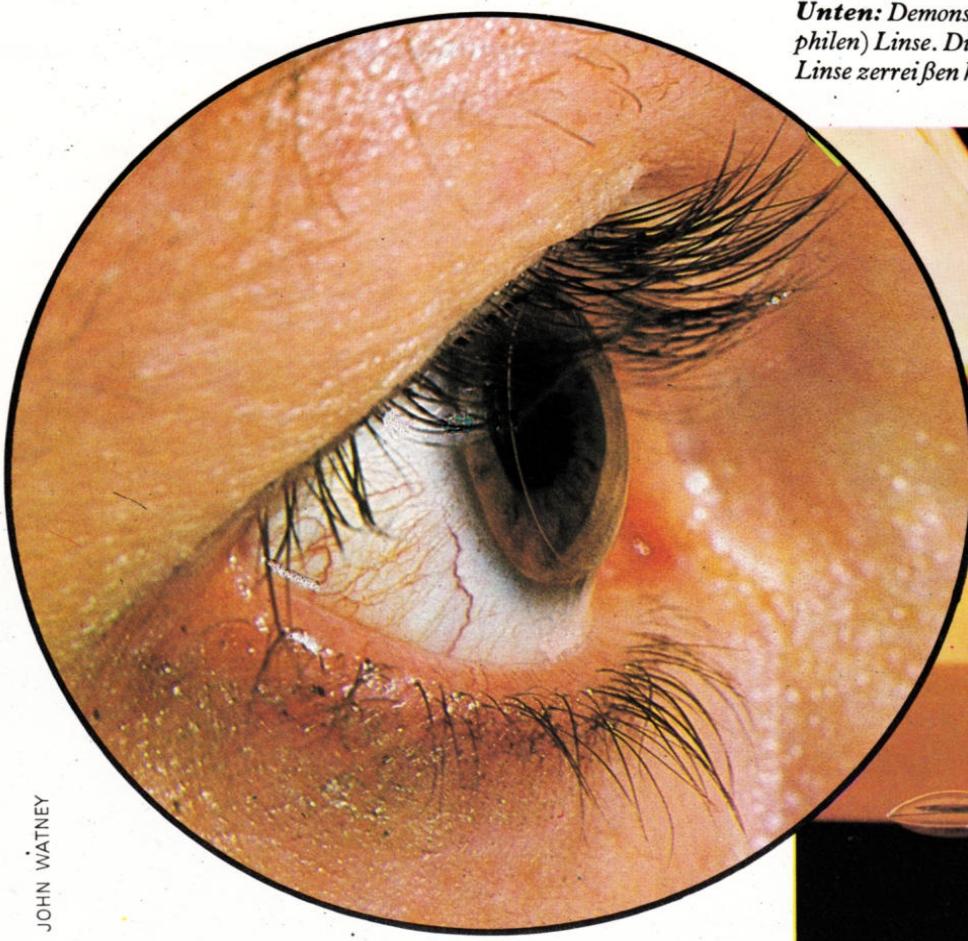
Die meisten Leute tragen Kontaktlinsen aus ästhetischen Gründen. Korneale Kontaktlinsen bieten jedoch gegenüber Brillengläsern viele Vorteile. Da sie sich mit den Augen mitbewegen, wird das Gesichtsfeld nicht eingeengt. Einige Kor-

rekturen der Sehfähigkeit können mit Kontaktlinsen am besten vorgenommen werden. So kann man z.B. nach Operationen des Kataraks (Grauer Star) das normale Sehvermögen mit Kontaktlinsen besser wiederherstellen als mit Brillen, die Verzerrungen des Bildes verursachen. Auch die Anisometropie, eine Verschiedenheit der Brechkraft beider Augen ('Brechung') ist Ablenkung von Lichtstrahlen durch Linsen oder durch die Kornea), kann man mit zwei verschiedenen Kontaktlinsen (z.B. konvex und konkav) leicht Abhilfe schaffen. Mit einer Brille wäre derselbe Patient genötigt, mit seinen Augen auch den Kopf zu bewegen, um in eine andere Richtung zu sehen, da er sonst doppelt sehen würde. Da Kontaktlinsen sich mit dem Auge bewegen, entfallen Abbildungsfehler durch Asymmetrie. Auch in Fällen von Keratokonus, einer kegelförmigen Vorbauchung der Hornhaut, können Kontaktlinsen dem Patienten ein normales Sehvermögen verleihen.

Geschichtliche Entwicklung

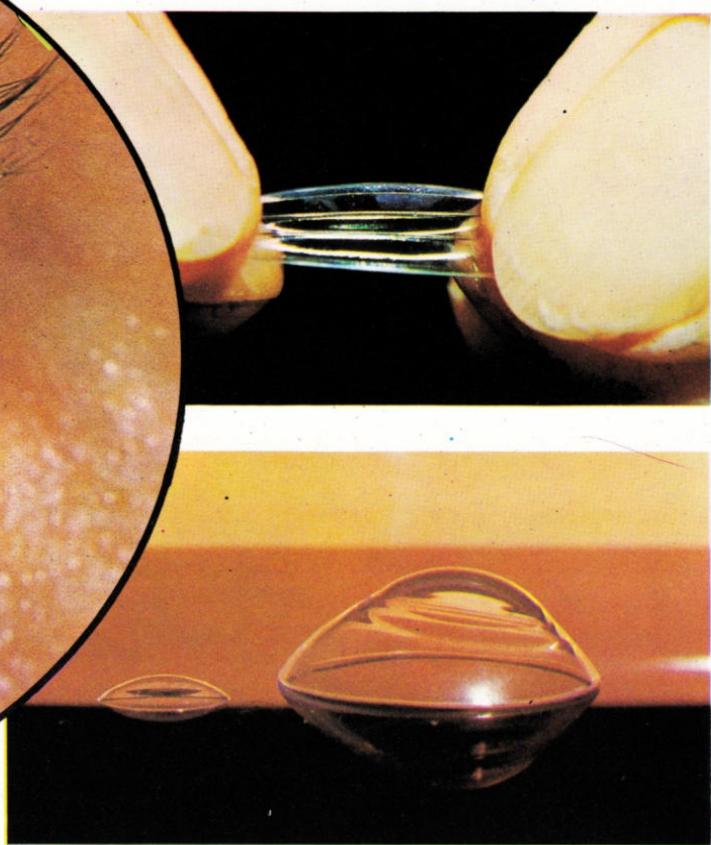
Die erste brechende Kontaktlinse stammt von E. A. Frick (1887). Im Jahre 1912 wurden korneale Glaslinsen von Carl Zeiss angefertigt. Im Jahre 1938 gelang es Obrig und Müller, sklerale Linsen aus Polymethylmethacrylat (Plexiglas) zu gießen. Glas ist zwar optisch leistungsfähiger, aber Plexiglas ist robuster und vor allem leichter, so daß Plexiglaslinsen besser haften. Bis etwa 1950 waren die meisten Kontaktlinsen vom skleralen Typ. Vor der Anfertigung mußten Abdrücke der Augäpfel genommen werden.

Unten: Demonstration der Dehnbarkeit einer weichen (hydrophilen) Linse. Diese Behandlung ist nicht zu empfehlen, da die Linse zerreißen kann.



JOHN WATNEY

Oben: Kontaktlinsen sind eine sehr unauffällige Sehhilfe, im Gegensatz zur Brille. Allerdings treten manchmal Irritationen und Entzündungen auf. Moderne Kontaktlinsen haben diese Unzulänglichkeit weitgehend verloren.



DAVID BURNS

CITY UNIVERSITY

Oben: Foto einer kornealen (links) und einer skleralen Kontaktlinse. Die skleralen Linsen wurden zuerst entwickelt. Heute werden jedoch überwiegend korneale Linsen benutzt, da sie bessere optische Eigenschaften haben und leichter zu tragen sind.

Im Jahre 1948 fertigte K. Touhy die erste korneale Plexiglaslinse an. Sie hatte einen Durchmesser von 10,5 mm, kleiner als die Iris, und bedeckte also nicht mehr die Sklera, die damit nicht mehr von Wasser- und Luftzufuhr abgeschnitten war und keinem irritierenden Druck mehr unterworfen wurde. Die innere, konkave Seite dieser Linse war etwas flacher als die Kornea, so daß auch hier Luft und Wasser leichten Zugang hatten und der Druck klein gehalten wurde. Beim Gebrauch dieser Linsen kam es jedoch zu Schwierigkeiten. Sie verrutschten häufig (Rutschsymptom) und waren paradoxerweise manchmal schwer zu entfernen (Haftsymptom). Man fand schnell heraus, daß kleinere Linsen bessere Eigenschaften besitzen. Um 1954 wurde der Durchmesser auf 9,5 mm verringert, womit erheblich weniger Kornealfläche bedeckt wurde. Im Jahre 1957 wurde die hintere Zentralfläche so konstruiert, daß sie der kleinsten Krümmung (also dem größten Krümmungsradius) der Kornea entsprach. Damit ergaben sich eine bessere Anpassung und weniger Brechungsänderungen bei längerer Benutzung.

Mit der Entwicklung von Keratometer und Ophtalmometer wurde die Anfertigung von Augenabdrücken überflüssig. Diese Geräte nutzen die Tatsache, daß die Kornea wie ein polierter Konvexspiegel eine Abbildung einer Lichtquelle erzeugt. Durch Ausmessen dieser Abbildung erhält man ein genaues Bild der Kornea. ('Keratometer' ist eine Typenbezeichnung der Firma Bausch und Lomb, die als Name in den allgemeinen Sprachgebrauch eingegangen ist.)

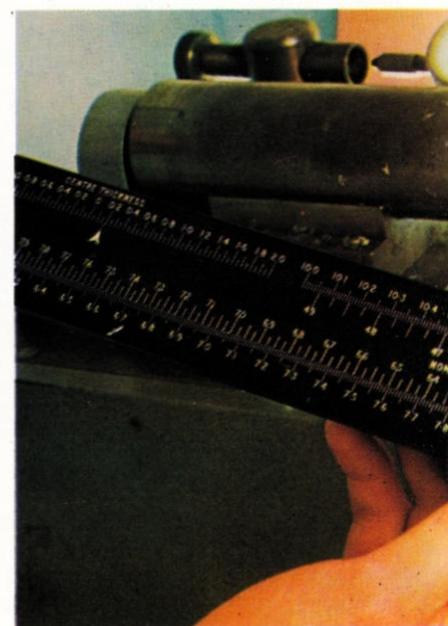
Unten: Der Sitz der Kontaktlinsen wird kontrolliert, indem eine fluoreszierende Flüssigkeit in die Augen getropft wird. Ultraviolettes Licht zeigt dann Unregelmäßigkeiten.

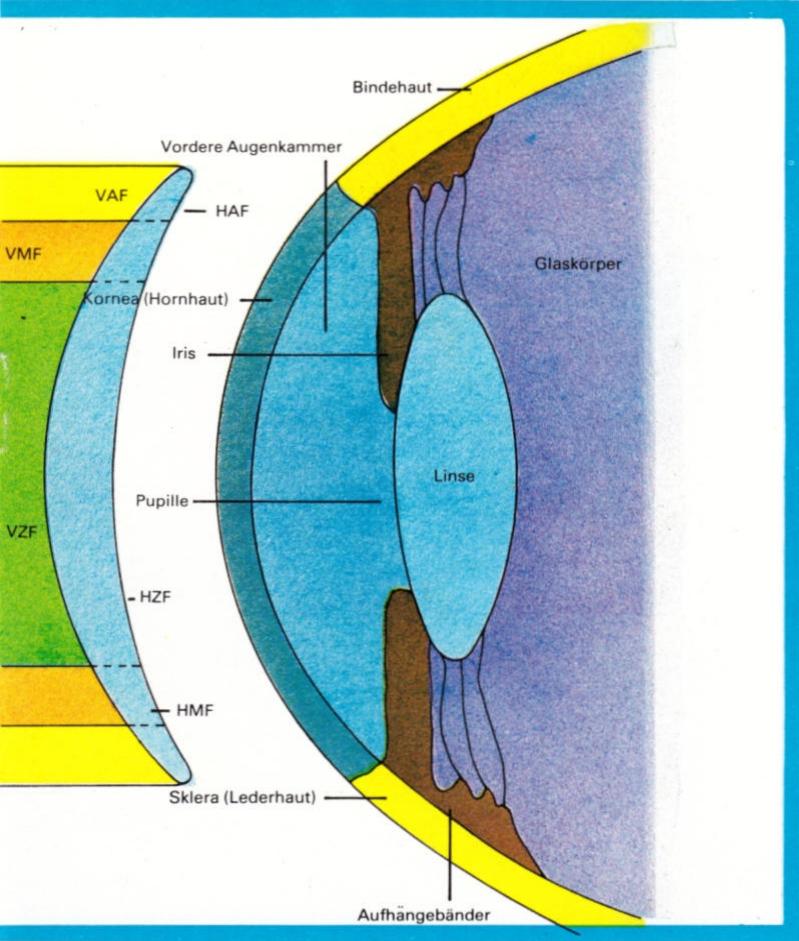


Kontaktlinse mit den verschiedenen brechenden Flächen, die bei der Fertigung einzeln definiert werden:

VZF — Vordere Zentralfläche
VMF — Vordere Mittelfläche
VAF — Vordere Außenfläche
HZF — Hintere Zentralfläche
HMF — Hintere Mittelfläche
HAF — Hintere Außenfläche
Die Hauptbrechungsflächen sind VZF und HZF und werden zuerst angefertigt. Dann werden die Kanten hergestellt, die die verbleibenden Flächen bilden. Diese Flächen müssen genau ineinander übergehen. Die ganze Linse darf die Umspülung der Kornea mit Tränenflüssigkeit nicht behindern.

Herstellung von Kontaktlinsen. Ein blaues Kunststoffwerkstück ist mit einem Tropfen Wachs auf der Drehbank befestigt. Als Schneidwerkzeug dient gewöhnlich ein Diamant. Das nächste Bild zeigt das Polieren mit einer schwach abtragenden Lösung. Dann wird die Kante mit einer Rasierklinge zugeschnitten. Nach jedem Arbeitsgang werden Kontrollen durchgeführt.





Seit 1958 gibt es auch Bifokallinsen (Linsen mit zwei verschiedenen Brennweiten für Nah- und Fernsicht). Man unterscheidet ringförmige Typen, die getrennt angefertigte innere und äußere Teile besitzen und gegenüber dem Auge eine Drehung zulassen, und Segmentlinsen, die nicht drehbar sind und mit einem Profil an der Unterseite auf dem Augenlid aufsetzen.

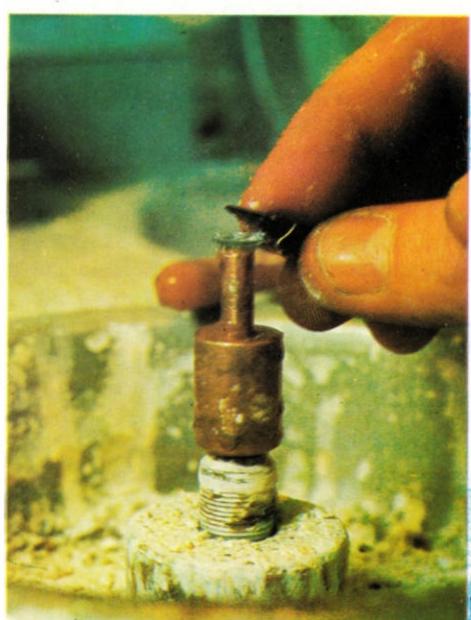
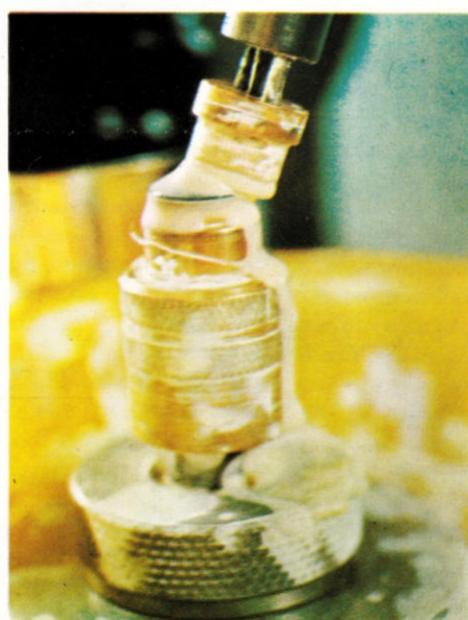
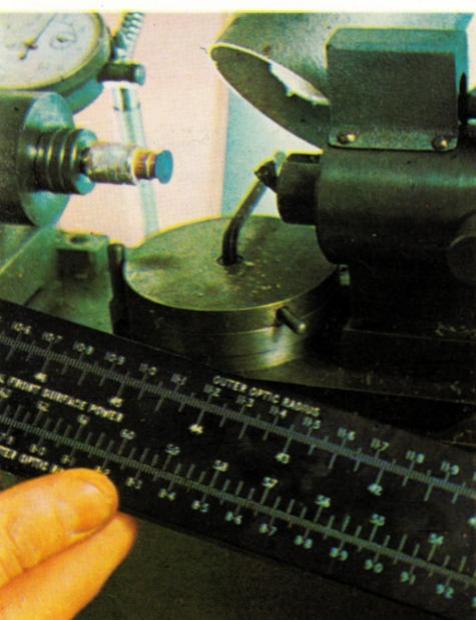
Kontaktlinsen können aus kosmetischen und anderen Gesichtspunkten in verschiedenen Farben und Formen hergestellt werden. Sie können zum Sonnenschutz getönt werden oder mit Vergrößerungsmöglichkeiten für Patienten mit schlechtem Sehvermögen beim Lesen kleiner Schriftbilder nützlich sein. Auch für Kinder unter drei Jahren mit ange-

borenen Sehfehlern hat man schon Kontaktlinsen angefertigt. Im Vergleich zu Brillengläsern bedürfen Kontaktlinsen einer größeren Präzision bei der Herstellung, da kleine Fehler in Dicke oder Krümmung relativ große Brechungsfehler hervorrufen. Die Anfertigung und Anpassung von Kontaktlinsen sind heute so weit entwickelt, daß sie ohne Schwierigkeiten für jeden Patienten 'nach Maß' hergestellt werden können.

Verträglichkeit von Kontaktlinsen

Die Kornea braucht Sauerstoff, den sie von der in der Tränenflüssigkeit gelösten Luft erhält. (Durch den Lidschlag, 3 bis 7 mal pro Minute, wird die Tränenflüssigkeit gleichmäßig verteilt.) Die Hornhäute eines Kontaktlinsenträgers unterliegen einer 'Hypoxie' (Sauerstoffmangel), da die Linsen die Zufuhr von Tränenflüssigkeit beeinträchtigen. An diese Situation muß sich der Patient gewöhnen. Bis diese Gewöhnung eingetreten ist, können die Linsen nur für einige Stunden pro Tag getragen werden. Ältere Menschen vertragen Kontaktlinsen gewöhnlich besser als jüngere. Diabetes oder Schilddrüsenunterfunktion, auch die Benutzung oraler Kontrazeptiva, können zu geringerer Verträglichkeit führen. Das übermäßige Tragen der Linsen in der Gewöhnungszeit verursacht brennende und juckende Irritationen.

Seit Beginn dieses Jahrzehnts gibt es 'hydrophile', weiche Linsen. Diese Linsen wurden zuerst in Prag angefertigt, nachdem ein tschechoslowakischer Wissenschaftler die ungewöhnlichen Eigenschaften des Kunststoffs Polyhydroxyethylmethacrylat entdeckt hatte. Linsen aus diesem Material werden mit Wasser getränkt, indem man sie in eine Salzlösung taucht. Beim Aufsaugen des Wassers werden sie weich. Bei der Herstellung der Linse muß die damit verbundene Ausdehnung berücksichtigt werden — je nach Material kann eine Linse Wasser in einer Menge bis zu ihrem eigenen Gewicht aufnehmen. Je mehr Wasser die Linse aufnimmt, desto weicher und angenehmer wird sie beim Tragen. Abhängig von der Anpassungsfähigkeit des Einzelnen kann die Gewöhnungszeit für weiche Linsen erheblich verkürzt werden oder ganz entfallen. Der Nachteil der weichen Linsen besteht in ihrer kürzeren Lebensdauer (sie können durch grobe Behandlung zerreißen). Außerdem müssen sie vor jedem Gebrauch sterilisiert werden, da das Wasser ein Bazillenträger sein kann. Es gibt zwei Methoden der Sterilisierung: Entweder werden die Linsen sorgfältig ausgekocht, oder sie werden während der Benutzungspausen in einer speziellen keimtötenden Lösung aufbewahrt. Weitere Untersuchungen werden in zunehmender Zahl durchgeführt.



KORROSIONSSCHUTZ

Milliarden Deutsche Mark gehen jährlich durch Korrosion verloren. Die Korrosionskosten betragen bis zu etwa 3,5% des Bruttosozialproduktes. Mehr als 20% dieser Kosten könnten eingespart werden, wenn die heutigen Kenntnisse angewendet würden.

Die Hauptform der Korrosion ist Eisenoxid, der bekanntere Ausdruck hierfür ist Rost. Er entsteht durch die Angreifbarkeit von ungeschützten Eisen- und Stahloberflächen, wenn sie Wasser (bzw. Feuchtigkeit) oder einer verunreinigten Atmosphäre, die zum Beispiel Schwefeldioxid oder Salznebel enthält, ausgesetzt sind. Selbst Metalle wie Aluminium, Kupfer und Legierungen wie z.B. Messing und Edelstahl können in einer ungünstigen Umgebung korrodieren.

Zur Verhinderung von Korrosion gibt es verschiedene Möglichkeiten, angefangen vom Anstreichen oder Auftragen eines metallischen Schutzüberzuges (zum Beispiel Galvanisierung) bis zum einfachen Auftragen eines Ölfilms. Das letztere ist als temporärer Korrosionsschutz bekannt, nicht weil der Schutz nur von kurzer Dauer ist, sondern weil das Öl bei Bedarf entfernt werden kann. Diese Methode wird daher zum Schutz von Maschinenteilen während der Lagerung angewendet.

In der Korrosionsforschung versucht man herauszufinden, welches die für die Korrosionsprozesse gültigen Grundprinzipien sind und welche Möglichkeiten es gibt, diese Vorgänge zu verhindern. Hierzu müssen die in verschiedenen wissenschaftlichen Gebieten erworbenen Kenntnisse, einschließlich Metallurgie, Chemie, Physik, Mikrobiologie und Technik, herangezogen werden. Korrosionstechnik ist die Anwendung dieser Prinzipien auf eine große Anzahl von praktischen Problemen, die man zum Beispiel bei Kraftwagen, Flugzeugen, Waffen, Zentralheizungssystemen, Ölbohranlagen, Rohrleitungen, Kraftwerken, chirurgischen Implantaten im Körper, Landmaschinen und archäologischen Funden antrifft.

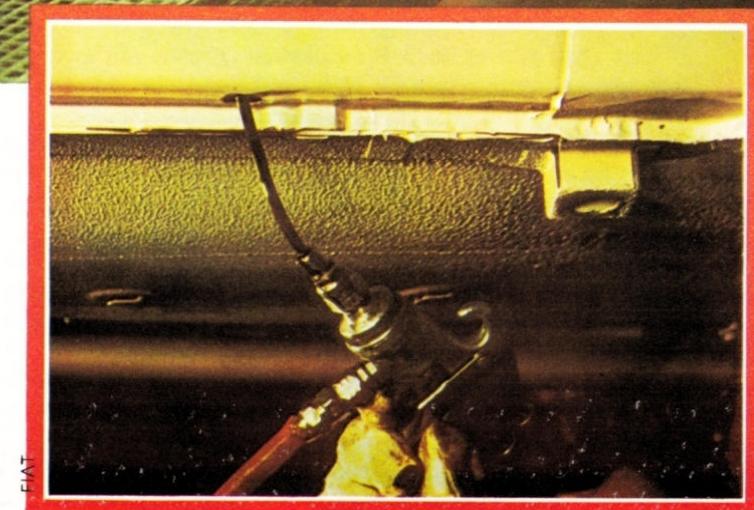
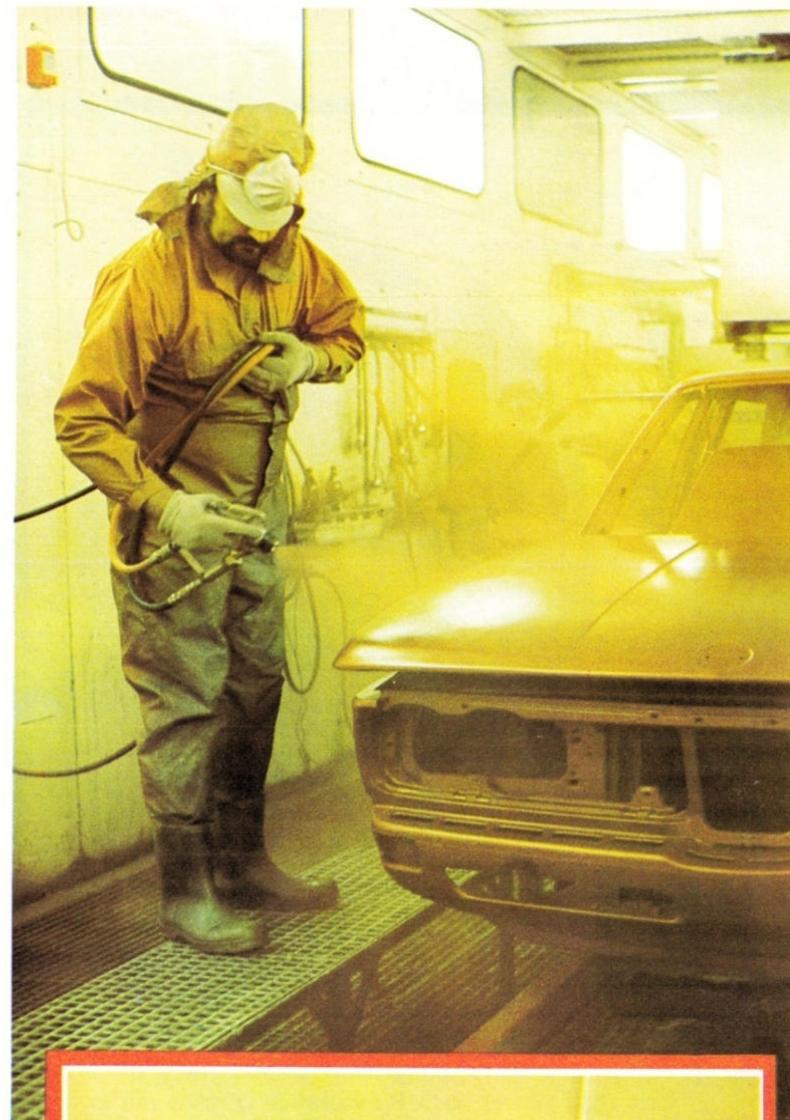
Die Korrosion vollzieht sich manchmal schnell und in einer Art, die nicht leicht zu entdecken ist. Dies führt zu der Gefahr eines nicht voraussagbaren Verfalls. Zu den üblichen Formen der lokalen Korrosion gehören die Lochfraßkorrosion (kleine tiefe Löcher), die Rißkorrosion (Korrosion in Rissen, wo kein Schutzfilm gebildet wurde — dies tritt oft bei Autos auf), Ermüdungskorrosion (die bei einer wechselnden Beanspruchung auftritt und die Spannungskorrosion mit Rißbildung (gewöhnlich unter Zugspannung).

Die Korrosion und ihre Verhütung können unter drei größeren, aber sich nicht gegenseitig ausschließenden Themen betrachtet werden: Hochtemperaturoxidation, Naßkorrosion und Luftkorrosion. Schutzmaßnahmen, die eingeleitet werden, wenn die Korrosion schon eingetreten ist, sind normalerweise nur Linderungsmittel. Der uralte Grundsatz 'Vorbeugen ist besser als Heilen' ist immer noch gültig.

Hochtemperaturoxidation

Die meisten Metalle sind von dünnen, dichten Oxidschichten bedeckt, die durch Kontakt mit Luft bei Zimmertemperatur gebildet werden. Bei erhöhten Temperaturen (im allgemeinen bis zu etwa 1000°C, je nach Metall) verdickt sich die Oxidschicht schnell zu einem 'Zunder', d.h. das Metall wird immer mehr zerstört.

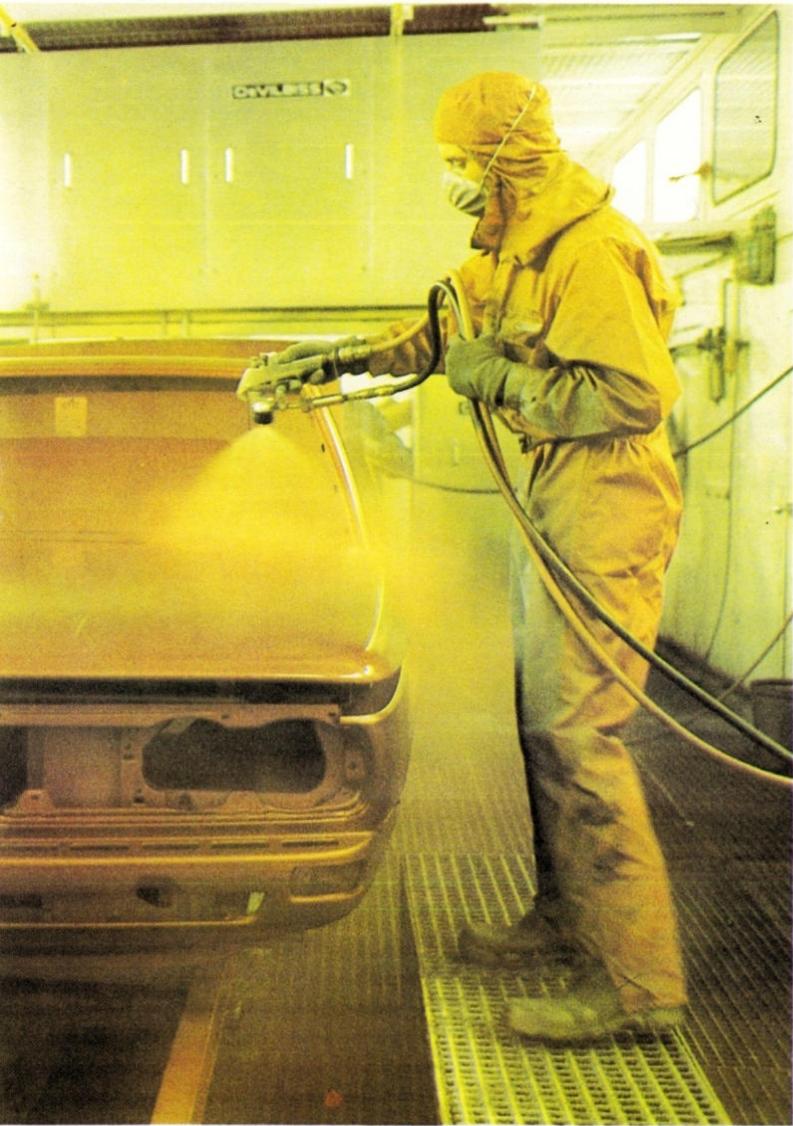
Beim Warmwalzen von Stahl müssen anschließend dicke Eisenoxidschichten entfernt werden, und zwar entweder mechanisch (zum Beispiel durch Sandstrahlreinigung) oder durch elektrochemisches Beizen (Auflösen in Säure). Bestimmte Oxidschichten, besonders Chromoxid (Cr_2O_3), Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Siliciumdioxid (SiO_2) tragen weniger dick auf, da ihre KRISTALL-Gitter regelmäßiger sind. Folglich



kann Korrosionsschutz im allgemeinen durch Verwendung von LEGIERUNGEN erreicht werden, so daß vorzugsweise Oxide von Legierungen auf der Oberfläche gebildet werden. Edelstahl (Eisen-Chrom- oder Eisen-Chrom-Nickel-Legierungen) erzeugt Chromoxid-Schutzschichten.

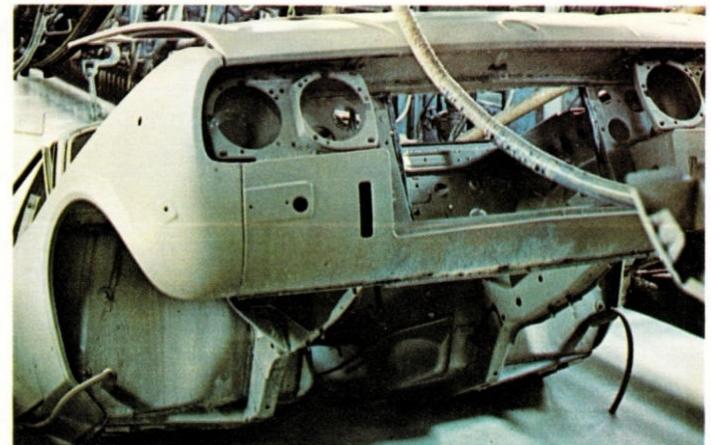
Werkstoffe können auch mit ALUMINIUM (Aluminieren), mit CHROM (Verchromen) oder mit Silicium überzogen werden, so daß sie dünne Oberflächenschutzschichten erzeugen. Bestimmte Zusätze zu Legierungen oder Überzügen (zum Beispiel Cer oder Yttrium) verhindern die zerstörende Rißbildung in der Oxidschutzschicht.

Während manche gasförmige Reaktanten — sie sind meist industrieller Herkunft — im allgemeinen Nitride, Sulfide, Chloride usw. ergeben, die gewöhnlich weniger schützend sind als Oxide, können andere Kontaminationsmittel wie z.B. Salz (NaCl) oder vanadiumreiche Asche beschleunigten Korrosionsangriff hervorrufen.

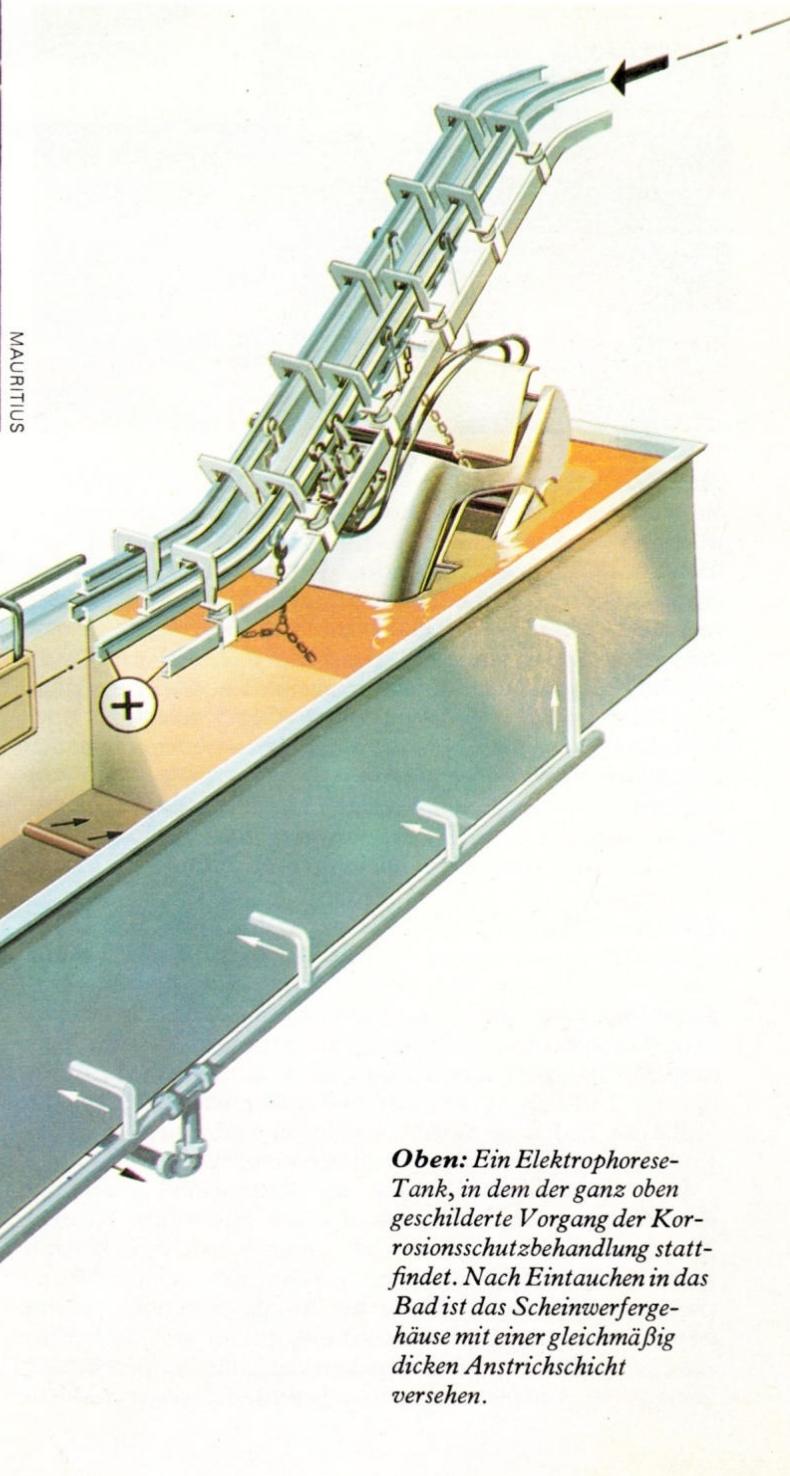


Oben: Mehrere Farbschichten werden auf Autos gespritzt, um sie vor Korrosion zu schützen.

Links: Für zusätzlichen Schutz werden wachshaltige Rostschutzmittel in die Karosserie eingespritzt.



Oben: Korrosionsschutzbehandlung von Karosserie-Scheinwerfergehäusen. Nach der Phosphatierung wird das Scheinwerfergehäuse in Wasser getaucht, das einen Rostschutzanstrich enthält. Es wird mit einer Plusklemme verbunden. Die Behälterwände verbindet man mit dem negativen Anschluß, wodurch ein Magnetfeld erzeugt wird. Anstrichteilchen werden von allen Gehäuse-Oberflächen angezogen.



Oben: Ein Elektrophorese-Tank, in dem der ganz oben geschilderte Vorgang der Korrosionsschutzbehandlung stattfindet. Nach Eintauchen ist das Scheinwerfergehäuse mit einer gleichmäßig dicken Anstrichschicht versehen.

Wenn zwei unterschiedliche Metalle in Salzwasser getaucht werden, kommt es zu elektrochemischen Reaktionen, die die Korrosion des Metalls hervorrufen, das das höhere Elektrodenpotential aufweist. Die Korrosion von Schiffsrümpfen kann durch die Verwendung von Zinklegierungsanoden, die ein höheres Potential als der Stahl des Rumpfes haben, reduziert werden. Das Bild rechts zeigt die Anbringung und die Zeichnung das Anwendungsgebiet und Position der Anoden.



ZEFA

Naßkorrosion

In neutralen (d.h. weder sauren noch alkalischen) Lösungen ist die an der Luft gebildete Oxidschicht auf der Metalloberfläche noch teilweise vorhanden. Es werden mikroskopisch kleine elektrochemische Zellen gebildet. Die anodische (destructive) Reaktion tritt ein, wenn sich das Metall an den schwachen Stellen in der Oxidschicht löst. Auf der Oxidschichtoberfläche findet die entsprechende katodische Reaktion statt. Hier werden Hydroxyl-IONEN (OH^-) gebildet. Diese gehen in Lösung, wo sie auf die Metallionen treffen, die in der anodischen Reaktion gebildet wurden. Im Falle von Eisen reagieren die Ionen miteinander und bilden ein festes Produkt, das anfangs aus Fe(OH)_2 besteht, aber bald zu Rost wird, einer ziemlich komplexen hydratisierten Form von Eisenoxid, Fe_2O_3 .

In sauren Lösungen wird die an der Luft gebildete Oxidschicht gewöhnlich schnell entfernt. Das Metall löst sich wie in neutralen Lösungen, aber bei der katodischen Reaktion reagieren Wasserstoffionen unter Bildung von Wasserstoffgas.

In bestimmten sauerstofffreien Umgebungen wie zum Beispiel in wassergesättigtem Ton umfaßt die katodische Reaktion die Mitwirkung von sulfatreduzierenden Bakterien, die Sulfat im Boden in Sulfid umwandeln und einen schnellen Korrosionsangriff auf das Metall hervorrufen.

Der Korrosionsangriff auf ein Reinstmetall kann beschleunigt werden, indem ein Kontakt mit einem 'edleren' Metall hergestellt wird, das als guter katodischer Bereich wirkt (bimetallische oder galvanische Korrosion = elektrochemische Korrosion). Wenn das Metall jedoch mit einem weniger edlen Metall (das leichter angegriffen wird) in Berührung gebracht wird, wobei manchmal noch ein entsprechender überlagerter Außenstrom fließt, sagt man, daß ersteres Metall

galvanisch korrosionsgeschützt ist. Bei einer weiteren elektrischen Schutzmethode, dem anodischen Schutz, werden auf der Metalloberfläche solche Bedingungen erzeugt, daß sie eine dünne Schutzschicht oder 'passive' Schicht bildet.

Eine häufig angewendete Schutzmethode in geschlossenen statischen oder fließenden Systemen, die fast neutrale Lösungen enthalten, besteht darin, Inhibitoren hinzuzugeben, d.h. chemische Verbindungen wie Chromate, Phosphate oder Bicarbonate, die entweder den anodischen oder katodischen Prozeß verzögern. Korrosionsschutz wird im allgemeinen auch durch Verwendung von Überzügen erreicht: Zum Beispiel durch Verdicken oder Umwandeln der natürlichen, an der Luft gebildeten Schicht durch anodisches Oxidieren (Eloxieren) oder Phosphatieren; Verwendung von Metallüberzügen, die durch Galvanisierung, Heißtauchen (zum Beispiel Galvanisieren durch Eintauchen in geschmolzenes Zink) oder durch Plättierung aufgetragen werden; organische Überzüge wie Plastikmaterialien, Gummibeläge, Anstriche und Email-lacke oder anorganische Überzüge wie Beton oder Glas. Bestimmte Überzüge geben nicht nur einen elektrochemischen oder Inhibitionsschutz, sondern sie wirken auch einfach wie eine physikalische Blockierung.

Luftkorrosion

Die typische Luftkorrosion ist bei periodisch auftretendem Regen und in feuchter Luft zu verzeichnen. Wenn eine bestimmte relative Luftfeuchtigkeit, bekannt als die kritische Luftfeuchtigkeit, überschritten ist, wird die Korrosion von Metallen wie Eisen und Nickel infolge des Einsetzens eines elektrochemischen Korrosionsprozesses in der dünnen kondensierten Feuchtigkeitsschicht auf der Metalloberfläche beschleunigt. Kontaminationsmittel wie Schwefeldioxid in Stadtluft (das kondensierte Feuchtigkeit sauer macht) und Salz (Natriumchlorid) vom Meer aus der Seeluft beschleunigen die Korrosion ebenfalls.

Korrosionsschutz in der Luft umfaßt natürlich die bereits erwähnten Überzugsmethoden sowie Spezialverfahren wie 'Kokonbildung' (d.h. Einschluß in eine trockene, saubere Atmosphäre — ein Beispiel dafür ist der Exsikkator), spezielle Papierumhüllungen und Dampfphaseninhibitoren wie Di-hexylaminnitrat, die einen Niederschlag bilden und an den betroffenen Stellen der Korrosion entgegenwirken.

KRAFTSTOFFEINSPIRZUNG

Bei Dieselmotoren mit Kraftstoffeinspritzung gelangt der Kraftstoff unmittelbar in den Brennraum (oder in eine Vorkammer), bei Ottomotoren auch in den Saugkanal. Dies macht Vergaser überflüssig. Die bei Flugzeugmotoren auftretenden Schwierigkeiten hinsichtlich Vergaservereisung werden gegenstandslos.

Schon bei den ersten Kraftfahrzeugen arbeitete man mit Kraftstoffeinspritzung, doch vernachlässigte man sie lange bei Motoren mit Fremdzündung (Funkenzündung). Erst in den 30er Jahren trieben die Bedürfnisse der Luftfahrtindustrie ihre Entwicklung voran. Viele Militärflugzeuge verfügten im Zweiten Weltkrieg über Benzineinspritzung. Der Erfolg dieser Anlagen förderte die Entwicklung von Einspritzanlagen für Kraftfahrzeuge. Bei selbstzündenden Motoren (Dieselmotoren) hingegen gab es von Anfang an eine Kraftstoffeinspritzung. Die ersten Systeme leiteten den Kraftstoff mittels Druckluft von etwa 60 bar in den Motor und zerstäubten ihn gleichzeitig dabei (Lufteinblasung). Heute wird nur noch die luftlose Einspritzung verwendet.

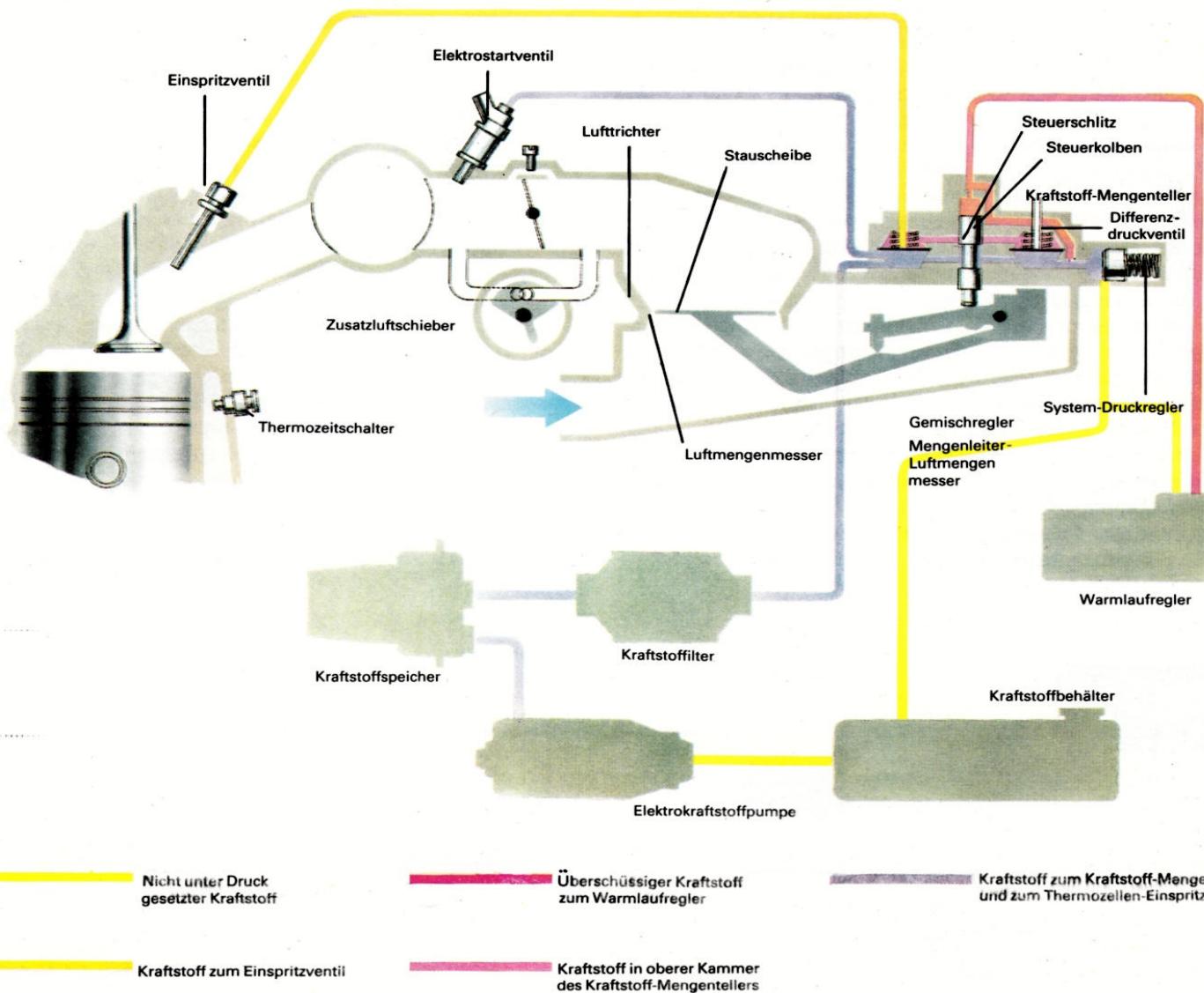
Einspritzung bei Diesel-Motoren

Das Herzstück der Anlage ist die Einspritzpumpe. Sie findet sich in zwei Hauptausführungen: Als Vielstempelpumpe mit einem eigenen Pumpenelement für jeden Motorzylinder oder als Verteilerpumpe, bei der ein Pumpenelement alle Motorzylinder mit Kraftstoff versorgt. Ein Pumpenelement besteht im wesentlichen aus einem zugleich fördernden und steuern-

den Kolben, einem ihn umhüllenden Zylinder und einem Druckventil. Die der Zylinderzahl entsprechende Anzahl von Pumpenelementen bildet in einem kompakten Gehäuse eine 'Reihenpumpe'. Befindet sich der Pumpenstempel in UT (untere Totpunktstellung), kann durch die oben im Zylinder liegende Zulaufbohrung Kraftstoff eintreten. Der Antrieb des Stempels erfolgt über einen Nocken. Der nach oben gehende Stempel verschiebt die Zulaufbohrung wieder. Der geförderte Kraftstoff wird durch ein federbelastetes Druckventil in eine Druckleitung und weiter zum Düsenhalter gepumpt. Ein solcher Düsenhalter ist an jedem Zylinder angeflanscht oder wie eine ZÜNDKERZE in ihn eingeschraubt. Dieses hochkomplizierte feinmechanische Bauteil besteht im wesentlichen aus einem Gehäuse, in dem sich neben einem Druckstift und einer Druckfeder die Nadel- oder Zapfdüse befindet. Sie öffnet sich entsprechend dem in der Leitung herrschenden Druck und lässt den Kraftstoff in den Brennraum eintreten. Dadurch fällt der Kraftstoffdruck in der Leitung ab, und die Düse schließt sich bis zum nächsten Einspritzvorgang.

Da die Pumpenstempel immer den gleichen Hub ausführen, wird die Einspritzmenge dadurch geregelt, daß eine Regel-

Unten: Die K-Jetronic von Bosch. Das Benzin wird vom Kraftstoffbehälter durch den Kraftstoffspeicher (der den Druck konstant hält, wenn der Motor abgeschaltet ist) und ein Kraftstofffilter in die untere Kammer des Gemischreglers gepumpt. Der Gemischregler reguliert den Benzinfuß zu den Einspritzventilen durch die zugeführte Luftmenge. Der Luftstrom wird durch eine Drosselklappe reguliert, die direkt mit dem Gaspedal verbunden ist.



stange den mit einer Steuerkante und einer Längsnut versehenen Kolben verdreht.

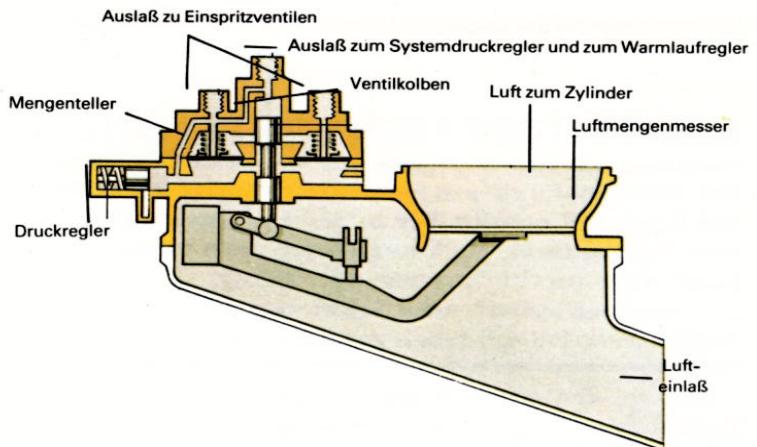
Die Verteilerpumpe fördert über ein einzelnes Pumpenelement abwechselnd in verschiedene Einspritzleitungen und damit der Reihe nach in alle Motorzylinder. Dazu muß es bei jeder Umdrehung der Pumpen-Antriebswelle die entsprechende Zahl an Hüben ausführen. Es gibt unterschiedliche Antriebssysteme, z.B. eines mit einer Hubscheibe und Stirnnocken oder eines, bei dem in einer rotierenden Nabe zwei Kolben durch Abrollen auf einer festen Nockenbahn gegeneinander bewegt werden. Mit der (vom Motor angetriebenen) Kolbenführung rotiert auch ein Verteilerstück, das den Raum zwischen den beiden Kolben abwechselnd mit einer Ansaug- und einer Druckbohrung für die einzelnen Zylinder verbindet. Über die Druckbohrung steht dann der Kraftstoff in der Druckleitung zum jeweiligen Düsenhalter an.

Benzineinspritzung

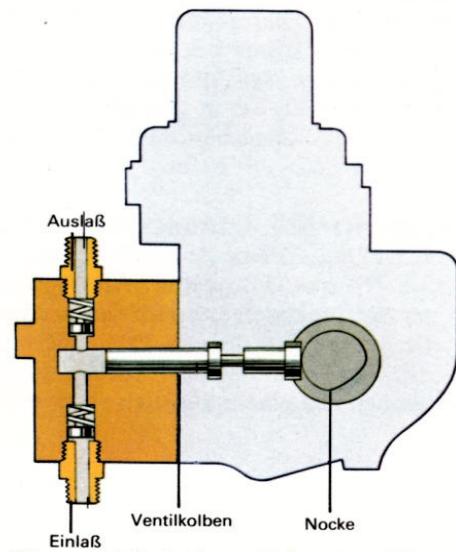
Es gibt eine Vielzahl mechanischer Einspritzsysteme für Ottomotoren. Immer mehr Kraftfahrzeughersteller bauen in ihre Fahrzeuge statt der herkömmlichen VERGASER solche Anlagen ein. Die Einspritzung erfolgt dabei entweder in das Saugrohr oder in der Nähe der Einlaßventile in den Zylinderkopf. Es gibt verschiedene Verfahren zur Regelung der an die jeweilige Einspritzdüse geförderten Kraftstoffmenge.

Beispielsweise fördert eine elektrische Kraftstoffpumpe das Benzin durch einen Filter vom Tank zu einer Regeleinrichtung. Ein Druckregelventil hält den Druck in der Kraftstoffleitung auf einem konstanten Wert von etwa 7 bar. Im rotierenden Verteiler-Zylinder sind rundherum Zu- und Abflußbohrungen angebracht. Ein kleiner Kolben arbeitet darin als 'Schwingschiffchen' — der Kraftstoffdruck treibt es abwechselnd nach links und rechts, wo jeweils eine Leitung freigegeben wird, die in der richtigen Reihenfolge zu den Einspritzdüsen führt. Die Mengendosierung erfolgt dabei über einen veränderlichen Anschlag für das 'Schwingschiffchen'. Daneben gibt es pneumatische und elektro-pneumatische Einspritzsysteme, sowie ein recht weit verbreitetes System, das mit einem Regelnocken arbeitet. Dieser Nocken dreht sich entsprechend einem an ihn übermittelten Drehzahlimpuls und wird abhängig vom Belastungszustand des Motors über die Ansaug-Drosselklappe längsverschoben. Damit wird er zu einem 'Raum'-Nocken. Ein Abtaststift überträgt seine jeweilige Erhebung auf eine Regelschwinge, die sich dementsprechend hebt und senkt. Sie sorgt dafür, daß der Pumpenkolben nicht weiter nach unten geht, als es für die Förderung der benötigten Kraftstoffmenge erforderlich ist. Die benötigte Kraftstoffmenge wird damit der vom Motor angesaugten Luftmenge angepaßt. Die Konturen des für den Motor geeigneten Raumnockens müssen, für jeden Motortyp getrennt, in aufwendigen Prüfstandversuchen ermittelt werden.

Alle Einspritzanlagen verfügen über besondere Einrichtun-

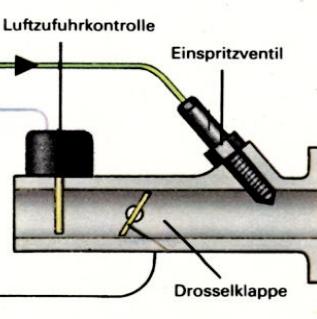


Oben: Der Mengenteller in der Bosch-K-Jetronic reagiert auf den Benzinbedarf. Wird wenig Kraftstoff benötigt, ist der Mengenteller näher am Auslaß zu den Einspritzventilen. Ist der Bedarf groß, steigt der Druck und der Mengenteller sinkt.

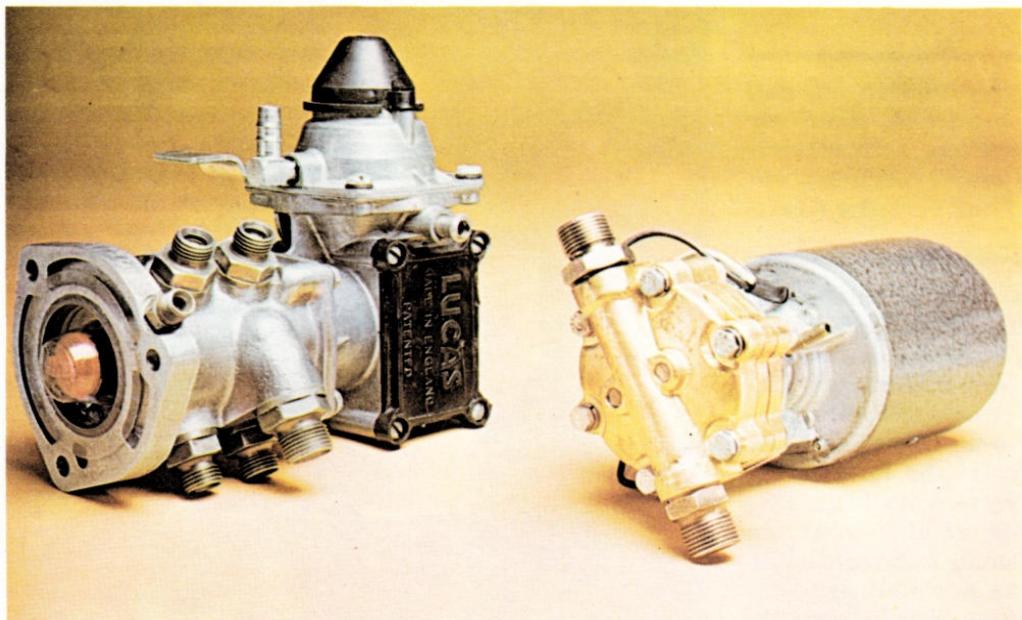


Die Kugelfischer-Kontrolleinheit sitzt auf einer vom Motor getriebenen Nockenwelle. Jedes Einspritzventil wird von einer Nocke bedient, und jede Nocke bedient einen Ventilkolben.

gen für Startanreicherung, Warmlaufphase usw. Keine Einspritzanlage verarbeitet jedoch so viele Steuerimpulse wie die Jetronic, eine in den 60er Jahren in Deutschland entwickelte Benzineinspritzung. In dieser Anlage herrscht ein konstanter Kraftstoffdruck von 2 bar, die Einspritzmenge jeder Düse hängt also von der Einspritzdauer ab. Den Impuls für den Einspritzzeitpunkt und die Mengenregelung liefert ein 'Computer' — ein elektronisches Steuergerät. Es empfängt Informationen über Einspritzzeitpunkt (vom Zündverteiler), Unterdruck im Ansaugrohr, Motordrehzahl, Belastungszustand und Betriebszustand des Motors, die Notwendigkeit der Beschleunigungsanreicherung oder der Kraftstoffabschaltung bei geschobenem Motor. Alle diese Impulse summiert er und verarbeitet sie zur Einspritzdauer für jede Düse, womit



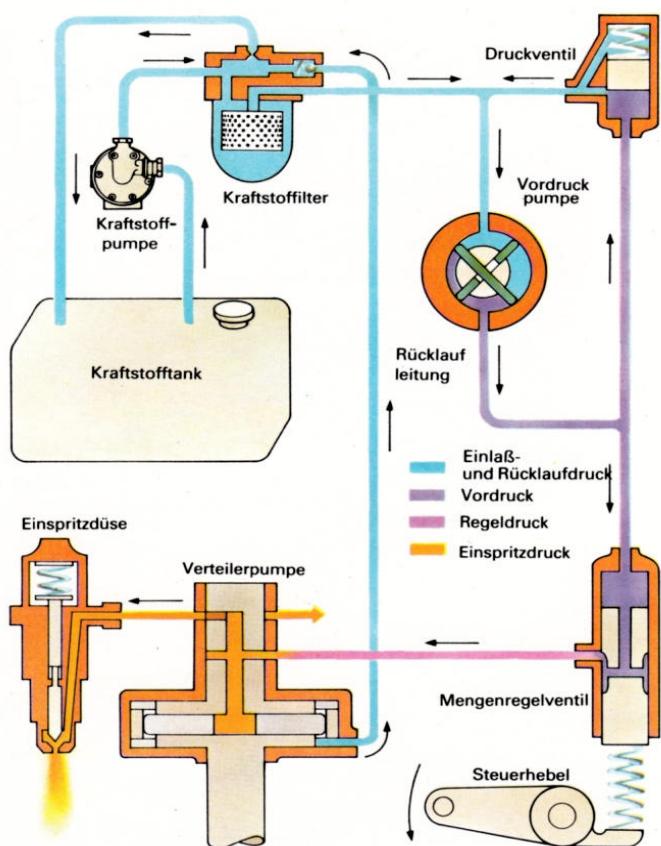
Vereinfachte Darstellung der L-Jetronic, ein PI-System. Das wesentliche Charakteristikum der L-Jetronic ist, daß sie nicht mechanisch (wie die K-Jetronic), sondern elektronisch die Luftzufuhr kontrolliert. Die Stärke des elektrischen Signals bestimmt die Öffnungszeit der Einspritzventile und damit die Geschwindigkeit des Motors.



Oben: Zwei Bauteile einer Kraftstoffeinspritzanlage. Eine Einspritzverteilerpumpe (ganz links), die an jedes Einspritzventil eine genau abgemessene Menge Kraftstoff liefert und eine elektrisch betriebene Kraftstoffpumpe, die den Kraftstoff zur Verteilerpumpe fördert. Auf dem Bild rechts ist die Düse eines Einspritzventils zu sehen.

die passende Einspritzmenge gegeben ist. Allerdings ist die bisher fortschrittlichste Lösung, die ebenfalls aus der Bundesrepublik Deutschland stammt und anfang der 70er Jahre auf den Markt kam, trotz des Namens (K-Jetronic) zur mechanischen Mengenregelung zurückgekehrt — wenn auch in grundlegend anderer Weise als bei den bereits beschriebenen Systemen. Einfach gesagt, befindet sich dabei eine Stauscheibe im Ansaugweg des Motors. Sie wird in Abhängigkeit vom Unterdruck im Motor angehoben und durch den Kraftstoffdruck in einem Steuerkolben nach unten gedrückt. Dabei werden jeweils unterschiedlich große Querschnitte im Ansaugtrakt freigegeben. Der Steuerkolben lässt über Slitze Kraftstoff mit einem Druck von konstant 5 bar an die Einspritzdüsen fließen. Dieses System hat einige beachtliche Vorteile: Die Stauscheibe reagiert auf die tatsächliche Luftmenge unabhängig von Temperatur und Luftdruck; die Anlage hat ein sehr gutes Abgasverhalten; es sind weder ein Pumpenantrieb vom Motor noch mechanische Steuereinrichtungen erforderlich, denn der Kraftstoff tritt bei laufendem Motor ohne Unterbrechung (kontinuierlich, daher 'K'-Jetronic) aus den Einspritzdüsen aus und wird dort vorgelagert, solange die Einlaßventile geschlossen sind.

Der Grund für diese Neuentwicklungen liegt in den überall auf der Welt schärfster werdenden Abgasbestimmungen. Besonders gefürchtet ist dabei der USA-Test für den Bundesstaat Kalifornien. Es würde zu weit führen, alle auf diesem Gebiet entwickelten Systeme vorzustellen, die zum Teil von Firmen stammen, die bisher auf Vergaser spezialisiert waren, doch sollen zwei besonders beachtenswerte Lösungen kurz angesprochen werden. In England wurde eine elektronische Einspritzung mit digitaler Steuerung entwickelt, bei der der Kraftstoffbedarf des Motors in einen Datenspeicher eingeprägt werden kann. Mit ihr sank beim USA-Abgastest (in einem 12-Zylinder-Jaguar eingebaut) der CO-Anteil von 3,0 g/Meile (1 Meile = 1,6 km) bei analoger Einspritzung auf 1,5 g/Meile. Gleichzeitig soll der Kraftstoffbedarf der Anlage um etwa 10% niedriger liegen als bei anderen Einspritzsystemen. Eine andere Konstruktion versucht, die sehr hohen Mehrpreise für Einspritzanlagen gegenüber Vergasern durch eine Vereinfachung des Systems zu vermindern. Bei dieser ZEK (Zentraleinspritzung, auf der Basis der K-Jetronic) genannten Anlage soll nicht mehr jeder Zylinder einzeln mit Kraftstoff versorgt, sondern es soll nur noch an einer Stelle ober- oder unterhalb der Drosselklappe fein zerstäubter Kraftstoff eingespritzt werden.



ALLARD GRAPHIC ARTS

Eine Einspritzanlage mit Verteilerpumpe für Dieselmotoren. Kraftstoff wird aus dem Tank und dann durch einen Filter an die Vordruckpumpe und das Druckregelventil gefördert, das ihn mit konstantem Druck zum Mengenregelventil leitet. Die Stellung des Steuerhebels bestimmt die an die Verteilerpumpe gelangende Kraftstoffmenge.

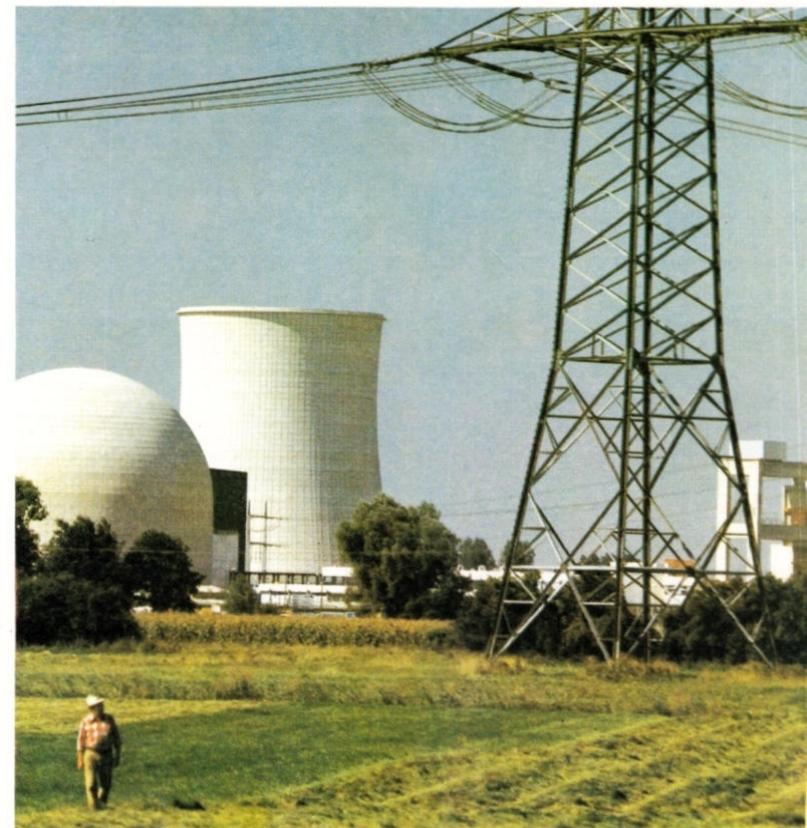
KRAFTWERK

Wir sehen es als durchaus selbstverständlich an, daß wir nur einen Knopf zu drücken brauchen, wenn wir Licht anmachen oder fernsehen wollen. Den elektrischen Strom, der unser Leben so sehr erleichtert, erzeugen zahlreiche, über das ganze Land verteilte Kraftwerke.

Die ersten Kraftwerke und Ansätze zu einem Verteilungsnetz wurden in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts zur Deckung des Strombedarfs für Beleuchtungszwecke im Nahbereich eingerichtet. Hubkolben-Dampfmaschinen trieben über Riemen Generatoren an, die entweder Wechselstrom mit unterschiedlicher Frequenz oder Gleichstrom erzeugten. Der größte Fortschritt im Kraftwerksbau war die Entwicklung der praktischen Dampfturbine, die Parsons im Jahre 1884 vorstellte. TURBINEN traten sehr rasch an die Stelle von DAMPFMASCHINEN. Sie wurden seither ständig weiterentwickelt. Ein im Jahre 1889 nahe London erbautes Kraftwerk hatte vier Drehstromgeneratoren mit einer Gesamtkapazität von 1,23 MW (1 MW = 1 Million Watt) und eine Hochspannungsleitung von 10 kV (1 kV = 1000 Volt). Wie bei der Turbine ging die Entwicklung des Dampferzeugers weiter: von handbeschickten Kesseln zu automatischer Brennstoffzufuhr und -überwachung. Inzwischen haben in einigen neuerrichteten Kraftwerken Kernreaktoren die herkömmlichen Flammrohrkessel zur Erzeugung von Dampf verdrängt.

Das Stromnetz muß jederzeit die Nachfrage nach Elektrizität decken können. Sie lässt sich nicht in größeren Mengen speichern. Daher wird die Leistung der Kraftwerke ständig der täglich und stündlich schwankenden Belastung des Netzes angepaßt. Die Kraftwerke müssen die Nachfrage in einer Rangfolge befriedigen, die durch die Betriebskosten bestimmt wird. Grundlastkraftwerke decken den Teil der Nachfrage im elektrischen Netz, der zeitlich konstant und somit ein Nachfrageminimum ist. Sie arbeiten mit den günstigsten Betriebskosten und werden mit so wenig Unterbrechungen wie nur möglich, z.B. für Wartungsarbeiten, gefahren, damit kein Kapital 'tot' liegt. Wenn die Nachfrage ihren höchsten Wert erreicht, werden Spitzenlastkraftwerke zugeschaltet. Mit steigender Nachfrage werden dem Verbundnetz immer mehr Kraftwerke angeschlossen. Darunter befinden sich auch solche, die höhere Kosten haben als die Grundlastkraftwerke, bis bei der Befriedigung des Spitzenbedarfs auch die Kraftwerke mit der ungünstigsten Kostenstruktur mitlaufen.

Dazu braucht man zwei klar voneinander unterschiedene Arten von Kraftwerken. Die modernen Großkraftwerke mit einer Kapazität von 500 MW bis 1300 MW sind wirtschaftlich im Betrieb, sie arbeiten mit relativ hohem Wirkungsgrad und mit billigem Brennstoff (Braunkohlenkraftwerke). Ihr hoher Wirkungsgrad hängt unter anderem von der Feinbearbeitung der Laufschaufeln und den engen Passungen zwischen ihnen und dem Turbinengehäuse ab. Da Lastwechsel bei Turbinen mit erheblichen Temperaturänderungen verbunden sind, wären wegen der unterschiedlichen Wärmeausdehnung der einzelnen Bauteile diese engen Passungen gefährdet. Daher sind Kraftwerke mit solchen Aggregaten als Grundlastkraftwerke geeignet. Die darüber hinausgehende Nachfrage wird mit kleineren, dafür flexibleren, Dampfturbinen gedeckt, die wegen ihrer geringen Größe auch einen niedrigeren Wirkungsgrad haben. Spitzenlastkraftwerke sind das genaue Gegenteil von Grundlastkraftwerken. Sie sind billig zu errichten und sehr flexibel im Einsatz, dafür aber teuer im Betrieb. GASTURBINEN sind typische Spitzenlastversorger. Ihre Gehäuse aus Leichtmetalllegierungen sind für rasch wechselnde Temperaturen ausgelegt, so daß eine solche Turbine innerhalb drei Minuten nach dem Anwerfen bis zur vollen Last hochlaufen



KRAFTWERK
UNION

Links oben: Das Atomkraftwerk in Biblis, eines der ersten seiner Art in d. Bundesrepublik.

Oben: Der Kontrollraum eines Kohlekraftwerkes. Im Unterschied zu den meisten Kraftwerken hat dieses vier einzelne Bedienungspulte. Jede Einheit umfaßt einen halbkreisförmigen Kontrolltisch, über dem eine Alarmtafel hängt. Hinter jedem Kontrolltisch steht eine halbkreisförmige Instrumentenbank.

Links: Ein Boiler wird zu einem Kraftwerk gebracht.

kann. Wasserkraftwerke können als Laufwasserkraftwerke mit Grundlast und als Hochdruckkraftwerke mit Spitzenlast arbeiten. Die erforderliche Kapitalinvestition ist bei ihnen sehr hoch, sie sind aber am billigsten zu betreiben.

Drehstromgeneratoren

Kraftwerke arbeiten grundsätzlich mit Drehstromgeneratoren. Es handelt sich dabei durchweg um Synchronmaschinen. Ihre Leistung ist seit dem Zweiten Weltkrieg von 60 MW auf 660 MW (Europa) und in den USA sogar auf 1300 MW gestiegen. In Europa hat Drehstrom eine Frequenz von 50 Hz, nicht aber — mit Ausnahme von Frankreich — bei der Bahn, die mit 'Bahnstrom' fährt, ein Einphasen-WECHSELSTROM von $16 \frac{2}{3}$ Hz. Um die Frequenz von 50 Hz einzuhalten, müssen Zweipolmaschinen synchron mit 3000 U/min und Vierpolmaschinen mit 1500 U/min laufen (siehe ELEKTROMOTOR). In der Ständerwicklung einer Synchronmaschine von 660 MW wird ein Strom von 22 kV und 19 000 A erzeugt. Der Durchfluß von Strömen dieser Größenordnung heizt die elektrischen Leiter stark auf. Erst durch die Entwicklung der Einrichtungen zur Generatorkühlung wurden die heutigen Nennleistungen ohne Überhitzung und Isolatorschäden möglich. Die Generatoren sind mit Wasserstoff unter Überdruck gefüllt, da dieser einen besseren Wärmeübergang als Luft bei geringeren Strömungsverlusten zwischen dem Läufer und dem Gas aufweist. Die Ständerwicklungen werden zur unmittelbaren Kühlung von Wasser durchflossen, das durch isolierte Leitungen außenliegenden Kühlern zugeführt wird. Bei größeren Anlagen sind auch die Läufer wassergekühlt.

An die Generatoren sind jeweils zwei Transformatoren angeschlossen. Einer transformiert einen Teil des Stromes auf eine niedrigere Spannung herunter. Damit werden Hilfsaggregate (z.B. Pumpen) für die Turbine und den Dampferzeuger betrieben. Den übrigen Strom transformiert der Haupttransformator zur Versorgung des Netzes hoch. Bei einem typischen Generatorentransformator von 660 MW, der mit einer Primärspannung von 22 kV arbeitet, hat der erste Transformator eine Sekundärspannung von 11 kV, und der Generatortransformator eine solche von 400 kV. Bei einer typischen

Anlage von 60 MW beträgt die Generator- und damit die Primärspannung 11 kV, die Sekundärspannungen liegen jeweils bei 6,6 kV und 132 kV.

Kohle, Öl und Erdgas

Mit Kohle, Erdöl und Erdgas betriebene Kraftwerke (im Unterschied zu Kernkraftwerken oder mit Gasturbinen arbeitenden Kraftwerken oft als 'herkömmliche' Kraftwerke bezeichnet) sind einander in wesentlichen Zügen ähnlich, wenn man von den unterschiedlichen Verfahren für den Umgang mit dem jeweiligen Brennstoff absieht. Zur Erzeugung von Wärme muß das Speisewasser sieden. Um dies zu erreichen, muß man ihm Latenzwärme zuführen. Latenzwärme, auch als Umwandlungswärme bekannt, ist die Wärme, die erforderlich ist, um z.B. eine Flüssigkeit aus dem flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergehen zu lassen. Sie leistet keine nutzbare Arbeit. Beim Kondensieren des Dampfes im Turbinenkondensator geht die Latenzwärme in das Kühlwasser über. Dabei entsteht der größte anteilige Energieverlust im Arbeitszyklus; er beträgt etwa 35% bis 40%.

Überhitzter Dampf aus dem Dampferzeuger wird an die Turbine geleitet, die mit einer Synchronmaschine zusammengekoppelt ist. Dampf tritt aus der Turbine mit Niederdruck aus, wird kondensiert und unter Druck an den Kessel zurück gepumpt. Dampftemperatur und -druck werden dabei so hoch gehalten, wie es sich mit den Sicherheitsgrenzen des Materials vereinbaren läßt, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Bei Verwendung von austenitischem Stahl (18% Mangan, 3% Chrom und 0,5% Kohlenstoff)



können Überhitzer bei Dampferzeugern von 660 MW-Anlagen Dampf von etwa 165 bar und 566°C erzeugen. Dampferzeuger in Kraftwerken sind diesen Werten entsprechend dimensioniert. Beispielsweise haben sie eine Breite von 18,3 m, eine Länge von 40 m und eine Höhe von 61 m. Der Überhitzer ist vollständig mit Schlangenrohren angefüllt, durch die Wasser zirkuliert.

Zuerst tritt das Speisewasser in einen Wasservorwärmer ein, wo es bis fast zum Siedepunkt erwärmt wird. Dann wird es an einen Dampfsammler oben im Kessel geleitet. Von dort geht es zu Verdampferrohren über der Feuerung, und zurück zum Dampfsammler, den 20% der Dampfmenge durch oben liegende Dampfleitungen verlassen. Die im heißesten Teil des Dampferzeugers befindlichen Überhitzerbündel erwärmen den Dampf noch zusätzlich.

Die Turbine hat drei auf einer gemeinsamen Welle laufende Stufen: den Hochdruckzylinder, den Mitteldruckzylinder und einen oder mehrere Niederdruckzylinder. Jede Stufe soll bei der jeweiligen Dampftemperatur die bestmögliche Leistung aus dem Dampf gewinnen. Aus dem Hochdruckteil austretender Dampf geht zurück an den Dampferzeuger, wo er wieder auf seine ursprüngliche Temperatur erhitzt wird. Auf diese Weise wird ohne Zufuhr weiterer Latenzwärme mehr Energie in den Kreislauf eingespeist, was den Gesamtwirkungsgrad verbessert. Aus dem Nacherhitzer geht der Dampf an den Mitteldruckteil, von dort unmittelbar in den Niederdruckteil, und anschließend in den Kondensator, der praktisch mit Unterdruck arbeitet. Durch das hohe Druckgefälle wird ein hoher Wirkungsgrad des Arbeitskreislaufs erreicht. Das Kondensat wird durch Vorwärmer erneut erwärmt und mittels Luftpumpen von in ihm gelöster Luft befreit, die zu

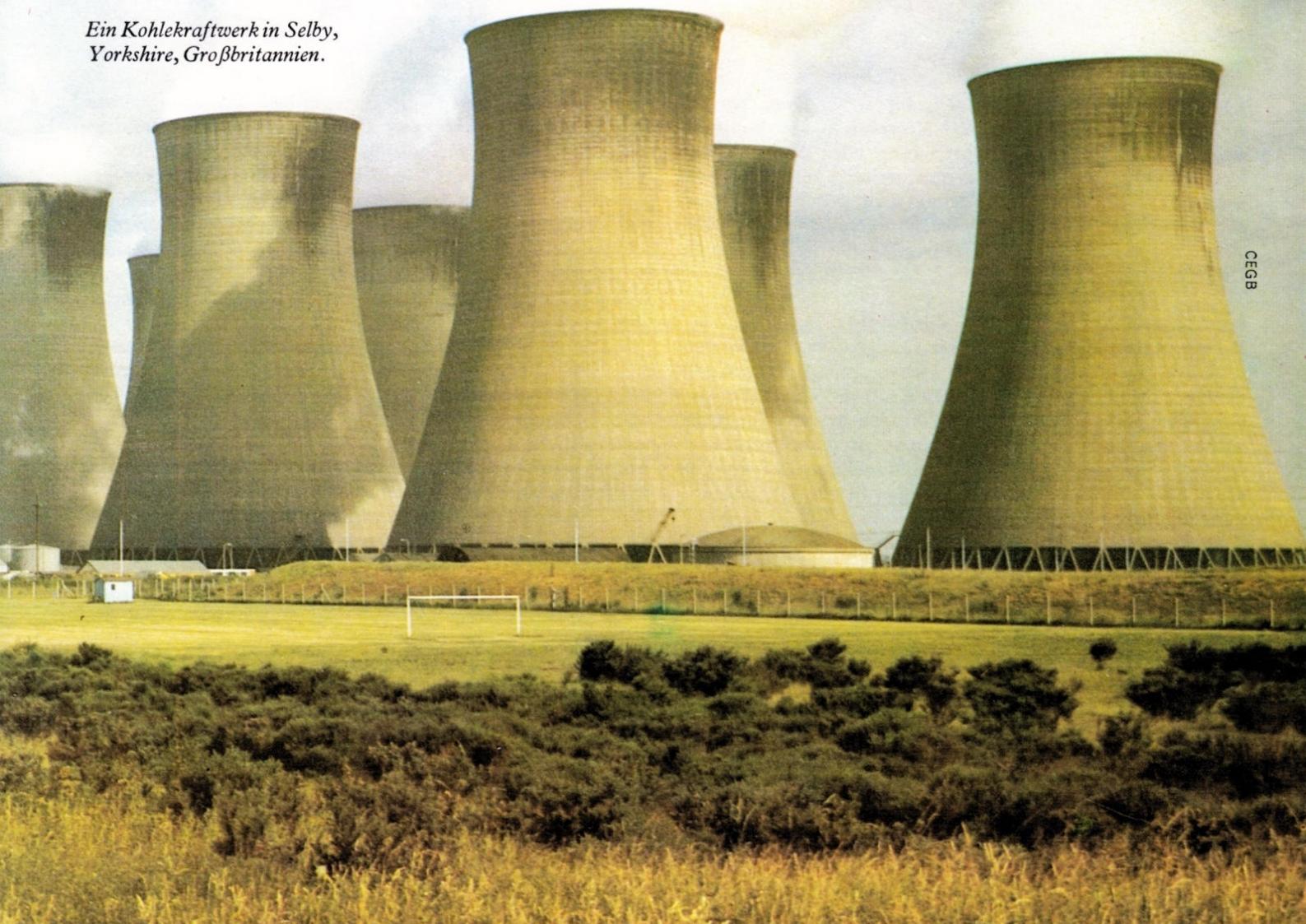
Korrosion im Dampferzeuger führen könnte. Zum Schluß geht es zur Speisepumpe des Dampferzeugers. Sie bringt es auf Anlagendruck. Ein Teil des Kondensats wird zur Analyse auf Sauberkeit entnommen und zur Aufrechterhaltung der geforderten Qualität und zur Verminderung von Korrosion im Dampferzeuger mit Chemikalien versetzt wieder in den Kreislauf eingespeist.

Der Wirkungsgrad wird durch die Verwendung von Dampf-Vorwärmleinrichtungen und Luftherzern verbessert. Vorwärmleinrichtungen werden mit Überschüßdampf versorgt, der aus der Turbine austritt. Dieser Dampf wärmt das Kondensat vor seinem Wiedereintritt in den Dampferzeuger vor. Damit geht seine Latenzwärme nicht verloren. In ähnlicher Weise wärmen Luftherzter die Verbrennungsluft vor und kühlen gleichzeitig am Ende der Dampferzeugeranlage die Rauchgase auf eine bestimmte Abgastemperatur ab.

Der Brennstoff wird mit einer genau bemessenen Luftmenge verbrannt, damit eine möglichst vollständige Verbrennung und eine möglichst geringe Schadstoffemission gewährleistet ist. Öl und Erdgas lassen sich im Brenner leicht verbrennen, Kohle muß für eine gute Verbrennung zuvor feingemahlen werden (Kohlenstaub). Aus der Kohleverbrennung bleibt eine sehr feine Asche zurück, die in elektrostatischen Ausfällapparaten gesammelt wird, damit sie sich nicht in der Umgebung des Kraftwerks niederschlägt. Diese Asche ist ein wertvolles Abfallprodukt, das für viele Zwecke verwendet werden kann: von der Landgewinnung bis zur Herstellung leichter Baustoffe.

Ein Kohlekraftwerk von 2000 MW verbrennt jährlich 4 Millionen Tonnen Kohle. Sie wird unmittelbar von der Zeche auf Zügen herangefahren, deren Wagons sich während

Ein Kohlekraftwerk in Selby,
Yorkshire, Großbritannien.



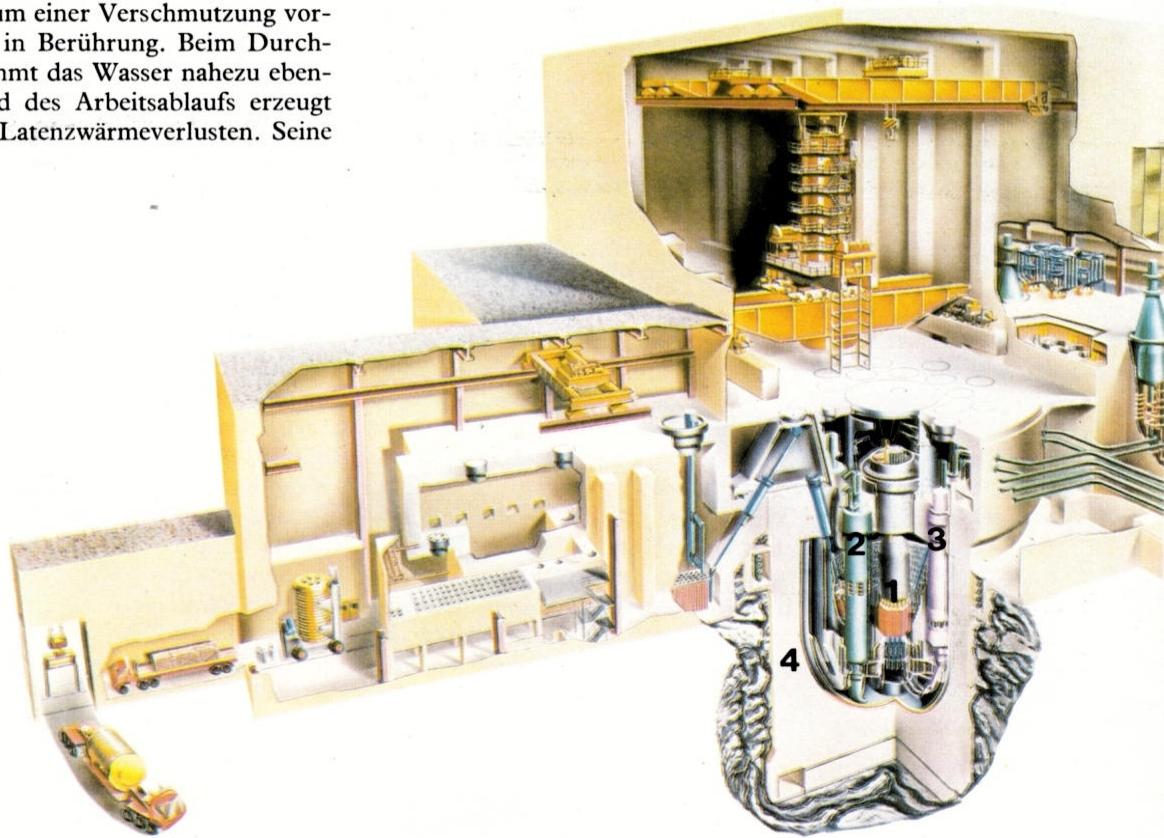
der Fahrt automatisch durch Bodenklappen entleeren können. Ein ölbetriebenes Kraftwerk entsprechender Größe würde 2,5 Millionen Tonnen Öl brauchen. Wenn möglich, werden solche Kraftwerke zur Versorgung über direkte Rohrleitungen in der Nähe von Raffinerien gebaut.

Das Kühlwasser läuft in den Kondensatoren durch Tauende von Rohren und kommt, um einer Verschmutzung vorzubeugen, nie mit dem Dampf in Berührung. Beim Durchlauf durch den Kondensator nimmt das Wasser nahezu ebensoviel Wärme auf, wie während des Arbeitsablaufs erzeugt wird. Dies liegt an den großen Latenzwärmeverlusten. Seine

Unten: Querschnitt eines 'Schnellen Brüters'. Die Sicherheit dieser Reaktoren ist noch umstritten.

S. 803 unten: Der Turbinensaal eines modernen Kohlekraftwerkes. Das Kraftwerk hat 2000 MW, mit vier Turbogeneratoren von je 500 MW.

1. Reaktorkern
2. Primärwärmearauscher
3. Primärumwälzpumpe
4. Abschirmung
5. Sekundärumwälzpumpe
6. Sekundärwärmearauscher (Dampferzeuger)
7. Turbogenerator



Temperatur steigt dabei um 8°C bis 10°C. Dort, wo das Kühlwasser unmittelbar großen Reservoirn wie beispielsweise dem Meer, einer Flussmündung oder einem großen Fluss entnommen wird, kann es ohne weiteres zurückgepumpt werden. Die Wärmeableitung erfolgt dann durch Vermischen mit dem übrigen Wasser. Ist dies nicht der Fall, muß das Kühlwasser durch Kühltürme geleitet werden, die die Hitze an die Umluft abgeben.

Kernkraftwerke

Bei einem Kernkraftwerk dient die vom ATOMREAKTOR erzeugte Wärme zur Dampferzeugung. Der so erzeugte Dampf geht dann wie bei einem herkömmlichen Kraftwerk durch die Turbine, den Kondensator und die übrigen Stufen. Da radioaktive Strahlung die Wartung eines Atomkraftwerkes erschwert, wird die Wasserqualität noch schärfer überwacht als sonst, damit möglichst keine Korrosion in den Dampferzeugern auftritt.

Es werden zwei Hauptarten von Atomreaktoren zur Elektrizitätserzeugung verwendet. Ihre jeweiligen Eigenschaften haben unmittelbare Auswirkungen auf die zu verwendenden Turbinen. Es handelt sich dabei um gasgekühlte und um wassergekühlte Reaktoren. Zu den gasgekühlten Reaktoren gehören beispielsweise Hochtemperaturreaktoren (HTR). Eine Abwandlung dieser Bauweise ist der Jülicher Kugelhaufenreaktor. Weitere gasgekühlte Reaktortypen sind die hauptsächlich in Großbritannien verwendeten Magnox-Reaktoren (Calder Hall) und AGR-Reaktoren (Windscale). Sowohl AGR- als auch HTR-Reaktoren arbeiten mit hinreichend hohen Temperaturen, um Dampf für moderne Ausführungen herkömmlicher Turbinen zu erzeugen, die sehr hohe Wirkungsgrade erzielen können.

Brennelemente und Dampferzeuger befinden sich in einem Druckgefäß aus Spannbeton. Die bei der atomaren Reaktion freigesetzte Wärme wird durch das unter sehr hohem Druck stehende Kühlgas abgeleitet, das dann an den Dampferzeuger gepumpt wird. Er hat drei Stufen: Vorwärmstufe, Verdampfer und Überhitzer. Im Unterschied zu herkömmlichen Dampferzeugern sind es aber lediglich unterschiedliche Teile desselben Rohrkörpers, eines Durchgangs-Dampferzeugers. Diese Anordnung hat man gewählt, um das Druckgefäß nicht mehrfach durchbrechen zu müssen.

Wassergekühlte Reaktoren sind zum Beispiel Siedewasserreaktoren, Druckwasserreaktoren, Siede-Schwerwasserreaktoren (wie der HALDEN-Reaktor) und CANDU (ein Schwerwasser-Druckrohr-Reaktor). Das Kühlmittel darf im Reaktorkern nicht sieden, weil der Dampf sonst eine zu große Anzahl Neutronen aufnahmē und damit die Reaktion bremsen würde. Man hält das Wasser mithin unter so hohem Druck, daß es nicht sieden kann. Trotz der Wandstärken von mehr als 30 cm können die Druckgefäße den bei herkömmlichen Anlagen üblichen Drücken nicht standhalten, daher arbeitet man mit niedrigeren Drücken und Dampftemperaturen.

Die Turbinen, die bei solchen Reaktoren verwendet werden, weichen insofern von den herkömmlichen ab, als größere Mengen geringerwertigen Dampfes durchgesetzt werden müssen. Dafür sind größere Laufschaufeln und Gehäuse erforderlich, deren umlaufende Teile einer höheren Belastung ausgesetzt sind. Bei den größten Anlagen wird die Schwierigkeit oft dadurch gelöst, daß eine Turbine an eine Vierpolmaschine gekoppelt ist, die mit halber Synchrongeschwindigkeit (also 1500 U/min bei 50 Hz) läuft. Der Wirkungsgrad des Kreislaufes ist geringer als bei gasgekühlten Reaktoren, andererseits sind die Kapitalkosten für den Bau der Anlage niedriger.

Der Bau von Kernkraftwerken ist kapitalintensiver als der von herkömmlichen Kraftwerken. Die Betriebskosten von Kernkraftwerken sind halb so hoch wie die von herkömmlichen Kraftwerken. Die Einsparung erfolgt bei den Brennstoffkosten. Die Energie von 15 000 t Kohle entspricht einer Tonne des in Magnox-Reaktoren verwendeten Brennmaterials. (Magnox = die Hülle der Brennelemente in graphitmoderierten, gasgekühlten Reaktoren, aus einer nicht-oxidierenden Magnesiumlegierung.) Dieser Wert liegt bei Druckwasser-

gefäß aus Spannbeton, wird die Standortfrage jetzt als weniger kritisch angesehen, so daß Kraftwerke in der Nähe von Verbrauchszentren errichtet werden und mit kürzeren Verteilerleitungen auskommen können. Kraftwerke fahren mit Grundlast, erzielen aber zugleich Spitzenlastwerte.

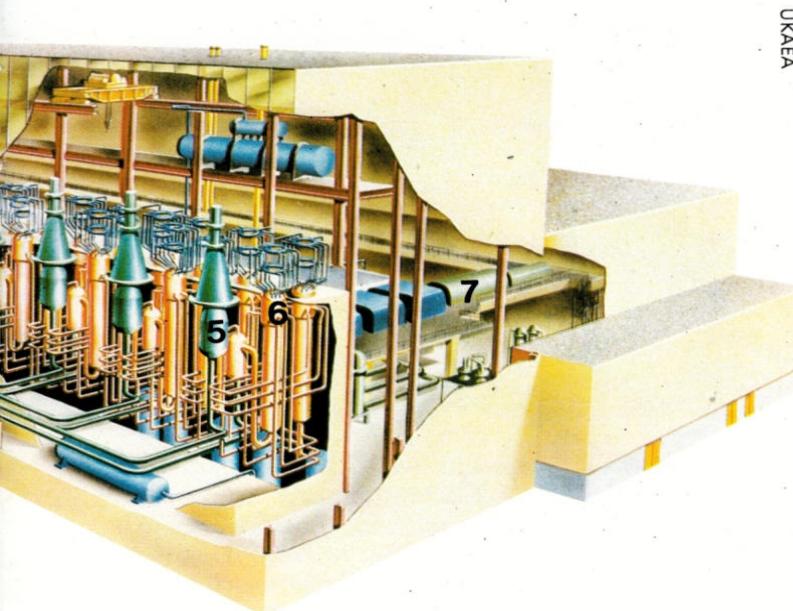
Wasserkraftwerke

Bei Druckwasserkraftwerken wird Wasser hinter einer Sperrmauer bis auf eine bestimmte Höhe (das Stauziel) gespeichert. Anschließend läßt man es durch Druckstollen oder Druckrohre zu den Wasserturbinen im Maschinenhaus am Mauernfuß laufen. Die lotrechte Höhe zwischen der Wasserfläche und der Turbine ist die Fallhöhe. Je größer die Fallhöhe ist, desto mehr Strom kann erzeugt werden. Je größer die aufgestaute Wassermenge hinter der Sperrmauer ist, desto größer ist der Energievorrat insgesamt.

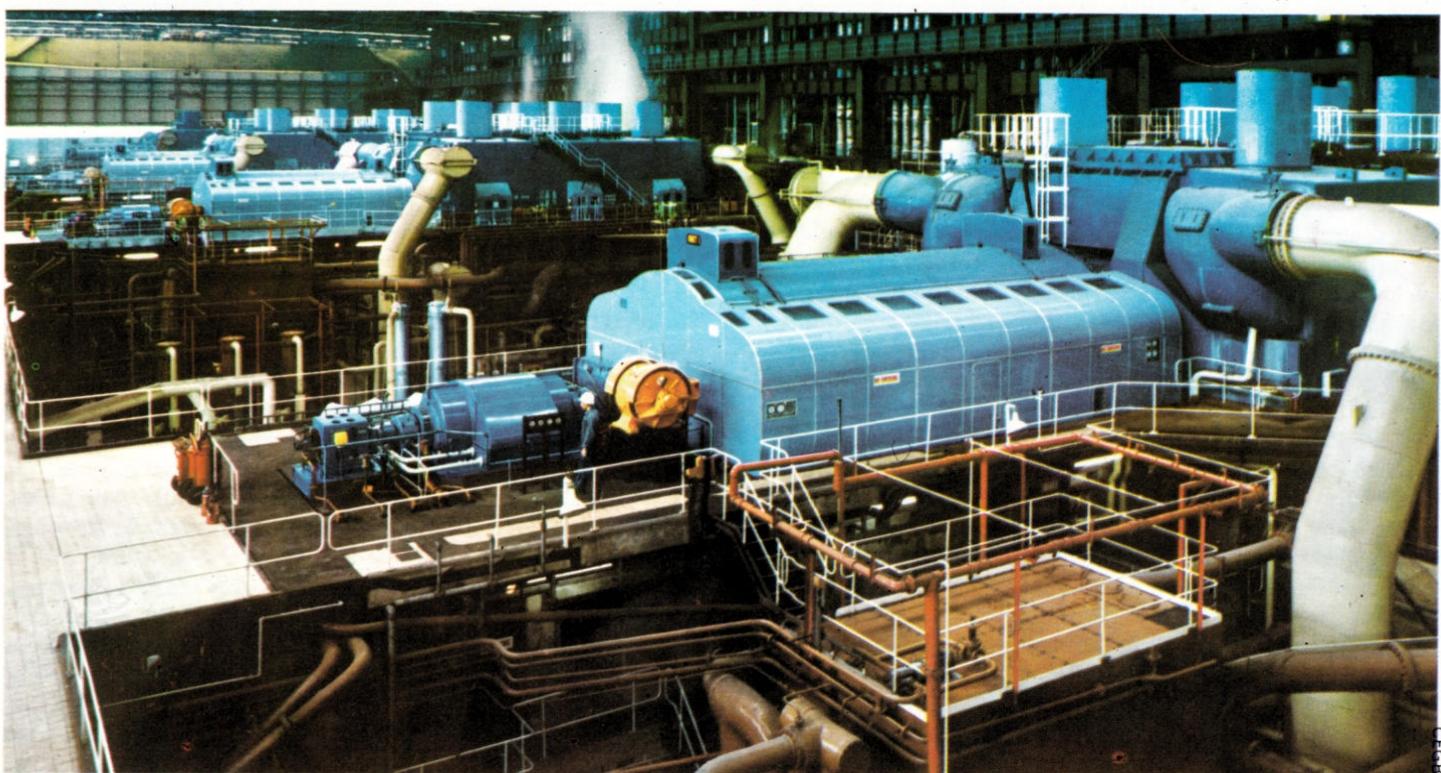
Laufwasserkraftwerke werden an Flüssen mit einem kräftigen Gefälle oder an einem mit Gefälle ablaufenden See errichtet, den der Zufluß natürlicher Gewässer speist. Man staut Flüsse hinter einer Sperrmauer auf, um ein Speicherbecken hinter ihnen zu schaffen. Günstige Stellen dafür sind solche, an denen man eine große Fallhöhe erreichen kann, ohne zugleich eine unnötig große Fläche zu überfluteten. Gut geeignet sind Flüsse, die durch tief eingeschnittene Täler fließen, wobei die Felswände die Begrenzung des Stausees bilden. Wasserturbinen arbeiten mit geringer Drehzahl (100 U/min bis 300 U/min). Daher müssen sie an Vielpolmaschinen angekoppelt werden, damit die Netzfrequenz erzeugt werden kann. Die Stromerzeugung kann mit Grundlast, Spitzenlast oder auf jahreszeitlicher Grundlage, in Abhängigkeit von der über das Jahr verfügbaren Wassermenge und der Verbindung zwischen dem Kraftwerk und einer Bewässerungs- oder Wasserregulierungsanlage, erfolgen.

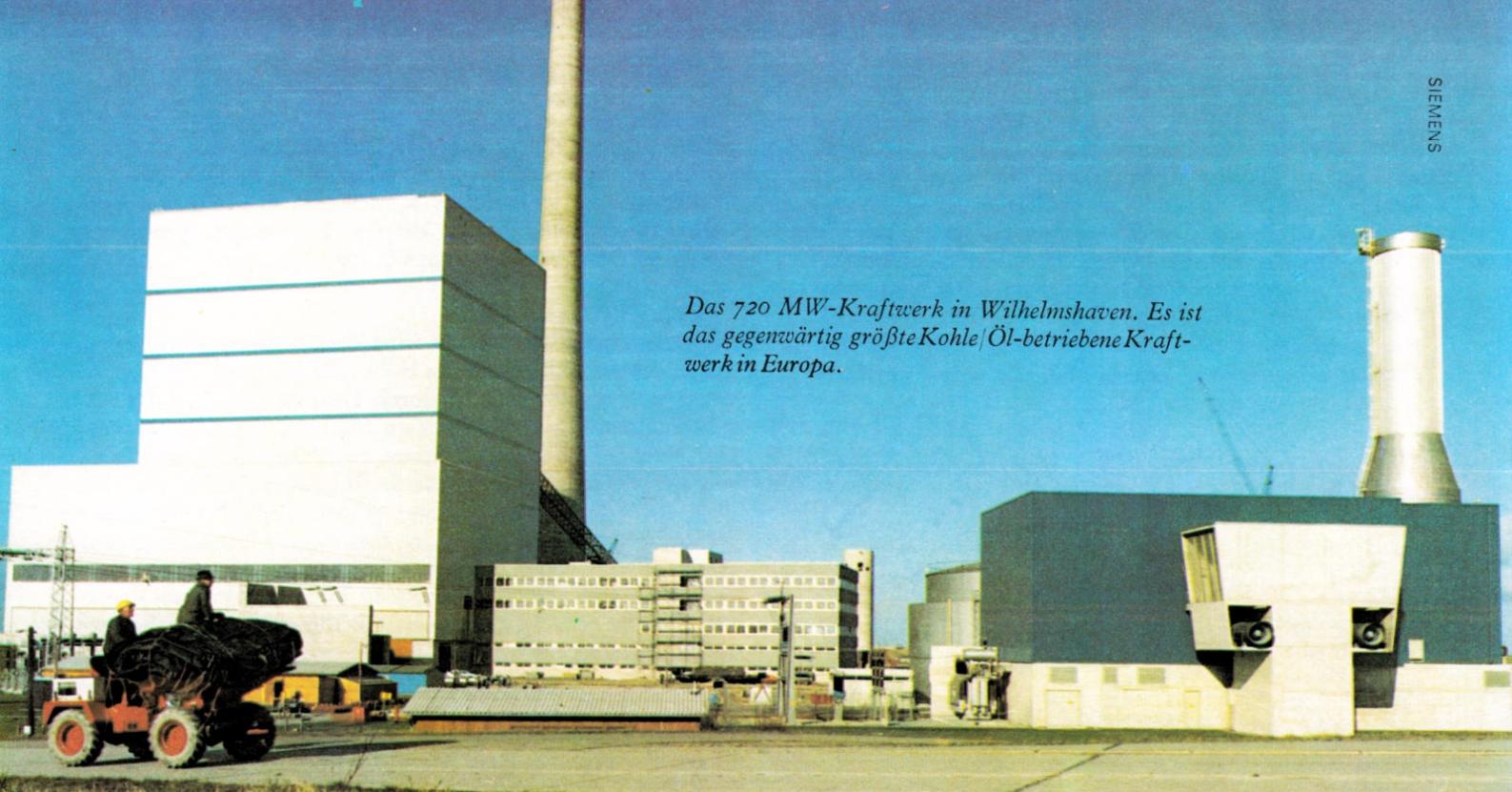
Pumpspeicherwerke

Pumpspeicherwerke sind ein ausgezeichnetes Beispiel für Energiespeicherung. Kraftwerke dieser Art finden sich in Gebirgsgegenden, wo zwei Speicherbecken mit großem Höhenunterschied durch Druckrohre miteinander verbunden werden können. Die Wasserturbine und der Generator laufen mit Pumpen auf einer gemeinsamen Welle. Während der Nacht,



und AGR-Reaktoren noch höher. Als Sicherheitsvorkehrung wurden anfänglich Kernkraftwerke entfernt von dichtbevölkerten Gebieten und damit von Verbrauchszentren errichtet. Zur Versorgung mit Kühlwasser suchte man die Nähe der Küste oder großer Flüsse (Esenhamm an der Unterweser, Brokdorf an der Elbe). Wegen der geringen Mengen an Kernbrennstoff, die benötigt wurden, war der Transport unproblematisch. Beispielsweise braucht man für einen AGR-Reaktor von 660 MW statt 750 Kohlezügen nur einen Lastwagen. Wegen verbesserter Konstruktion, insbesondere der Druck-





Das 720 MW-Kraftwerk in Wilhelmshaven. Es ist das gegenwärtig größte Kohle/Öl-betriebene Kraftwerk in Europa.

wenn der Strombedarf gering ist — es sind dann freie Spitzen bei der Stromerzeugungskapazität verfügbar — wird Wasser aus dem unteren Speicherbecken in das obere gepumpt. Dabei dient der Generator als Pumpenmotor (die Unterscheidung zwischen Generator und Motor ist willkürlich, beide Maschinen können prinzipiell beide Aufgaben erfüllen). Tagsüber, wenn bei hoher Netzbelaufung mit höheren Kosten und geringerem Wirkungsgrad arbeitende Kraftwerke ihre Kapazitäten ins Netz einspeisen, lässt man Wasser aus dem höhergelegenen Speicherbecken durch die Turbine in das tiefergelegene laufen und kann damit zur Deckung des Spitzenbedarfs beitragen. Wenn auch der Gesamtwirkungsgrad der Anlage lediglich 70% dessen beträgt, der sonst erzielbar wäre, ergibt sich letztlich eine Einsparung dadurch, daß Wasser mit billigem Strom hochgepumpt und Elektrizität dann erzeugt wird, wenn die Erzeugung zusätzlicher Einheiten teuer ist. Eine solche Anlage erfordert hohe Kapitalinvestitionen, aber sie kann zur Deckung rasch auftretenden Bedarfs (Reservemarge, z.B. bei Ausfall anderer Kraftwerke u.ä.) und als Spitzenlastkraftwerk herangezogen werden.

Gasturbinen

Von Gasturbinen angetriebene Generatoren haben Leistungsdaten von 2 MW bis 70 MW oder 80 MW, in besonderen Fällen sogar 175 MW. Entweder arbeiten sie mit speziell für diesen Zweck gebauten Industrie-Gasturbinen oder mit umgerüsteten Flugzeugtriebwerken. Das Funktionsprinzip einer Gasturbine sieht wie folgt aus: Luft wird angesaugt, im Turboverdichter verdichtet und zur Brennkammer weitergeleitet. Dort wird der Brennstoff eingespritzt, entzündet und verbrannt. Die Verbrennungsgase treiben die Arbeitsturbine und den auf derselben Welle sitzenden Turboverdichter an. Der Antrieb des Generators erfolgt entweder unmittelbar über die Welle der Arbeitsturbine und ein zwischengeschaltetes Getriebe oder mittelbar dadurch, daß die Verbrennungsgase hoher Temperatur an eine weitere, mit dem Generator verbundene Turbine geleitet werden. Eine dieser Lösungen muß gewählt werden, weil die Drehzahl der Turbine sehr viel höher liegt als die der Synchronmaschine. Serienmäßig hergestellte Flugzeugtriebwerke werden so umgebaut, daß ein ununterbrochener Betrieb auf Meereshöhe möglich ist. Zugleich werden sie zur Verlängerung des Zeitraumes zwischen zwei Grundüberholungen in ihrer Leistung gedrosselt und

auf die Verbrennung von industrieüblichem Brennstoff eingestellt wie z.B. Brennöl, Leichtbenzin oder Erdgas. Typische Leistungswerte sind für ein Avon-Triebwerk 12 MW, für ein Olympus-Triebwerk 17 MW. Mehrere Triebwerke, die in Serie einen Generator antreiben, ermöglichen Leistungen bis 70 MW. Nach 2000 Betriebsstunden werden die Gasturbinen zu einer Grundüberholung ausgebaut. Industrieturbinen sind standfester, darin eher kleinen Dampfturbinen vergleichbar, und haben eine niedrigere Arbeitstemperatur als die Flugzeugtriebwerke: 600°C bis 800°C, verglichen mit 900°C bis 1100°C. Grundüberholungen sind erst nach 80 000 Betriebsstunden erforderlich.

Der Wirkungsgrad von Gasturbinen liegt bei 20% bis 26%. Da sie auf Raffinerie-Brennstoffe angewiesen sind, ist ihr Betrieb teuer. Ihre Baukosten liegen dafür vergleichsweise niedrig. Sie betragen nur etwa die Hälfte der bei herkömmlichen Anlagen aufzubringenden Kosten. Weil sie rasch hochgefahren werden können, sind sie zur Deckung der Spitzenlast geeignet. Ihr jährlicher Ausnutzungsgrad (durchschnittliche Last dividiert durch Spitzenlast) liegt bei etwa 10%. Das Arbeitsmedium einer Gasturbine ist Luft. Sie saugt fünfmal so viel Luft an, wie für die Verbrennung erforderlich ist. Der Rest findet sich im Auspuff wieder. Die Hauptverluste bei diesem Arbeitsprinzip treten durch die hohen Abgastemperaturen auf. Zum Teil lassen sie sich im Auspuffbetrieb mit Abwärmeausnutzung vermeiden.

Abwärmeausnutzung

Bei einem Kraftwerk, das im Auspuffbetrieb mit Abwärmeausnutzung arbeitet, geht die Abwärme der Turbinen-Auspuffgase zu einem Abwärme-Dampferzeuger. Der dort erzeugte Dampf wird an eine Dampfturbine geleitet. Der hohe Luftanteil im Abgas gestattet eine weitere Verbrennung von Brennöl in diesem Dampferzeuger, womit die Leistungsabgabe der Anlage gesteigert wird. Im Normalfalle kann ein Dampferzeuger, der die drei- bis vierfache Leistung dessen erbringt, was die Abwärme liefert, mit einem Gesamtwirkungsgrad von 35% bis 40% betrieben werden. Bei solchen Anlagen vermag die Gasturbine sehr rasch, Spitzenlaststrom zu liefern; zugleich arbeitet der Dampferzeuger mit höherem Wirkungsgrad, wenn auch weniger flexibel. Falls eine Gasturbine mit mäßiger Leistung gefahren wird, kann eine Anlage für kleinere Netze annähernd im Grundlastbereich arbeiten.

KRAN

Man kann sich kaum vorstellen, wie auch nur eines der riesigen Bauwerke der Gegenwart ohne Zuhilfenahme von Hebezeugen, insbesondere von Kränen, hätte gebaut werden können.

In Handel und Industrie tritt die Notwendigkeit, schwere Lasten zu heben und zu befördern, in so vielerlei Gestalt auf, daß eine ganze Anzahl unterschiedlicher Hebezeuge dafür entwickelt worden ist. Meist lassen sich Kräne, mit zahlreichen Abwandlungen, in zwei Hauptgruppen unterteilen: in Brückenkräne und in Auslegerkräne.

Jede Art von Kran läßt sich mit einer beliebigen Hebevorrichtung ausrüsten. An den Haken können Matten, Netze, Hanf-, Nylon- oder Stahlseile gehängt werden. Zum Heben von Massen- und Schüttgütern wie Erz, Kies, Erde usw. verwendet man Zweischalengreifer oder Greifkörbe. Sie bestehen aus zwei Teilen, die über ein Scharnier beweglich miteinander verbunden sind, und können vom Kranführer bedient werden.

Brückenkräne

Zur flurfreien Förderung in Maschinenhallen, Stahlwerken und Fabriken aller Art arbeitet man mit elektrisch angetriebenen, fahrbaren Brückenkränen. Auf ihnen fährt eine Laufkatze in Brückenlängsrichtung. Sie trägt das Hubwerk zum Heben und Senken der Last. Entweder kann die Brücke selbst über hochgelegene Kranbahnen durch die gesamte Länge der Halle fahren oder aber die Laufbahn des Kranportals ist Teil der Hallenkonstruktion. So vermag der Kran eine Last an nahezu beliebiger Stelle aufzunehmen und abzusetzen, ohne dafür Bodenfläche zu beanspruchen.

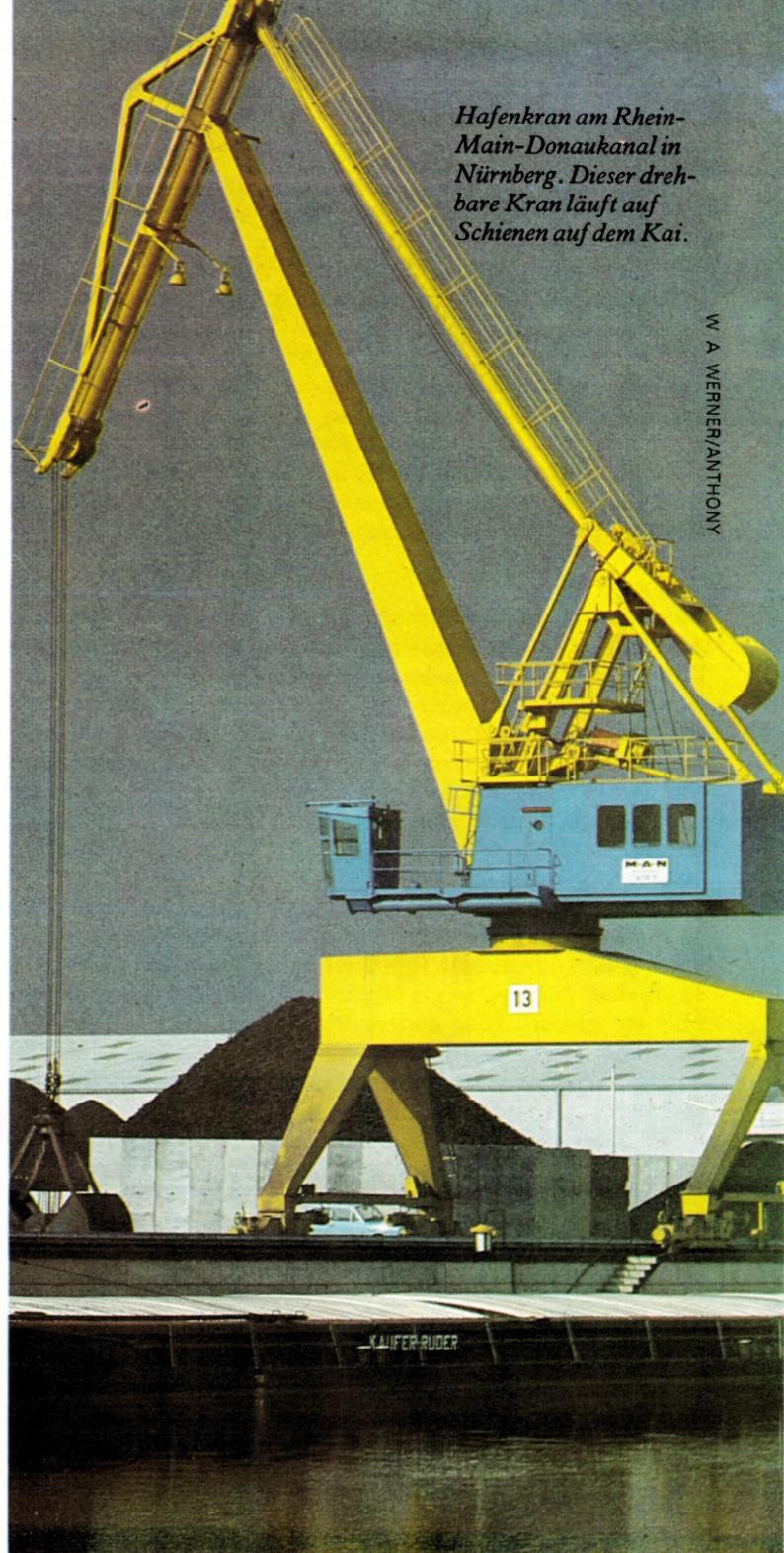
Ein elektrisch betriebener flurfreier Brückenkran läßt sich über von der Brücke herabhängende Bedienungsleitungen und -schalter oder von einem Kranführer in einem oben an der Brücke befindlichen Führerhaus aus steuern. Ein Brückenkran kann während der gesamten Schicht kontinuierlich eingesetzt werden, beispielsweise, um in einer Gießerei Gußpfannen mit flüssigem Metall zu transportieren. Er kann aber auch im Gelegenheitsbetrieb arbeiten, zum Beispiel, wenn bei der Errichtung von Schwermaschinen große Teile transportiert werden müssen.

Ein Brückenportal kann sich, wie auf Ladeplätzen üblich, außerhalb von Hallen befinden. Normalerweise laufen solche Kräne im Freien auf an Portalstützen angebrachten Rädern, meist auf eigenen Schienen. Solche Kräne heißen Schwallastkräfte. Sie sind oft so ausgelegt, daß die Brücke nicht nur zwischen den Portalstützen liegt, sondern auf beiden Seiten über sie hinausreicht. Hiermit wird der Arbeitsbereich vergrößert. Für diese Bauweise sind an den Stützen oder am Ende der Brücke Auslegergewichte oder unterfangende Stützvorrichtungen erforderlich.

Auslegerkräfte

Auslegerkräfte sieht man am häufigsten, weil sie häufig nicht ortsfest sind und meist im Freien verwendet werden. Der Ausleger ist zur Gewichtseinsparung fast immer als Fachwerkkonstruktion ausgeführt. Er wird zur Veränderung des Arbeitsradius in der Höhe und Länge verstellt und zusammen mit dem Traggerüst im Kreis gedreht (Schwenkkran, Drehkran). Bei allen Kränen geschieht das Heben über ein Stahlseil, das auf einer Trommel im Traggerüst aufgewickelt ist. Der Hauptzweck der Verstellung bei einem Auslegerkran besteht darin, den Ausleger mit der Last an jede beliebige Stelle des Arbeitsbereichs bringen zu können.

Die Fachwerkkonstruktion des Auslegers ist von großer Festigkeit. Die Gewichtersparnis ist wichtig, weil der Kran



Hafenkran am Rhein-Main-Donaukanal in Nürnberg. Dieser drehbare Kran läuft auf Schienen auf dem Kai.

W A WERNER/ANTHONY

umso mehr heben kann, je weniger der Ausleger wiegt. Der Ausleger besteht aus mehreren Teilen und kann, falls erforderlich, durch das Einsetzen von Zwischenstücken verlängert werden. Die einzelnen Stücke sind jeweils 6 m lang. Ihre Montage muß am Boden erfolgen, was viel Platz beansprucht.

Teleskopkräfte

Fahrkräfte sind, auch wenn sie auf gummibereiften Rädern laufen, viel zu langsam, um auf eigener Achse zum Einsatzort zu fahren. Daher werden sie im allgemeinen auf Tiefladern zu den Baustellen gebracht. In jüngerer Zeit wurde der Teleskop-Autokran auf eigenem Kranwagen eingeführt. Er kann an die Einsatzstelle fahren und dort den Ausleger in etwa einer Minute hydraulisch zu voller Länge ausfahren. Diese äußerst beweglich einsetzbaren Kräne sind günstig und wirtschaftlich für Einsätze, bei denen nur eine geringe Anzahl von Hebevorgängen innerhalb kurzer Zeit verlangt wird. Man

muß bedenken, daß bei einem Bauunternehmen viel Kapital in Maschinen und in schwerem Gerät gebunden ist. Daher sind die Betriebskosten umso geringer, je vielseitiger eine Maschine eingesetzt werden kann.

Die Nachteile des teleskopierbaren Autokranks liegen darin, daß einerseits der Kran recht klein und andererseits der Spitzenausleger im Verhältnis zum Gittermast recht schwer ist. Damit ist sein Einsatzbereich etwas eingeschränkt. Um ihn möglichst auszuschöpfen, verfügt der Kran über hydraulisch ausfahrbare Teleskopausleger, an deren Enden sich jeweils eine hydraulische Stützvorrichtung befindet. Bei ausgefahrenen Auslegern kann der Kran von seinem Massenschwerpunkt aus die volle Reichweite ausnutzen, ohne durch das Gewicht der Last umzustürzen.

Turmkräne

Zum Bau von hohen Gebäuden arbeitet man mit Turmkränen. Am Traggerüst des Krans befinden sich zwei waagerecht von ihm ausgehende, einander gegenüberliegende Ausleger: der längere Laufkatzausleger und der kürzere Gegengewichtsausleger. Am Laufkatzausleger läuft das Hubwerk an einer Laufkatze zwischen dem Traggerüst und der Auslegerspitze hin und her. Die Höchstlast kann gehoben werden, wenn die Laufkatze sich nahe dem Gittermast befindet. Die Nutzlast nimmt umso mehr ab, je weiter die Katze sich vom Mast entfernt.

Bis zu einer Höhe von 61 m kann der Turm frei stehen. Er ist in diesem Falle am Turmfuß in einem Betonklotz oder auf einer Ballastgrundplatte verankert. Oberhalb dieser Höhe muß er an einer oder mehreren Stellen fest mit dem Gebäude verbunden werden. Eine andere Möglichkeit liegt in der Verwendung eines Kletterkrans oder Stockwerkkrans, der in einem Treppen- oder Fahrstuhlschacht des zu errichtenden Gebäudes mit wachsender Höhe nach oben steigt.

Bei Derrick- oder Mastenkränen ist die Säule ebenfalls drehbar, sie wird aber von einer Seilverspannung oder einem dreibeinähnlichen Stützgerüst gehalten. Seile halten auch den in seiner Ausladung verstellbaren Ausleger. Sie sind an der Spitze der Säule befestigt. Durch die Verspannung ist der Drehwinkel zwar auf 280° beschränkt, die Konstruktion hat aber den Vorteil, daß die Höchstlast in einem großen Radius gehoben werden kann, weil die Seile oder das Stützgerüst weit hinter der Säule befestigt sind oder durch Ballast gehalten werden. Man kann diesen Kran auch am stählernen Tragwerk des Gebäudes anbringen und mit dem Bau nach oben klettern lassen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, ihn auf Stahlbau-Turmgerüste zu setzen, die entweder ortsfest oder auf Schienen beweglich sind.

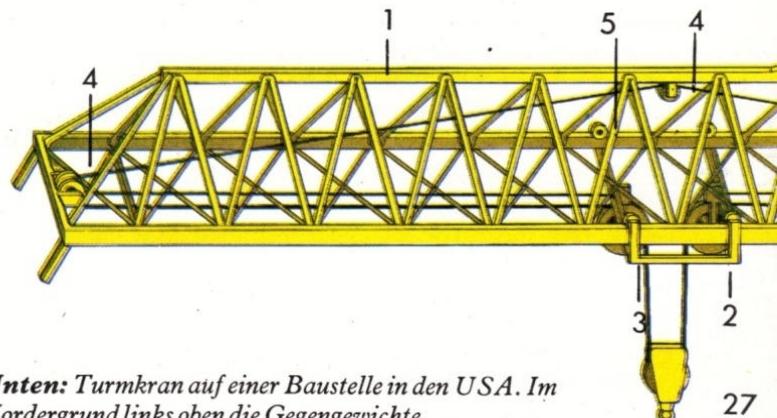
Hafenkräne

Für rasches Beladen und Löschen von Schiffen wird oft ein Wippdrehkran verwendet. Bei diesem Kran ist der Ausleger um eine oder mehrere Achsen schwenkbar angeschlossen, so daß er unter Last verstellt werden kann. Dabei verläuft der Lastweg annähernd waagerecht. Ladekräne können als Verladebrücken ausgeführt sein, außerdem findet sich hier oft ein Portal- oder Halbportalkran. Die letztergenannte Ausführung ruht mit einer Seite auf dem Kai und mit der anderen auf einem Gerüst, das höher liegt als der Kai.

Zum Löschen von Massengütern kann ein Greifkran eingesetzt werden. Er befördert die in seinem Greifkorb oder Zweischalengreifer zu transportierenden Güter über größere Strecken. Die Last hängt bei diesem Brückenkran an einer Laufkatze.

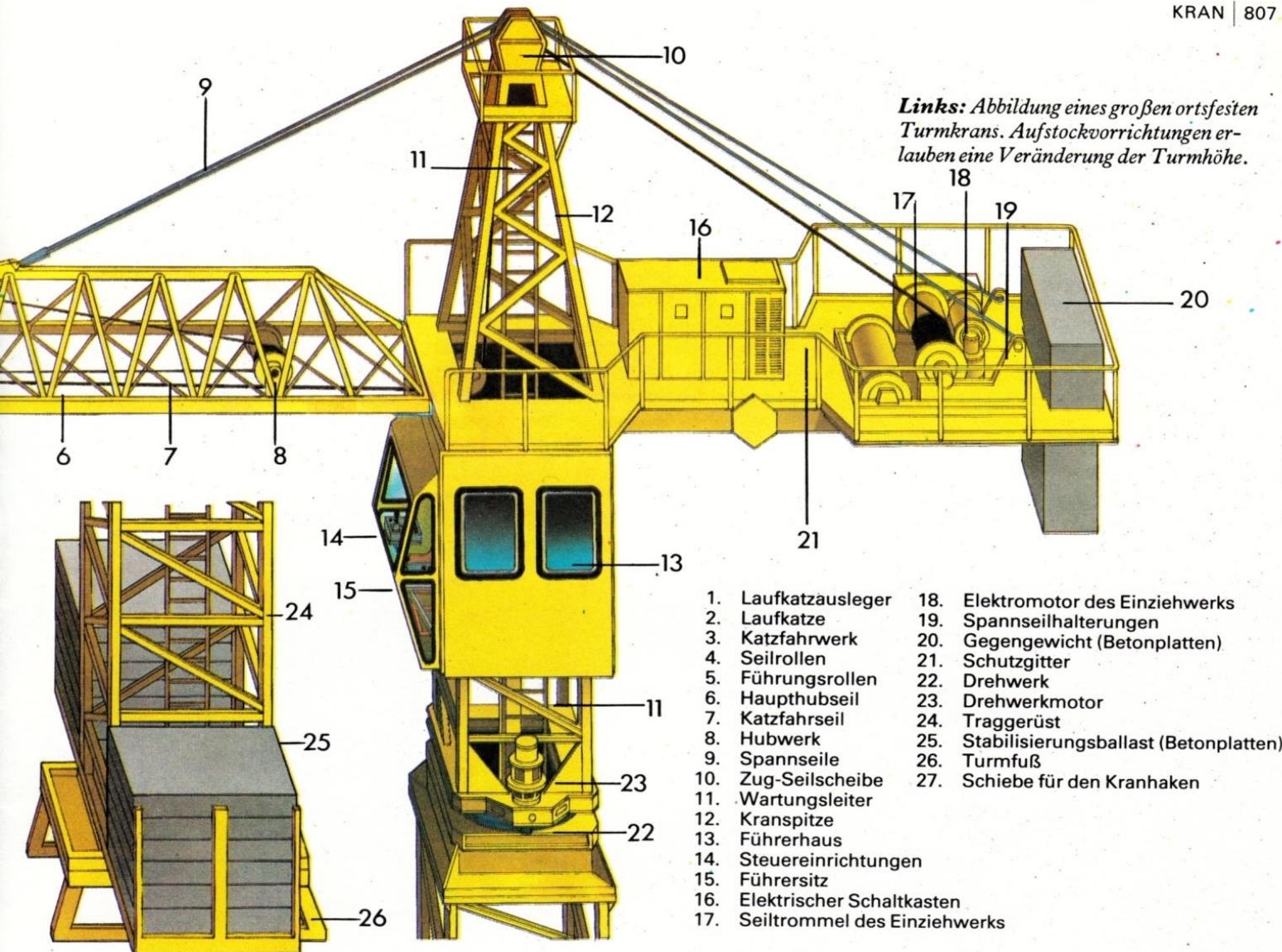
Immer mehr Güter werden, vor allem im Seeverkehr, in Containern von bestimmter Normgröße transportiert. Für ihre Abfertigung gibt es spezielle Kranarten: Containerkräne, die auf Schienen laufen, sowie Uferkräfte (auch Umschlag-

krane genannt), die die Container unmittelbar auf oder in das Schiff laden können. Diese Kräne sind in der Lage, Container rasch und schonend umzuschlagen.



Unten: Turmkran auf einer Baustelle in den USA. Im Vordergrund links oben die Gegengewichte.





Unten: Containerkran, der auf Schienen läuft und eine Brückenkonstruktion besonderer Art ist.



KREISEL

Der sich drehende Kreisel hat einige erstaunliche Eigenschaften — er kann auf einer Bleistiftspitze balancieren und die Drehung der Erde sichtbar machen.

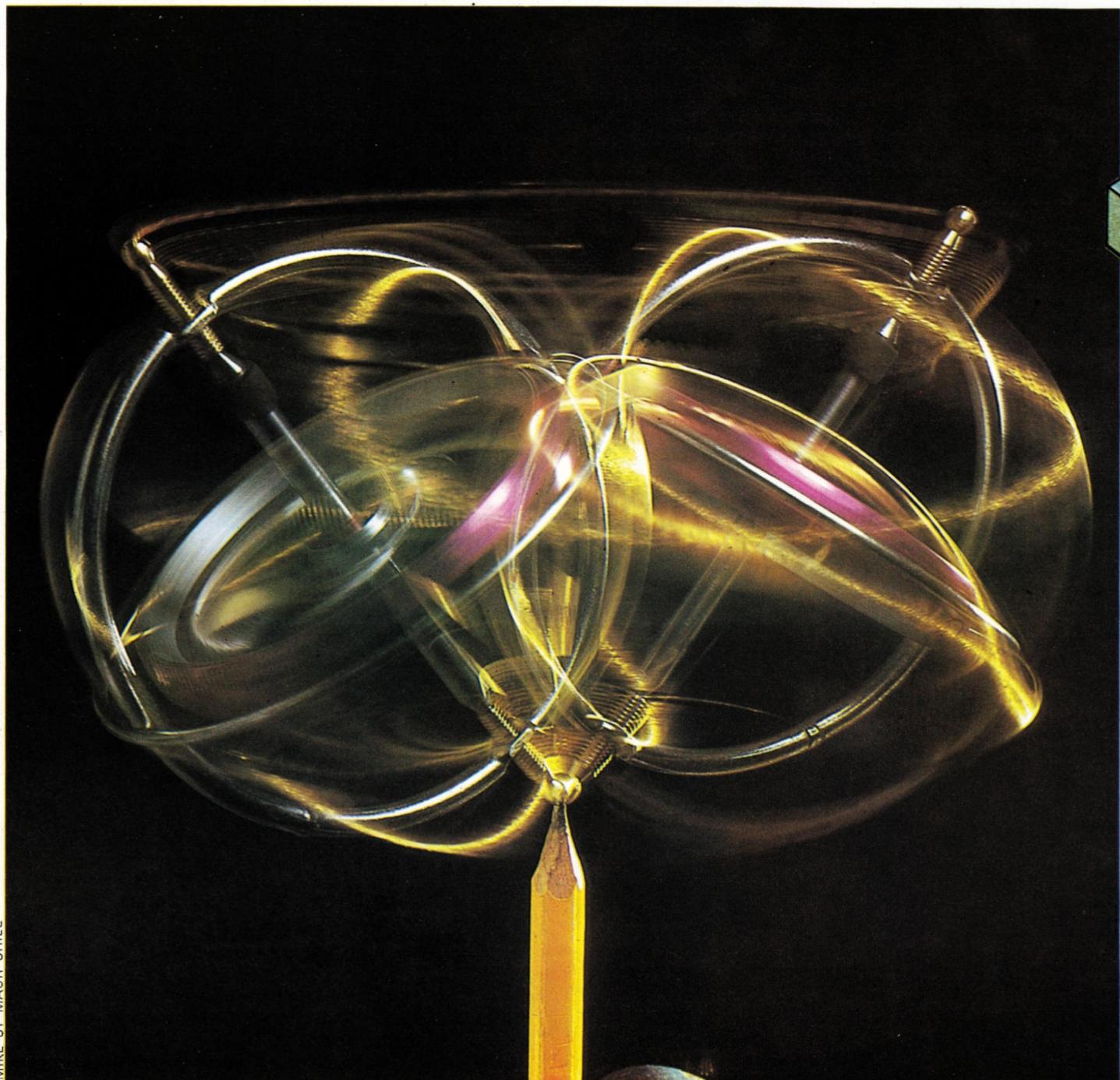
Unter einem Kreisel versteht man im allgemeinen ein Schwungrad, das sich mit hoher Geschwindigkeit um seine Achse dreht. Bei einem wissenschaftlichen Kreisel ist das Schwungrad so aufgehängt, daß seine Achse jede beliebige Richtung im Raum annehmen kann, während bei einem Spielzeugkreisel ein Ende der Schwungradachse meistens in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt ist. Die Erde, der Mond und

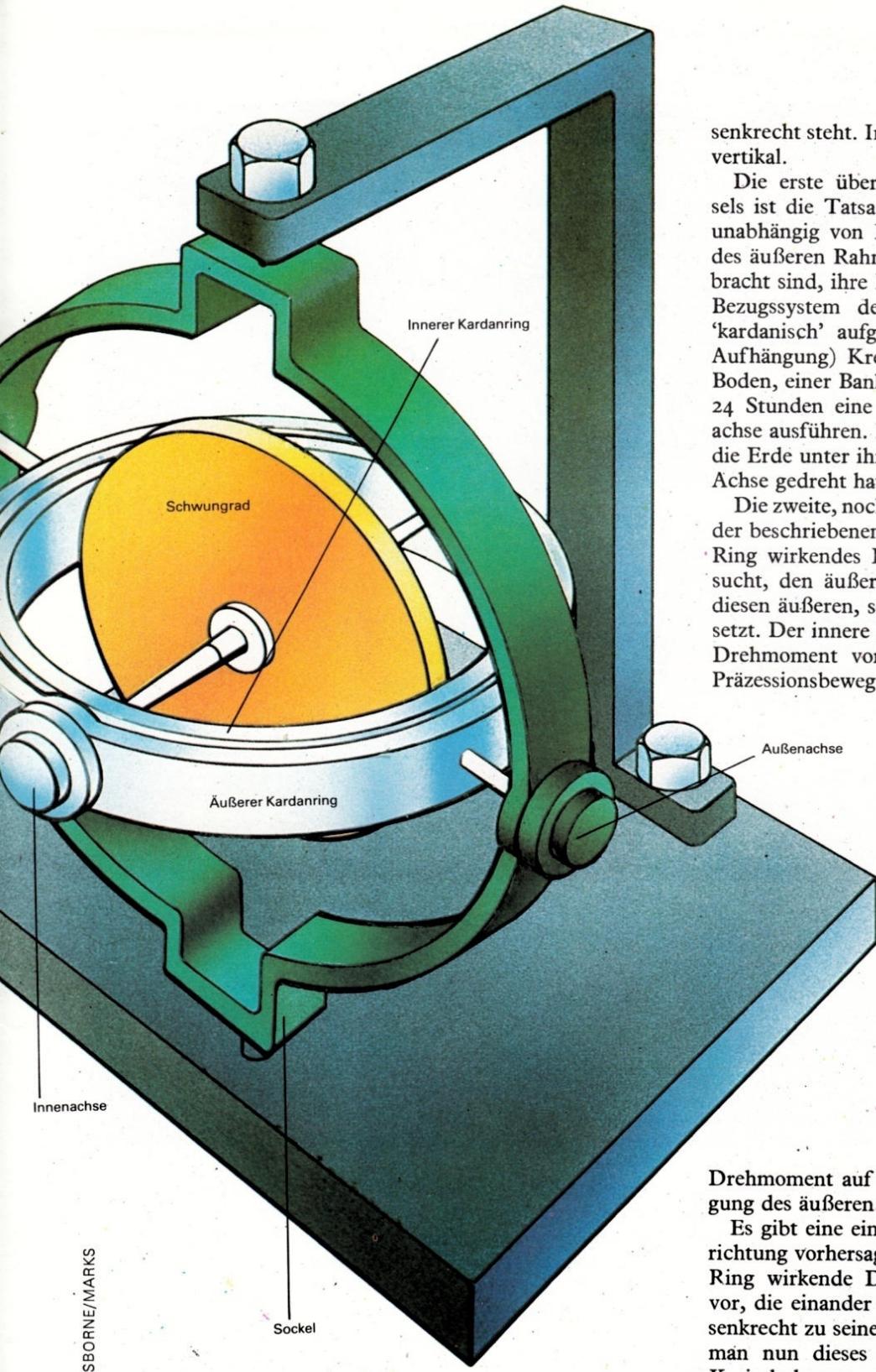
Ein Spielzeugkreisel, dessen Schwungrad mit einer um die Achse gewickelten Schnur zur Drehung gebracht wurde, in drei Phasen einer Präzessionsbewegung, die durch Mehrfachfotografie in einem Bild vereint sind.

andere Himmelskörper, die sich um ihre eigene Achse drehen, verhalten sich ebenfalls wie Kreisel.

Kreiseleigenschaften

Wir stellen uns ein Schwungrad vor, das sich um seine eigene Achse dreht und auf der einen Seite von einem Stab unterstützt wird. Wenn die Achse vertikal ist, wird das Schwungrad wie ein Kinderkreisel auf dem unterstützten Ende das Gleichgewicht halten. Nimmt man an, daß die Achse in die horizontale Ebene gedreht wird, erwartet man, daß die Schwerkraft das Schwungrad von seinem Unterstützungspunkt kippt; dies passiert aber keineswegs. Die Schwungradachse bleibt horizontal — sie widersteht offenbar der Wirkung der Schwerkraft — und dreht sich gleichzeitig in der horizontalen Ebene um ihren Unterstützungspunkt. Diese Drehbewegung heißt 'Präzession'. Es ist eine Eigenschaft aller Kreisel, daß eine Kraft (die Schwerkraft im obigen Beispiel), die senkrecht zur Drehachse wirkt, eine Bewegung nicht in die erwartete Richtung, sondern in eine Richtung senkrecht zur Drehachse und senkrecht zur angewandten Kraft bewirkt. Dieser Effekt





OSBORNE/MARKS

beruht auf dem 'Drehimpuls' des rotierenden Schwungrades. Jede senkrecht dazu wirkende Kraft sucht die Richtung des Drehimpulses, also die Lage der Drehachse, zu ändern, wodurch die Bewegung im rechten Winkel zur Drehachse und zur Kraftrichtung entsteht.

Der wissenschaftliche Kreisel

Beim wissenschaftlichen Kreisel ist ein Schwungrad, das sich z.B. um eine horizontale Nord-Süd-Achse dreht, in einem 'inneren Ring' aufgehängt, einem einfachen Metallring. Der innere Ring kann dann selbst noch einmal drehbar um eine zur Drehachse des Rades senkrechte Achse aufgehängt sein, z.B. um eine Achse in Ost-West-Richtung. Die Lager des inneren Ringes befinden sich in einem 'äußeren Ring'. Dieser zweite Ring ist nochmals um eine Achse frei drehbar, die zur Kreiselachse und zur Drehachse des inneren Ringes

senkrecht steht. In unserem Beispiel wäre die dritte Achse also vertikal.

Die erste überraschende Eigenschaft eines solchen Kreisels ist die Tatsache, daß die Drehachse des Schwungrades unabhängig von Kipp-, Dreh- und Translationsbewegungen des äußeren Rahmens, auf dem die äußeren Drehlager angebracht sind, ihre Lage fest beibehält — 'fest' gegenüber dem Bezugssystem der Fixsterne; einem 'Inertialsystem'. Ein 'kardanisch' aufgehängter (so nennt man die beschriebene Aufhängung) Kreisel wird demnach also, wenn er auf dem Boden, einer Bank oder einem Tisch fest steht, innerhalb von 24 Stunden eine scheinbare volle Umdrehung einer Drehachse ausführen. Damit wird natürlich nur deutlich, daß sich die Erde unter ihm in derselben Zeit um 360° um ihre eigene Achse gedreht hat.

Die zweite, noch überraschendere Eigenschaft eines Kreisels der beschriebenen Art besteht darin, daß ein auf den äußeren Ring wirkendes Drehmoment, also ein Kräftepaar, das versucht, den äußeren Ring um seine Lager zu drehen, nicht diesen äußeren, sondern den inneren Ring in Bewegung versetzt. Der innere Ring dreht sich um seine Lager, solange ein Drehmoment von außen wirkt. Es handelt sich um eine Präzessionsbewegung. Die Wirkung ist auch umkehrbar: Ein

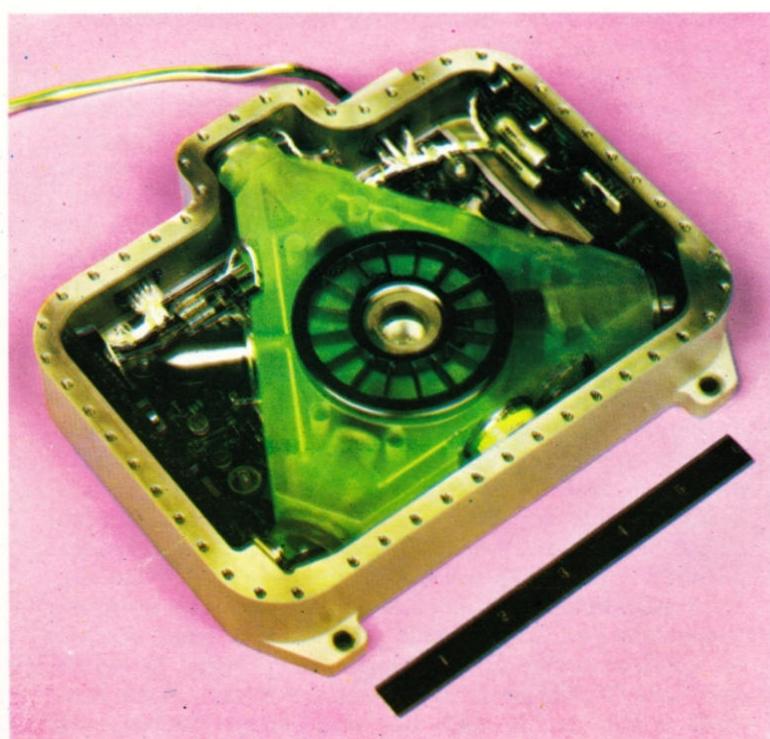
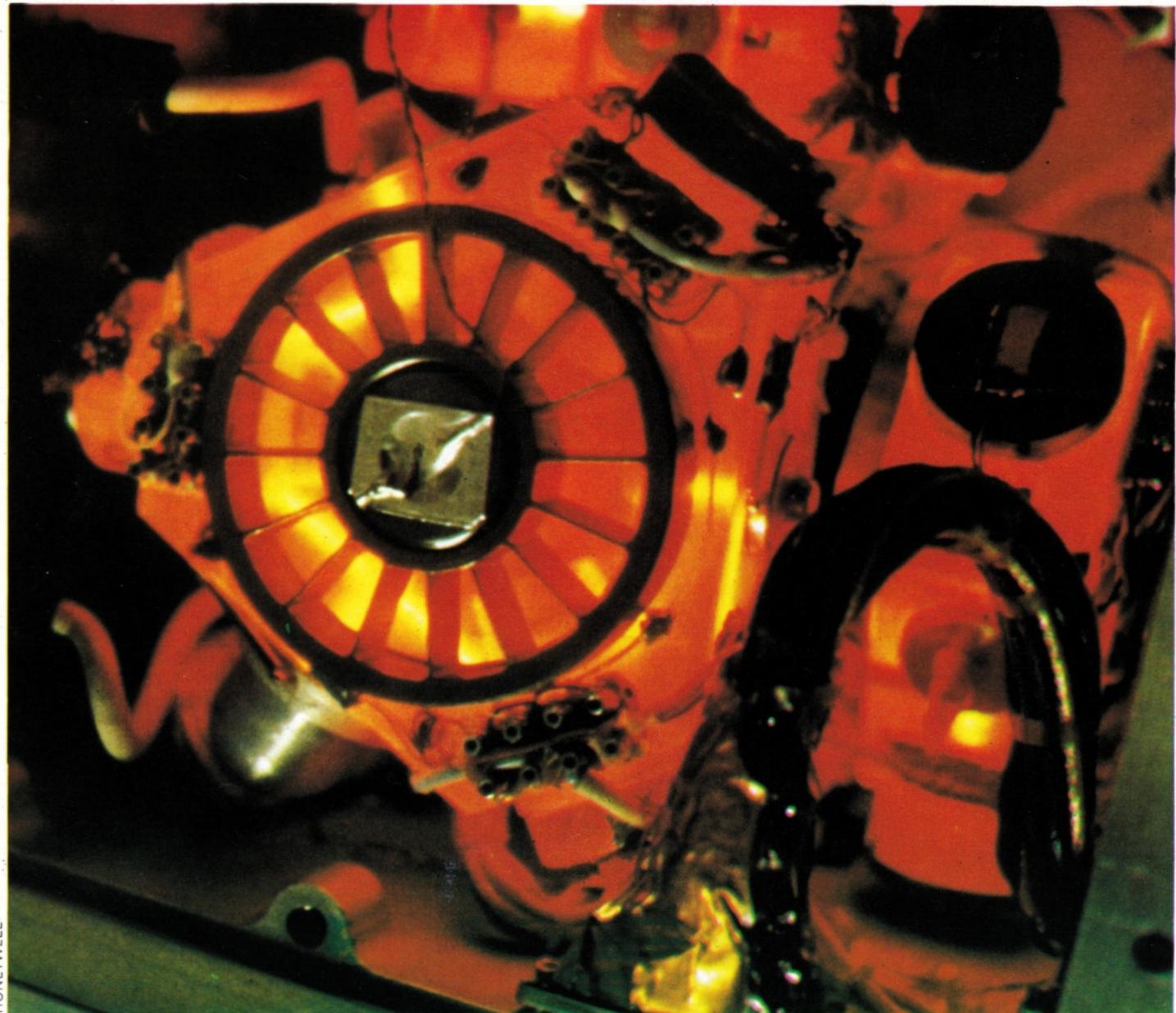
Links: Ein Kreisel, der von Kardanringen eingefaßt ist. Der Aufbau zeigt, daß der Rotor sich frei bewegen kann. Auf diese Weise ist es ihm möglich, jede ihm gegebene Position einzuhalten. Der Kreisel kann auf eine servogetriebene, stabilisierte Plattform montiert werden. Er kann so z.B. in Raumfahrzeugen und ähnlichen Geräten als Positionssensor dienen, ebenso als Stabilisator. Obwohl eine alte Erfindung, spielt der Kreisel also auch in der neueren Technologie und Wissenschaft eine entscheidende Rolle.

Drehmoment auf den inneren Ring bewirkt eine Drehbewegung des äußeren Ringes.

Es gibt eine einfache Regel, nach der sich die Präzessionsrichtung vorhersagen läßt: Dazu stellt man sich das auf einen Ring wirkende Drehmoment als ein Paar 'linearer' Kräfte vor, die einander entgegengesetzt auf die Kanten des Ringes senkrecht zu seinem kreisförmigen Querschnitt wirken. Wenn man nun dieses Kräftepaar um die Drehimpulsachse des Kreisels herum um 90° dreht, zeigt das resultierende imaginäre Kräftepaar die tatsächlich auftretende Drehbewegung an.

Der Spielzeugkreisel

Ein Spielzeugkreisel ist meistens nicht mehr als ein einfaches Schwungrad, dessen Achse in einem Metallring sitzt. Auf der Außenseite des Ringes, gegenüber den beiden Lagerpunkten, befinden sich gewöhnlich kleine, fast kugelförmige Knöpfe, von denen einer einen Schlitz besitzen kann, in den ein Stahllineal oder ein Draht paßt. Die vielen verblüffenden 'Tricks', die man mit so einem Gerät vorführen kann, beruhen alle auf den beiden Kreiseigenschaften — der Beibehaltung des festen Drehimpulses und dem Zusammenhang zwischen Drehimpuls und Drehmoment. Oft wird ein kleines Modell des Eiffelturms mit dem Spielzeugkreisel geliefert. Es besitzt eine kleine Vertiefung an der Spitze des Turms, in die man einen Knopf des Kreisels bei waagerechter Stellung der Kreiselachse einlegen kann. Nach dem Loslassen wird der



Oben und links: Ein Laser-Gyroskop, das für Navigations-
systeme entwickelt wurde. Dieser Kreisel benutzt kein Rad mit
schnellen Umdrehungen, sondern Laserstrahlen, von denen der
eine sich in Uhrzeigerrichtung, der andere sich entgegengesetzt
bewegt. Wenn der Kreisel um seine Achse rotiert, ändert sich die
Frequenz der Laserstrahlen.

Kreisel sich in einer horizontalen Ebene um die Turmspitze drehen, ohne herunterzufallen oder den Turm umzukippen. Ein sich drehender Kreisel kann auf einem gespannten Draht oder einer Schnur, auch auf einer scharfen Kante balancieren. Anwendungen der Kreiseleigenschaften finden sich bei Schiffsstabilisatoren (in größerem Maßstab) und bei Meßeinrichtungen der Navigation (z.B. im Kreiselkompass und in inertialen Leitsystemen) in kleinerem Maßstab. Hier werden Schwungräder von 5 cm bis 8 cm Durchmesser mit mehr als 50 000 Umdrehungen pro Minute eingesetzt.

Vergleiche: KREISELKOMPASS

KREISELKOMPASS

Der Kreiselkompaß zeigt die wahre (geographische) Nord-Richtung, ohne Rücksicht auf Rollen, Stampfen und Schlingern eines Schiffes, genau an.

Der Kreiselkompaß ist immun gegen magnetische Einflüsse, die durch Erzlager, Stahlbauten oder elektrische Stromkreise verursacht werden. Daher findet er weitgehend auf Erzschiffen, als Azimuth-Bezug zur Geschütz- und Torpedokontrolle auf Kriegsschiffen und als zuverlässiger Kompaß zur Navigation jedes Schiffes oder Unterseebootes Verwendung. Seine Anzeige wird weitergegeben, um Anbaugeräte wie Steuerungen und Funkortbestimmungen, Kursaufzeichner und Gyropiloten zu betreiben.

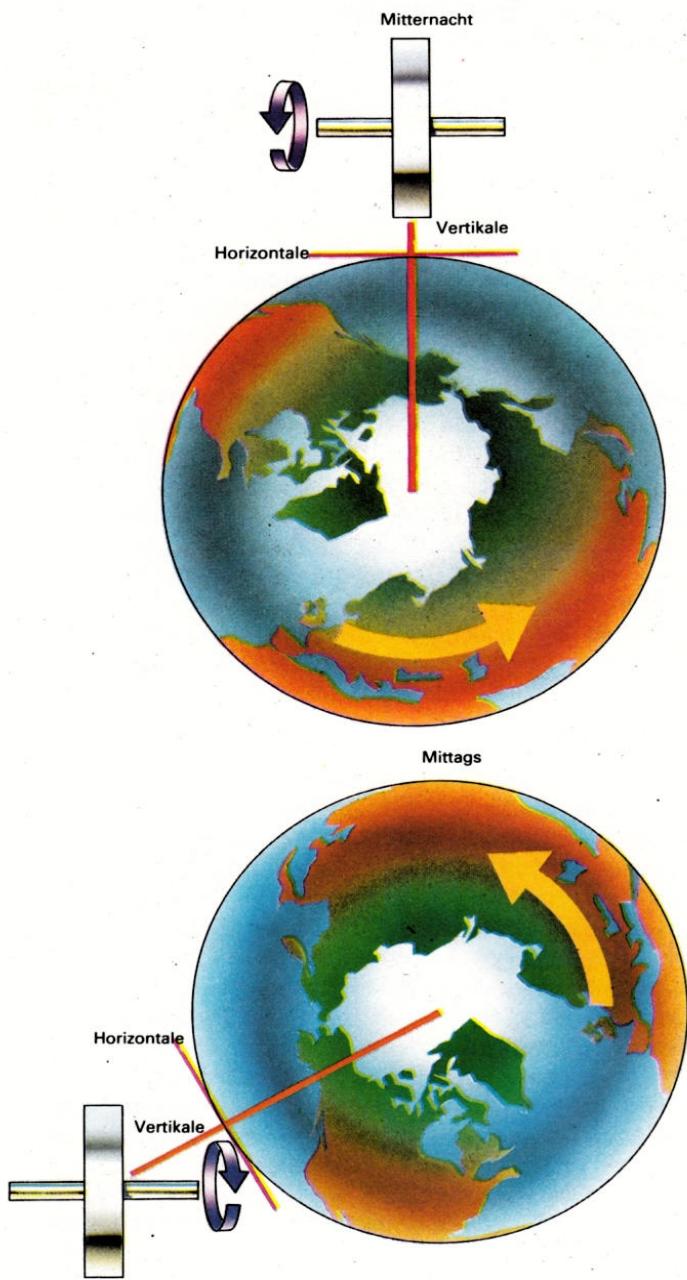
Die Grundlage des Kreiselkompasses ist ein Gyroskop (oder KREISEL), das so kontrolliert wird, daß seine Drehachse stets längs des Meridian (Nord-Süd-Linie) ausgerichtet ist

und auch bleibt. Dies wird durch eine Kombination der typischen Gyroskopmerkmale, TRÄGHEIT und Präzession, mit zwei Naturphänomenen, Erddrehung und Gravitationskraft, erreicht.

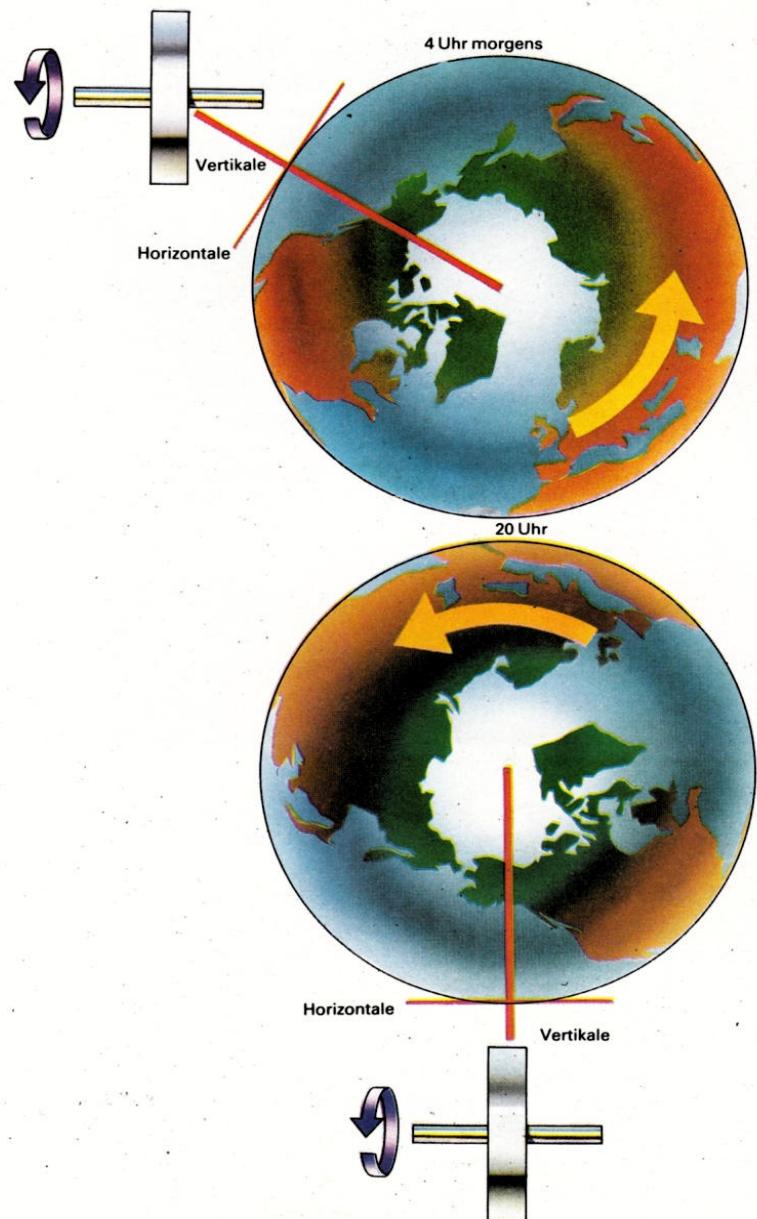
Theoretische Wirkungsweise

Die Erde dreht sich um ihre Polarachse von Westen nach Osten mit der Winkelgeschwindigkeit von einer Umdrehung in 24 Stunden, d.h. 15° pro Stunde. An jedem Punkt der Erdoberfläche kann diese Winkelgeschwindigkeit in zwei Komponenten zerlegt werden: eine Komponente in Richtung des örtlichen Breitengrades, die vertikale Erdgeschwindigkeit, und eine horizontale Komponente parallel zum Meridian, die horizontale Erdgeschwindigkeit.

Die Größe dieser Komponenten ändert sich mit der Breite. Die vertikale Erdgeschwindigkeit wächst mit dem Sinus des Breitengrades und ist an den Polen $15^\circ/\text{h}$ und am Äquator Null, während die horizontale Erdgeschwindigkeit vom



Aufgrund der Erdumdrehung scheint sich ein Kreiselkompaß, der auf der Erdoberfläche montiert ist, in die entgegengesetzte Richtung zu drehen. Wenn die Achse des Kreiselkompasses sich um Mitternacht in der Horizontalen befindet, hat sie sich bis 4 Uhr morgens um 60° zur Vertikalen bewegt. Später dreht sie sich wieder zur Horizontalen.

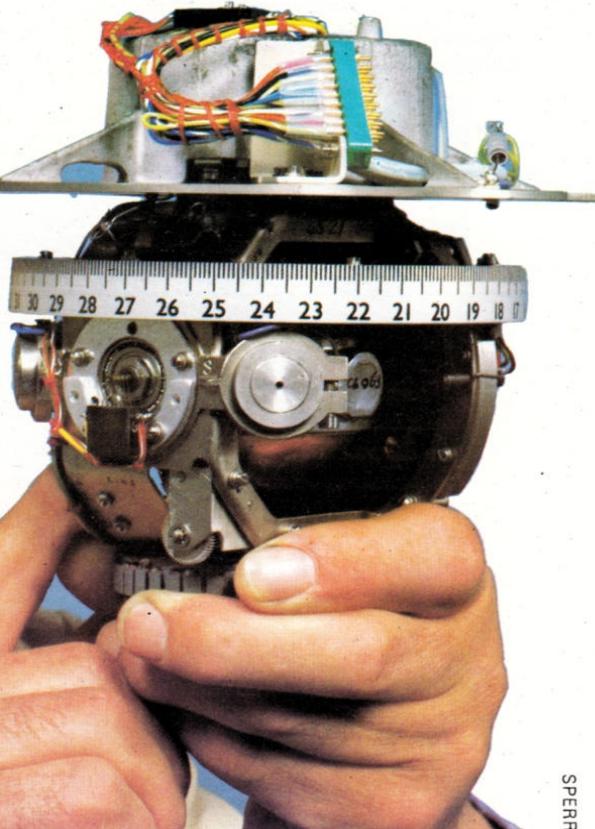


Cosinus des Breitengrades abhängt und an den Polen Null, am Äquator $15^\circ/\text{h}$ ist. (Sinus und Cosinus sind mathematische Funktionen, die im rechtwinkligen Dreieck die Seiten und Winkel in Beziehung setzen.)

Das im Kreiselkompaß benutzte Gyroskop wird elektrisch angetrieben und ist so in Ringen montiert, daß es um die horizontale und vertikale Achse frei beweglich ist. Das Gyroskop kann als raumstabile Element betrachtet werden, da seine Achsen ihre Richtung in Bezug auf ein Inertialsystem beibehalten, wenn keine Kräfte einwirken. Die Erde ist kein Inertialsystem, sondern dreht sich in ihm. Aus diesem Grunde scheinen sich einem Beobachter auf der Erde die Richtungen, in die die Achsen des Gyroskops zeigen, mit der Erddrehung zu ändern, obgleich sie bezüglich des Inertialsystems ruhen.

Als raumstables Element 'fühlt' das Gyroskop die Erddrehung: Die vertikale Achse spürt die vertikale Erdgeschwindigkeit und die horizontale Achse die horizontale Erdgeschwindigkeit. Die Wirkung der Erddrehung verändert

Ein Sperry-CL 11-Gyroskop, wie es in vielen Flugzeug-Kompaßsystemen benutzt wird. Außerdem werden z.B. Raketen und U-Boote damit ausgerüstet.



sich mit der geographischen Breite. Dies kann man am besten abschätzen, wenn man das Verhalten des Gyroskops an verschiedenen Orten betrachtet.

Wenn das Gyroskop am Nordpol mit horizontaler Drehachse aufgestellt ist, wird die Erddrehung völlig durch die vertikale Achse gemessen. Für einen Beobachter, der die sich drehende Erde als Bezugspunkt nimmt, scheint sich das raumstabile Gyroskop mit der Erdgeschwindigkeit von $15^\circ/\text{h}$ um die vertikale Achse zu drehen.

Wenn das Gyroskop am Äquator steht und die Drehachse von Osten nach Westen zeigt, ist seine horizontale Achse parallel zum Meridian (der Richtung der horizontalen Erdgeschwindigkeit). Einem auf der Erde stehenden Beobachter scheint das raumstabile Gyroskop mit Erdgeschwindigkeit um seine horizontale Achse zu kreisen. Dieser Effekt wird mit

'Tilting' bezeichnet.

Ist das Gyroskop noch am Äquator aufgestellt, aber mit der Drehachse von Nord nach Süd ausgerichtet, so ist der Tilting-Effekt durch die Erdrotation Null, da die empfindliche Horizontalachse um 90° gegen den Meridian gedreht ist. Zeigt die Drehachse in eine Zwischenrichtung, beeinflußt die horizontale Erdgeschwindigkeit die horizontale Achse in einem Ausmaß, das der Verdrehung der Drehachse gegen den Meridian proportional ist.

Kreiselkompaß-Ausführungen

Die horizontale Erdgeschwindigkeit ermöglicht es, die Gravitationskraft auszunutzen, um das raumstabile Gyroskop in einen die Nord-Richtung suchenden Gyrokompasse umzuwandeln. Wenn die Drehachse des Gyroskops parallel zum Meridian ist, gibt es kein Tilting um die horizontale Achse. Ist die Drehachse östlich des Meridian gerichtet, sinkt unter der Wirkung der horizontalen Erdgeschwindigkeit das Nordenende des Gyroskops. Das Ausmaß der Neigung ist dem Wert der horizontalen Erdgeschwindigkeit ($15^\circ/\text{h}$ Cosinus der Breite) und der Abweichung der Drehachse vom Meridian proportional.

An Punkten zwischen dem Äquator und den Polen scheint sich das Gyroskop zum Teil um seine horizontale und zum Teil um seine vertikale Achse zu drehen, da es von der horizontalen und der vertikalen Komponente der Erdgeschwindigkeit beeinflußt wird. Im allgemeinen verursacht die horizontale Erdgeschwindigkeit eine Neigung (Tilt) des Gyroskops. Die vertikale Erdgeschwindigkeit bewirkt eine Rotation im Azimuth (horizontal) bezogen auf die Meridiane.

Ein Gravitations-Bezugssystem wird zur Messung des Tilting benutzt und erzeugt Drehmomente (drehende Kräftepaare), wodurch die Gyroskop-Drehachse in die Richtung des Meridian gedreht wird. Die ersten Kreiselkompassen benutzten ein Gewicht, um das Tilting zu 'führen' und eine die Nord-Richtung suchende Kraft zu liefern. Das Gewicht, befestigt am Boden des Gyroskop-Gehäuses, zwang die Drehachse, durch die Reaktion auf die Gravitation waagerecht zu bleiben. Das entstehende Drehmoment drehte das Gyroskop nach Norden. Dieses Prinzip wurde von Dr. Elmer Sperry in seinen frühen Kreiselkompassen benutzt, von denen einer erfolgreich 1911 an Bord des Schiffes Delaware demonstriert wurde und jetzt im 'Smithsonian Institute' in Washington D.C. gezeigt wird.

In den frühen zwanziger Jahren wurde diese Gewichtsanordnung durch einen ballistischen Einschluß in zwei halb mit Flüssigkeit gefüllte Behälter, die am Nord- und Südende des Gyroskops angebracht und durch zwei Rohre von kleinem Durchmesser verbunden sind, ersetzt. Jede Neigung des Gyroskops verursacht eine Verlagerung der Flüssigkeit vom höheren zum tieferen Behälter. Das entstehende Ungleichgewicht dreht das Gyroskop gegen den Meridian. Während verbesserte Versionen dieses Systems noch heute vielfach benutzt werden, sind jetzt wegen ihrer großen Beweglichkeit elektrische Mechanismen in den Gravitations-Bezugssystemen für Kreiselkompassen üblich. Solche Systeme benutzen Beschleunigungsmesser und andere Apparaturen, um das Tilting zu erkunden. Die Ausgabe des Gerätes wird verstärkt, um die Motoren zur Drehung des Gyroskops zu steuern.

Wie bereits erwähnt, ist die relativ langsame Erddrehung Ursache der die Nord-Richtung suchenden Präzessionsbewegung des Kreiselkompasses. Fährt ein Schiff irgendwo über die Erdoberfläche und somit über den Erdmittelpunkt, ist die Schiffsbewegung mit der Erddrehung verbunden, und die Genauigkeit des Kreiselkompasses wird geschwächt. Ausgleichssysteme wurden so konstruiert, daß sie diesem Fehler entgegenwirken und das Gyroskop genau auf die Nord-Richtung ausgerichtet lassen.

Erfindungen 25: DIE PUMPE

Zu den wichtigsten Erfordernissen der antiken Kulturen im Zweistromland und in Ägypten gehörte die Bewässerung der Anbauflächen. Wasser mußte aus den Flüssen in Bewässerungskanäle gefördert werden, die entlang der zu beiden Seiten des Flusses liegenden Felder verliefen. Anfänglich wurde das Wasser mit Schöpfemern herangeschafft.

Der Wippbaum mit Schwingeimer

Mit der Erfindung des Schaduff oder Schwingeimers an einem Wippbaum besaßen um die Zeit nach 3000 v. Chr. die Bewohner des Zweistromlandes die Möglichkeit, Wasser mit weit weniger Kraftaufwand zu fördern. Eine als Hebel wirkende lange Stange war nahe dem Flußufer drehbar zwischen zwei senkrechten Holzpfosten angebracht. Auf der Wasserseite wurde eine dünne Stange mit einem daran-

Rechts: Die Konstruktion des Schaduff, hier in Ägypten, hat sich in 5000 Jahren wenig verändert. Man findet diese Pumpenart heute noch.

Unten: Noch bei dieser Schwinghebel-Kolbenpumpe aus den Anfangsjahren des 19. Jahrhunderts wird das Hebelprinzip eingesetzt.



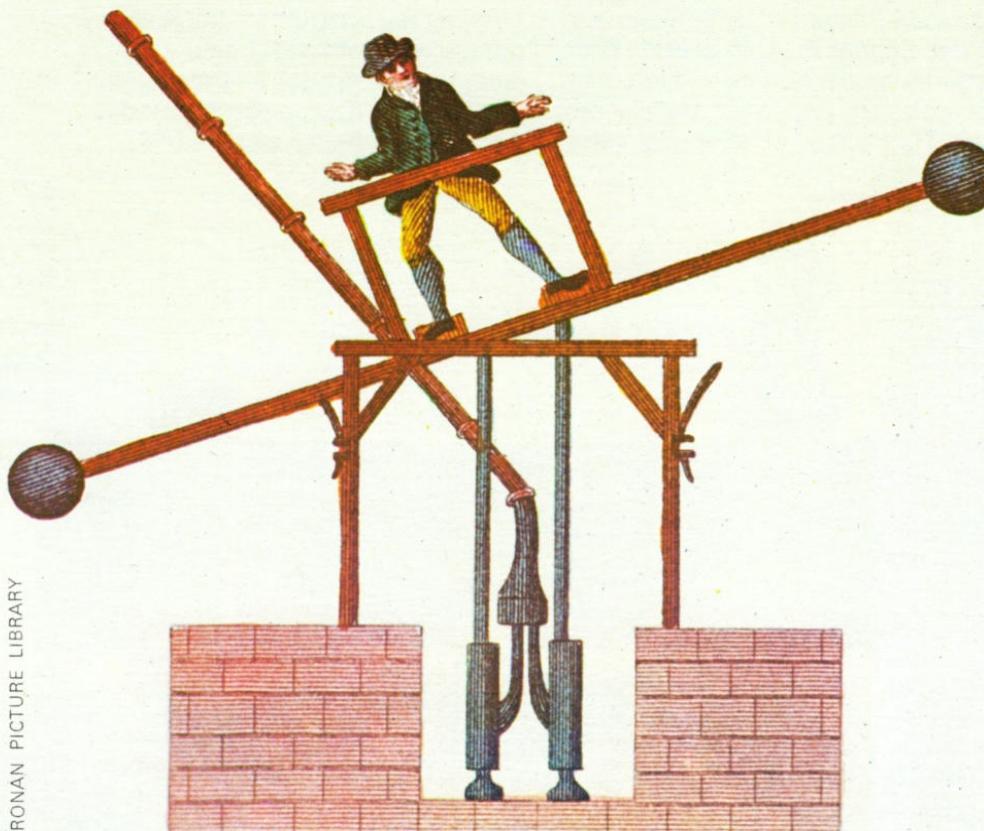
KESTONE

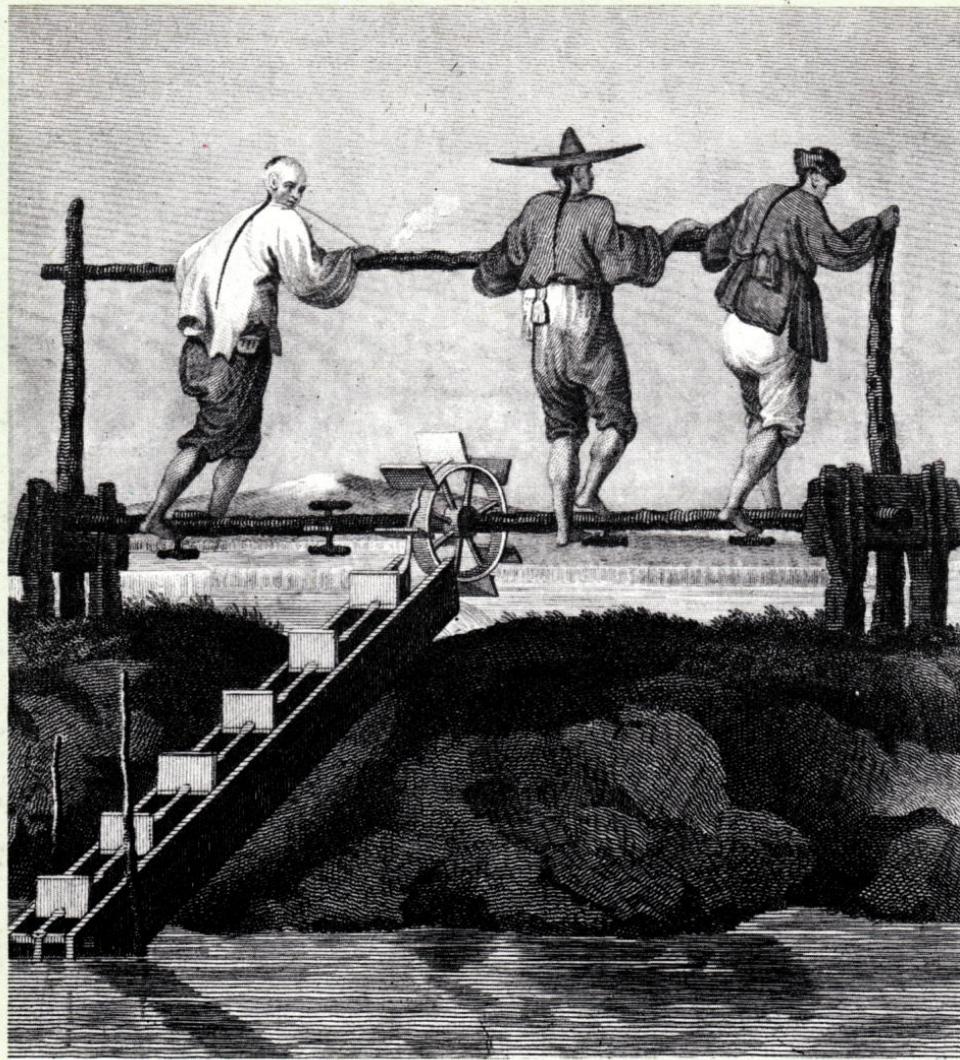
hängenden Eimer und auf der Landseite ein Gegengewicht am Wippbaum befestigt. Jetzt mußte nur der Wippbaum nach unten gedrückt werden. Das Gewicht des vollen

Eimers glich beim Heben weitgehend das Gegengewicht aus. Anschließend brauchte man den Eimer nur noch in den Bewässerungskanal zu entleeren. Diese einfache Einrichtung fand im ganzen Mittleren Osten Verbreitung. Man kann sie dort stellenweise noch heute finden. Über 2 000 Jahre lang war sie die einzige mechanische Fördereinrichtung für Wasser.

Radpumpen (Schöpfräder)

Die früheste von ihnen war die Radpumpe (saqiya). In ihrer einfachsten Form war sie ein großes Schöpfrad, auf dessen Umfang eine Anzahl von Gefäßen festgebunden war. Es war so gebaut, daß die zuerst liegenden Gefäße ins Wasser eintauchten und sich füllten. Durch Drehen des Rades wurden die Gefäße gehoben und entleerten sich auf dem höchsten Punkt des Radumlaufs in eine Rinne, aus der das Wasser in den Bewässerungskanal lief. Eine natürliche Weiterentwicklung dieses Systems bestand darin, daß man das Rad vollständig aus Holz anfertigte und kleine Holztröge an die Stelle der ursprünglich verwendeten Gefäße setzte. Der römische Autor Vitruv beschreibt um





24 v. Chr. ein solches Flußschöpf-
rad, ein unterschlächtiges Wasser-
rad. Zugleich erwähnt er eine Weiter-
entwicklung, das sogenannte 'tym-
panum'. Bei ihm saß auf einem
hölzernen Scheibenrad eine Anzahl
wasserdichter Schöpfkästen, von de-
nen jeder eine Öffnung für die
Füllung und Entleerung besaß.

Die Schöpfheimerkette.

Die zweite Erfindung war eine end-
lose Kette, die über eine 'Seilscheibe'
lief und in Abständen mit Eimern
bestückt war. Sie funktionierte im
Prinzip wie die Radpumpe. Bis-
weilen wird die Ansicht vertreten,
die Hängenden Gärten der Semira-
mis in Babylon (um 600 v. Chr.)
seien auf diese Weise bewässert
worden. Vor Vitruvs Beschreibung
der Schöpfheimerketten findet sich
jedoch kein Beleg für diese Pumpen.

Die Schraubenpumpe

Man nennt diese Pumpe auch Archi-
medische Schraube oder Archime-
dische Schnecke. In der Antike hieß
sie wegen ihres Aussehens 'cochlea'
(= Schnecke). In einen Holzzylinder
von großem Durchmesser schnitt
man ein tiefes schneckenförmiges

Gewinde und umgab anschließend
die Schnecke mit einem wasserdi-
chten Brettergehäuse. Durch einen
senkrechten Pfosten gerade ober-
halb des Wasserstandes ging das in
einem Zylinderende befindliche La-
ger der Schnecke. Das andere Ende
wurde an einem höheren Pfosten am
Ufer gelagert und über Pedale ge-
dreht. Durch ihre Umdrehung nahm

Links: Ein Schaufelwerk aus China,
vermutlich aus dem 2. Jahrhundert
v.Chr. Viele, meist viereckige Brett-
chen fördern an einer Kette das
Wasser bergauf. Die Kette ist endlos.

die Schnecke in den Gängen Wasser
mit nach oben und ließ es dort in
eine Rinne laufen. Archimedes von
Syrakus wird als ihr Erfinder bezeich-
net, doch gibt es eine Überlieferung,
nach der er diese Pumpe um 250
v. Chr. in Ägypten kennengelernt
und dieses Wissen lediglich weiter-
gegeben haben soll. Zu Vitruvs Zeit
war diese Pumpe im ganzen Rö-
mischem Reich verbreitet.

Die Kolbenpumpe

Vitruv sagt ebenfalls, daß Ktesibios
von Alexandria um 250 v. Chr. die
Kolbenpumpe aus zwei gleichen
Zylindern sowie einem dazwischen-
liegenden Ventilkasten mit Wind-
kessel und Kolben erfunden habe.
Die Maschine soll aus Bronze be-
standen haben. Es steht außer Zweifel,
daß solche Maschinen verwen-
det wurden, denn aus römischen
Gebäuden hat man Bruchstücke von
ihnen geborgen, sogar ein nahezu
vollständiges Exemplar (in Bolsena,
Italien).

Die wichtigen Neuerungen an die-
ser Pumpe waren die Kolben und
die Ventile. Ventile gab es bereits in
den von Schmieden verwendeten
Blasebälgen, wie auch in den Sack-
oder Balgpumpen.

Unten: Rekonstruktion der Kolben-
pumpe von Bolsena. Unten — an
jedem der stehenden Zylinder und in
den Leitungen zu beiden Seiten des
Ablaufs — befinden sich Ventile.

