

HEFT 61 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

Trickeffekte	1681
Tunnelbau	1687
Turbine	1693
Türschließer	1698
Türschloß	1699
Übergangselemente	1701
Überschallflug	1705

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDEN WOCHE IHR

#### HEFT BEKOMMEN

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

#### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

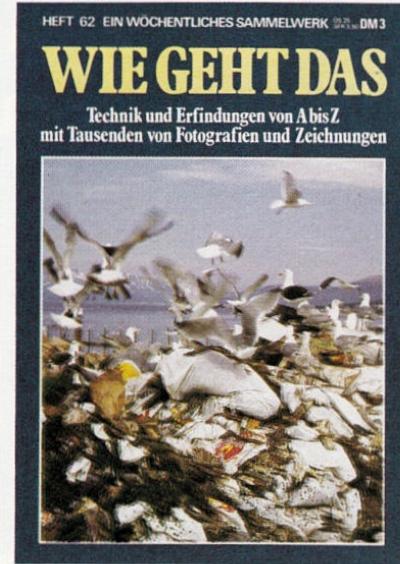
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

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

#### INHALTSVERZEICHNIS

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

## In Heft 62 von Wie Geht Das



In den letzten Jahren ist die Öffentlichkeit vermehrt mit den Problemen der Umweltverschmutzung konfrontiert worden. Lesen Sie über die Hauptursachen der Umweltverschmutzung und wie Umweltverschmutzung kontrolliert werden kann in Heft 62 von Wie Geht Das.

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurde das U-Boot zum wichtigsten aller Kriegsschiffe. Erfahren Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das, wie U-Boote funktionieren.

#### SAMMELORDNER

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

#### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

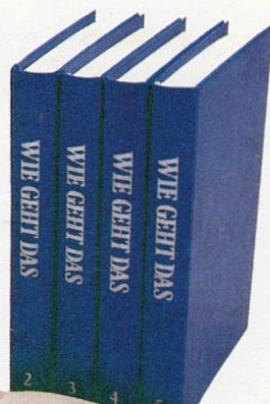
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

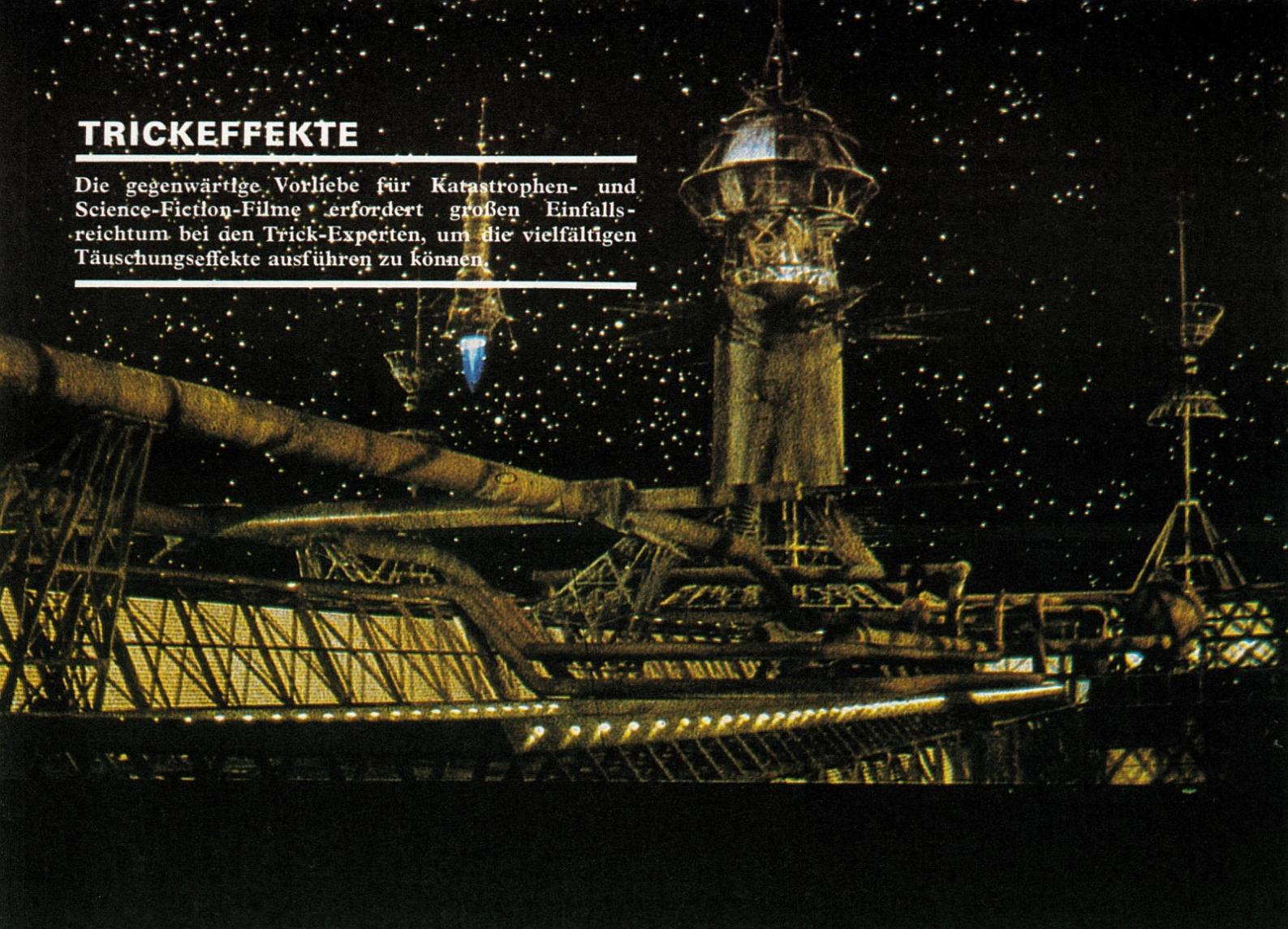
Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

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



## TRICKEFFEKTE

Die gegenwärtige Vorliebe für Katastrophen- und Science-Fiction-Filme erfordert großen Einfallreichum bei den Trick-Experten, um die vielfältigen Täuschungseffekte ausführen zu können.



WALT DISNEY

Der Ausdruck Trick ist ein Sammelbegriff für eine Vielzahl von speziellen Aufnahmetechniken, um bestimmte Täuschungen in der filmischen Darstellung zu erzielen. Eingeführt wurde er im Jahre 1926 von Louis Witztum anlässlich des Hollywood-Films 'Was kostet der Ruhm?'. Die Trickeffekte lassen sich in zwei große Gruppen einteilen, nämlich in optische und mechanische. Die optischen Tricks werden überwiegend mit fotografischen Mitteln erzielt; zu den mechanischen gehören z.B. Explosionen und Autozusammenstöße.

### Entwicklung der Tricktechnik

Die fotografischen Tricks sind ebenso alt wie das Filmen selbst. Viele der frühen Filme waren sogar reine Trickfilme. Das Kino wurde zumindest im ersten Jahrzehnt nach 1895 lediglich als eine technische Attraktion betrachtet. Die Filmemacher dieser Epoche waren daher bestrebt, die Filme technisch möglichst originell herzustellen, und sie entwickelten dabei Täuschungseffekte, die zum Teil heute noch angewendet werden.

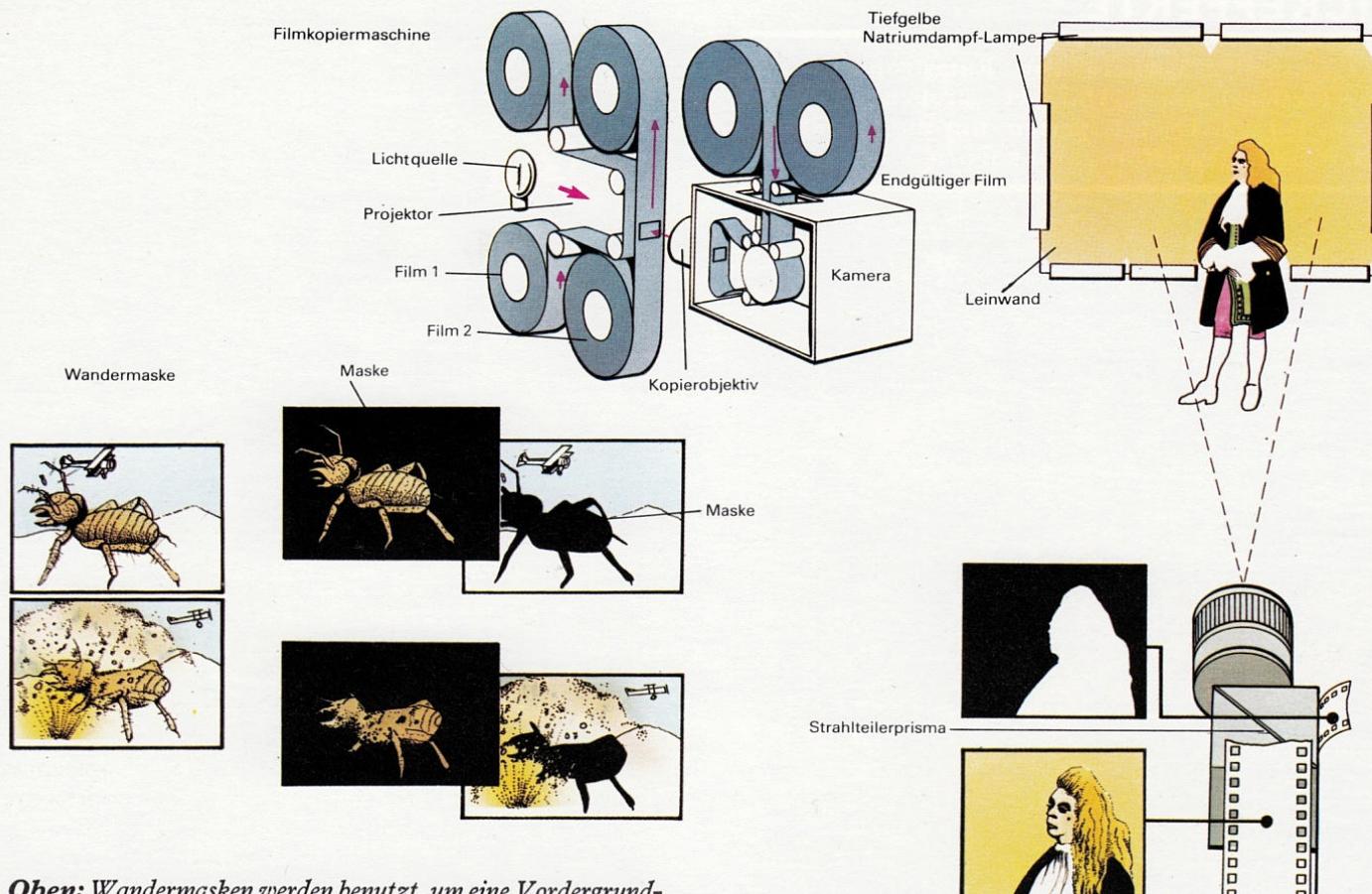
In diesem Zusammenhang muß besonders der Franzose Georges Méliès, ein ehemaliger Magier, erwähnt werden. Er war von den ersten Filmvorführungen der Brüder Lumière im Jahre 1895 in Paris so beeindruckt, daß er sich entschloß, selbst Filme zu drehen. Von ihm stammen viele der Techniken, die auch von den Zauberkünstlern auf der Bühne ausgeübt werden. Darüberhinaus führte er die harten Filmschnitte, Zeitraffer- und Zeitlupen-Effekte, das weiche Ausblenden sowie Doppel- und Mehrfach-Belichtungen ein. Der amerikanische Filmzionier Edwin S. Porter wurde von Méliès stark beeinflußt, und er stellte seinerseits mehrere Trickfilme für die Edison-Company her. Im Jahre 1903 drehte er unter dem Titel 'Der große Eisenbahnraub' einen der ersten Filme mit einer kompletten Spielhandlung. Damit aber trug der

**Oben:** Die Tricktechnik entwickelte sich sehr schnell aus dem Bedarf der Regisseure an überzeugender, reeller Spielhandlung. Hier eine Szene aus der Walt-Disney-Produktion 'Das Schwarze Loch'.

Trickfilmer selbst zum Ende der reinen Trickfilme bei. Zwar wurden auch in den Stummfilmen einige Tricks weiterverwendet, aber nur noch zur Ergänzung der Filmhandlung und nicht mehr um der Tricks selbst willen. Die Kinobesucher in den zwanziger Jahren reagierten sogar ärgerlich, wenn sie irgendwelche Täuschungseffekte vermuteten. Sie wollten auf der Leinwand eine reelle Spielhandlung der Schauspieler sehen, was dann auch dank der halsbrecherischen Einsätze von Artisten (Doubles) in jenen Tagen oft genug Wirklichkeit war. Tricks mit Modellen, Doppelbelichtungen oder ähnlichem wurden von den Kinobesuchern bis zu Beginn der dreißiger Jahre als Betrügerei aufgefaßt. Erst als dann die Phantasie- und Science-Fiction-Filme in Mode kamen, wurden auch die dreisten Tricks wieder akzeptiert, wie z.B. in der Serie 'Der unsichtbare Mann'.

### Trickaufnahmen

Im Prinzip beruhen die fotografischen Tricks auf der Eigenart der bildweisen Filmbewegung. Jedes Einzelbild verharrt für einen Sekundenbruchteil auf der Leinwand, aber durch die Trägheit des menschlichen Auges entsteht der Eindruck einer zusammenhängenden Bewegung. Bei den harten Filmschnitten wird z.B. die Kamera angehalten und die Aufnahmeszene verändert — so kann etwa ein Schauspieler verschwinden oder eine Attrappe aufgestellt werden, wobei aber die Kamerastellung und die Beleuchtung unverändert bleiben müssen. Danach wird weitergedreht, und das Auge sieht die Film-



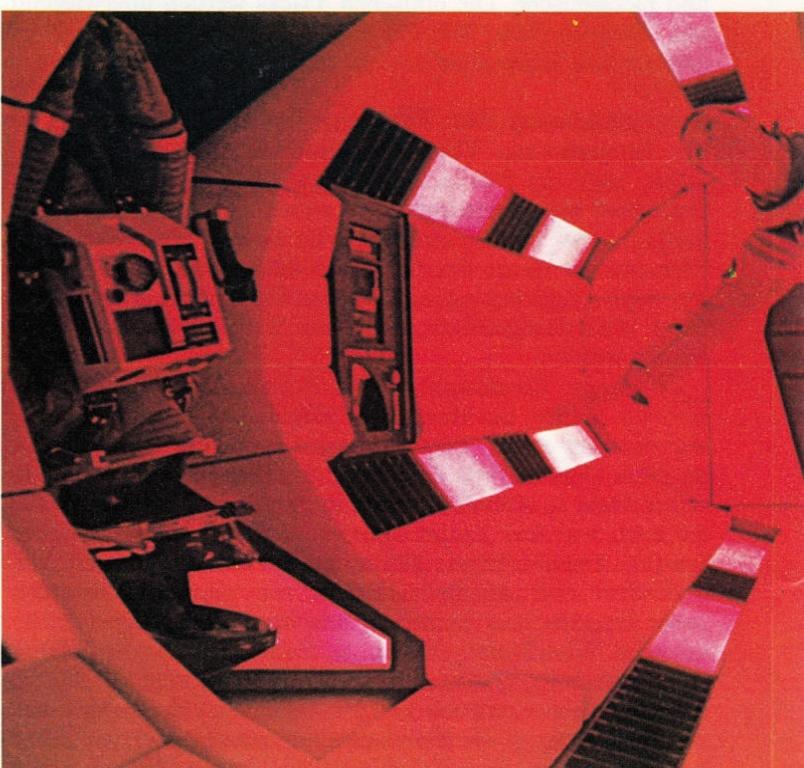
**Oben:** Wandermasken werden benutzt, um eine Vordergrundhandlung gegen einen sich bewegenden Hintergrund darzustellen. Zu diesem Zweck werden zwei sich in der Maskierung ergänzende Filme hergestellt und in einer Kopiermaschine fotografisch zusammengefügt. Die Masken können mit der Hand oder einfacher fotografisch hergestellt werden. Man lässt die Spielhandlung z.B. vor einem gelb angeleuchteten Hintergrund ablaufen und zeichnet die Spielhandlung und den Hintergrund auf zwei getrennte Filme — einen normal empfindlichen und einen nur gelb empfindlichen — auf. Die Kamera muß dazu mit einem Strahlteilerprisma ausgerüstet sein.

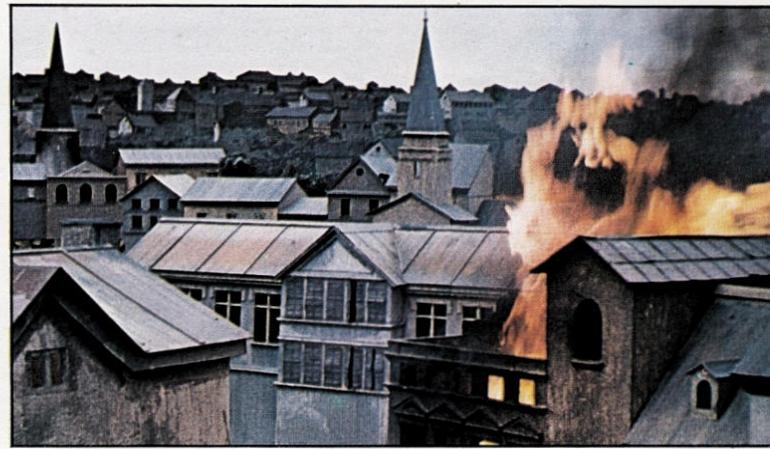
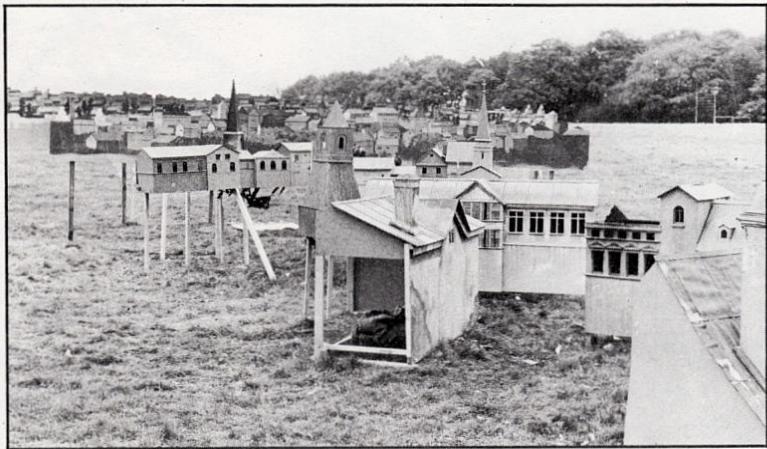
handlung als zusammenhängend. Aus- und Überblendungen werden heute mit Ausnahme der Amateurfilme im Labor nachträglich gemacht, während sie früher in der Kamera zustande kamen. Man blendete dazu die eine Szene aus, indem man die Belichtung allmählich reduzierte. Dann spulte man den Film um die betreffende Länge zurück und drehte die Folgeszene mit zunehmender Belichtung. Die Filmvorführung erweckte schließlich den Eindruck, daß die eine Szene sich in der anderen auflöst.

Zeitraffer- und Zeitlupen-Aufnahmen entstehen, indem der Film langsamer bzw. schneller durch die Kamera transportiert wird. So wird ein Bewegungsablauf, der mit 12 Bildern pro Sekunde aufgenommen und mit 24 Bildern projiziert wird, natürlich doppelt so schnell wiedergegeben, wie er in Wirklichkeit war. Die echte Hochgeschwindigkeits-Fotografie erfordert spezielle Kameras und Verschlüsse, um die extrem kurzen Belichtungszeiten zu erreichen. Der wirkliche Bewegungsablauf wird dann außerordentlich verlangsamt wiedergegeben.

Eine andere Art von Trickaufnahmen entsteht, wenn man eine Kamera mit kleiner Blendenöffnung benutzt, um den Nah- und Fernbereich gleichzeitig scharf abzubilden. Ein sich nahe der Kamera befindendes Modell, beispielsweise eines Dinosauriers, erscheint dann riesig gegenüber einem Menschen im Hintergrund der Szene.

**Unten:** Einer der erfolgreichsten Trickfilme der letzten Jahre war '2001: Odyssee im Weltraum'. In dieser Szene schwebt ein Schauspieler schwerelos durch das Zentralgehirn eines riesigen Computers. Diese scheinbar in waagerechter Lage gemachte Aufnahme wurde in Wirklichkeit von unten nach oben gefilmt. Der Schauspieler war an Drähten aufgehängt und konnte sich so über eine Höhe von drei Stockwerken hinweg bewegen.





### Trick-Abteilungen

In der Mitte der zwanziger Jahre wurde in Hollywood damit begonnen, besondere Trick-Abteilungen aufzubauen. Dies schien angebracht, wollte man doch die immer größer werdenden Filmstudios besser ausnutzen. Bis dahin war in der Regel der Kameramann für die optischen Trickeffekte zuständig, während die mechanischen Tricks von Hilfspersonal bewerkstelligt wurden. Nach Einführung dieser Trick-Abteilungen entstand natürlich innerhalb jedes Studios ein immer größeres Reservoir an Spezialwissen. Das führte schließlich dazu, daß die in Hollywood und besonders in den dreißiger Jahren produzierten Filme bezüglich der Tricks unübertroffen waren. In den sechziger Jahren gab es dann jedoch eine Abkehr von den Studio-Produktionen, so daß viele der Trick-Abteilungen gezwungen waren, zu schließen. Die älteren Trick-Spezialisten mußten sich entweder zur Ruhe setzen oder sich selbstständig machen. In der Mitte der siebziger Jahre waren dann die alten Trick-Techniken und die sie beherrschenden Hollywood-Experten plötzlich wieder gefragt, nachdem die ersten der Katastrophen-Filme wie z.B. 'Erdbeben' guten Anklang gefunden hatten.

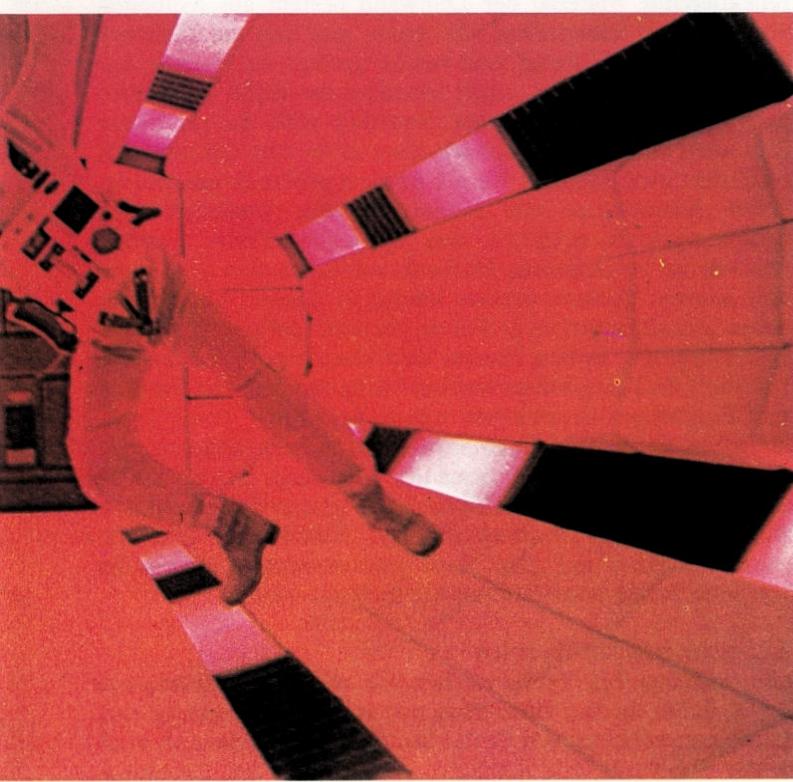
### Optische Tricks

Viele der optischen Täuschungseffekte in der Filmtechnik wurden schon von Fotografen im 19. Jahrhundert entwickelt. So kann z.B. mit Hilfe einer bemalten Glasscheibe, die direkt

**Oben und links:** Viele Filme zeigen Szenen mit Zerstörungen großen Ausmaßes. Die dazu benutzten Modelle sind aber recht klein, wie die obigen Bilder vom brennenden Moskau aus der BBC-Verfilmung von Tolstois 'Krieg und Frieden' zeigen. Darüberhinaus werden aus der Sicht der Kamera viele Häuser vorgetäuscht; in Wirklichkeit sind es aber nur wenige Modelle, wie das linke Bild enthüllt.

vor die Kamera gehalten wird, die Filmszene beliebig ergänzt werden, wobei natürlich die Glasscheibe und die Szene innerhalb der Schärfentiefe liegen müssen. Auch das sogenannte Maskenverfahren wurde schon früh entwickelt. Es bietet auf einfache Weise die Möglichkeit, zwei getrennt aufgenommene Bildausschnitte zu einem Bild zu vereinigen und so den Eindruck zu erwecken, als handele es sich um eine zusammengehörige Filmszene. Bei der ersten Aufnahme wird ein Teil der Szene mit einem entsprechend zugeschnittenen schwarzen Karton, der 'Maske', abgedeckt. Danach wird der Film zurückgespult und eine neue Szene hinter einer Gegenmaske aufgenommen, die nur den zuvor maskierten Teil freiläßt und das übrige abdeckt. Das Ergebnis ist eine Doppelbelichtung. Die Kameramänner der Stummfilmzeit hatten stets ein ganzes Arsenal von Bildmasken dabei, um verschiedene optische Effekte zu erzielen. Heute werden solche Tricks während des Kopierens im Trick-Atelier gemacht.

Eine Variante des Maskenverfahrens arbeitet mit gemalten Masken. Nach der Aufnahme einer Filmszene hinter einer Maske wird der teilweise belichtete Film in eine andere Kamera umgeladen, die auf eine schwarze Glasscheibe gerichtet ist. Ein Künstler malt auf ihr den gewünschten Bildausschnitt, der in den maskierten Teil der ersten Aufnahme paßt (z.B. einen beliebigen Hintergrund wie eine Bergkette oder die Silhouette einer Stadt). Dieses Bild wird dann gefilmt, wobei die unbemalten schwarzen Partien der Glasscheibe als Gegenmaske wirken. Die Kameras müssen für diese Zwecke erschütterungsfrei montiert sein. Eine Weiterentwicklung in der Maskentechnik ist das 'Wandermaskenverfahren', bei dem sich die Maske in ihrer Form oder Bewegung von Bild zu Bild ändert. Dies kann z.B. erreicht werden, indem für jedes Einzelbild eine Maske mit zugehöriger Gegenmaske mit der Hand angefertigt wird, eine ähnlich zeitraubende Arbeit wie bei einem Zeichentrickfilm. Diese Methode liefert ausgezeichnete Ergebnisse (sie wurde für den Film '2001 — Odyssee im Weltraum' angewendet). Inzwischen gibt es aber eine Reihe von schnelleren und billigeren Verfahren, die zumeist auf der unterschiedlichen Farbempfindlichkeit der einzelnen Filmschichten basieren. Eines dieser Verfahren heißt 'blue-screen', weil sein Hauptmerkmal ein blaugetönter Hintergrund ist. Die Vordergrundhandlung wird mit normalem weißem Licht ausgeleuchtet und auf einem Farbfilm gegen einen lichtstarken blauen Hintergrund — entweder ein blaues Tuch oder eine transparente, von hinten





blau beleuchtete Leinwand — aufgenommen. In der blauempfindlichen Schicht des Farbfilms entsteht dort, wo der Hintergrund abgebildet wird, ein stark gedecktes, an allen anderen Stellen aber ein normal gedecktes Negativ. In mehreren Kopierschritten unter Verwendung von Schwarz/Weiß-Lithofilmen und Farbfiltern wird dann eine undurchsichtige Maske erhalten, die mit dem blauen Hintergrund deckungsgleich ist, während die Spielszene transparent bleibt. Die entsprechende Gegenmaske mit der Spielhandlung, gewissermaßen im Schattenriß, wird durch Umkopieren erhalten. Die beiden sich ergänzenden Aufnahmen werden 'gesandwicht' und auf ein sogenanntes 'Dup-Negativ' wieder als Negativ kopiert.

Eine weitere Methode, die getrennten Aufnahmen von Spielhandlung und Hintergrundgeschehen zu kombinieren, ist die 'Rückprojektion'. Die Schauspieler befinden sich hierbei vor einer transparenten Leinwand, auf die von hinten das Hintergrundgeschehen projiziert wird. Der Projektor und die Kamera laufen synchron, so daß die Kamera exakt in dem gleichen Rhythmus die Blende öffnet, mit dem die Einzelbilder projiziert werden. Es kann auch von vorn, und zwar unter dem Kamera-Blickwinkel projiziert werden, wenn eine stark reflektierende Leinwand benutzt wird. In diesem Falle wird über einen teildurchlässigen Silberspiegel projiziert, der unter jeweils  $45^\circ$  zwischen Kamera und Projektor angebracht ist. Dadurch fallen die Projektions- und die Aufnahmerichtung zusammen, d.h. es können keine sichtbaren Schatten an den Umrissen der Schauspieler entstehen. Die Körper der

Schauspieler maskieren genau ihre eigenen Schatten. Das reflektierende Material der Leinwand besteht aus Millionen von winzigen Glasperlen, von denen jede wie ein Reflektor wirkt. Man kann daher eine relativ geringe Lichtstärke zur Projektion wählen und erhält trotzdem ein helles Bild unter dem Blickwinkel der Kamera. Natürlich trifft das projizierte Bild auch auf die Schauspieler, aber da es dort nur schwach reflektiert wird, bleibt es für die Kamera praktisch unsichtbar.

Die Arbeitsweise mit Miniaturen oder Modellen wird traditionsgemäß auch zu den optischen Tricks gezählt. Modelle im verkleinerten Maßstab von Gebäuden oder sogar von ganzen Städten werden häufig in Szenen benutzt, in denen Zerstörungen in größerem Ausmaß dargestellt werden sollen (wie z.B. in den Filmen 'Erdbeben' und 'Flammendes Inferno'). In Kriegsfilmen werden häufig Modelle von Schiffen und Flugzeugen benutzt (wie z.B. in dem Film 'Tora! Tora! Tora!', in dem sowohl die amerikanische als auch die japanische Flotte nur aus Modellen bestand). Allerdings ist die Größe der Modelle recht unterschiedlich; so gibt es Schiffsmodelle von ungefähr 1 m bis zu 15 m Länge. Während die größeren auch tatsächlich auf dem Meer gefilmt werden, dienen die kleineren nur zu Studioaufnahmen in Wassertanks.

### Mechanische Tricks

Die mechanischen Tricks reichen von einfachen Effekten wie das Sichtbarmachen eines Einschusses in eine Wand bis zur Sprengung eines ganzen Gebäudes. Der Trickfachmann muß in der Lage sein, alle möglichen Effekte, die das Drehbuch



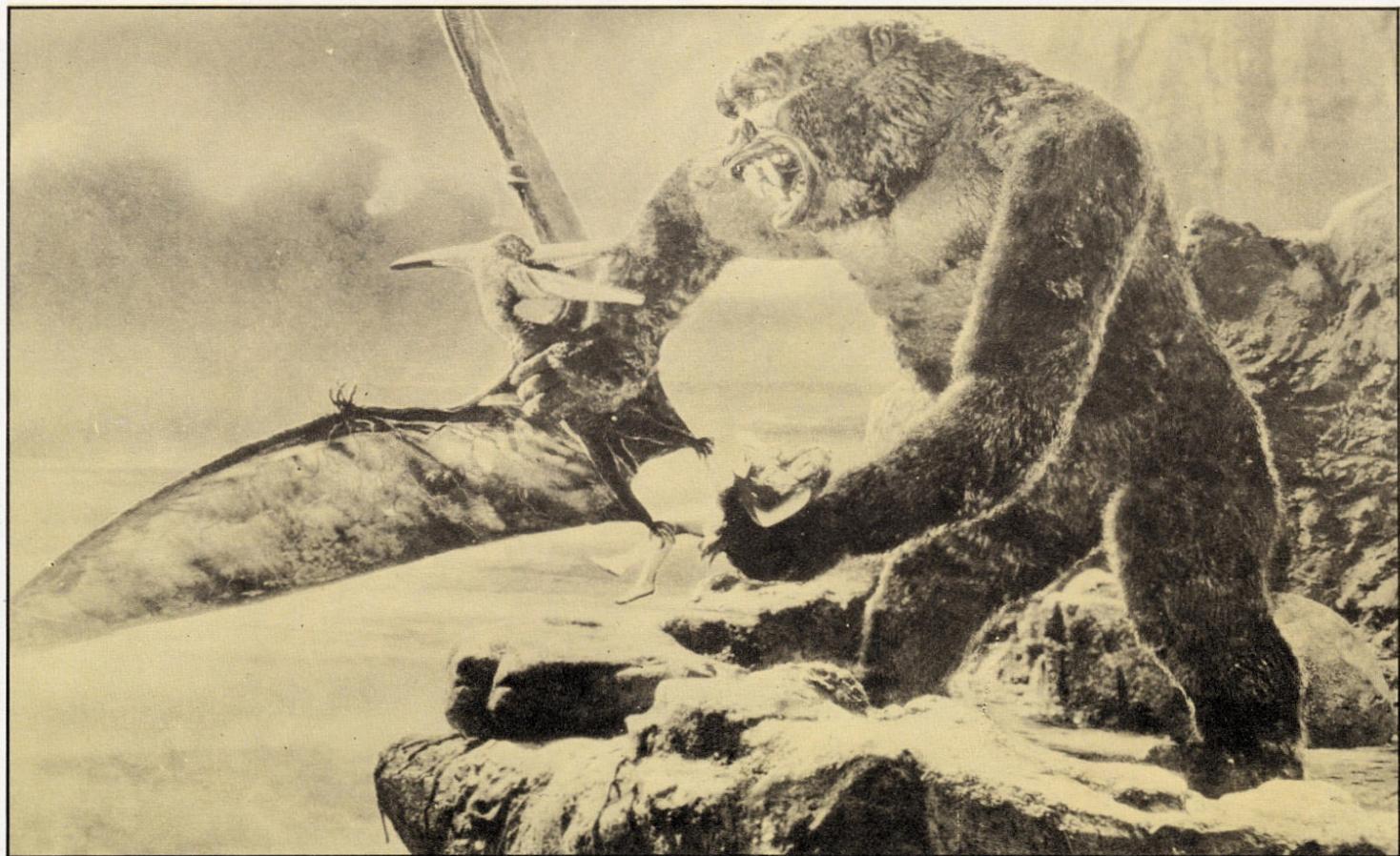
**Oben:** Eine andere Szene aus dem Film 'Das Schwarze Loch'. Der Hintergrund und die Schauspieler, die über ein Brett im Studio laufen, wurden separat gefilmt und die Aufnahmen zu einer Spielhandlung zusammengesetzt. Für diesen Film wurden ein völlig neues, computergesteuertes Kamerasytem — das ACES (Automated Camera Effects System) — benutzt und über 200 Hintergrund-Masken angefertigt. Die Kosten der Gesamtproduktion beliefen sich auf rund DM 40 Millionen.

vorsieht, auszuführen. In jüngerer Zeit sind vor allem Spielszenen mit Gewalt und Zerstörung darzustellen wie z.B. vorgeäuschte Verletzungen, Brände und Explosionen. Zu ersteren gehören hauptsächlich Schuß- und Stichverletzungen. Ein Geschoßtreffer wird beispielsweise simuliert, indem der Schauspieler eine kleine Sprengladung an einem mit künstlichem Blut gefüllten Plastikbeutel unter seiner Kleidung trägt. Die Explosion, die entweder vom Schauspieler selbst oder durch Fernsteuerung gezündet wird, reißt dann ein Loch in die Kleidung und lässt so realistisch das künstliche Blut austreten, daß man annehmen muß, der Schauspieler sei tatsächlich getroffen worden. Stichverletzungen werden mit besonders präparierten, metallisch glänzenden Messern aus Harz vorgeäuscht. Das künstliche Blut befindet sich im Griff und kann aus kleinen Düsen in der Klinge herausgepreßt werden. Speere und Pfeile fliegen treffsicher ins Ziel, weil sie von feinen Drähten geführt werden, die über korkummantelte Metallplatten an den Schauspielern befestigt sind. Die

Geschosse werden in Druckschleudern außerhalb des Bildfeldes abgeschossen.

Explosionen größerer Ausmaßes und Großbrände zählen zu den spektakulären Trick-Arbeiten. Sie erfordern ausgebildete Sprengstoff-Experten, die, wie in Hollywood, einen staatlich genehmigten Sprengstoff-Lehrgang mit Abschlußprüfung absolviert haben müssen. Die Gefahr ist bei Bränden und besonders, wenn brennende Menschen dargestellt werden sollen, natürlich recht groß. Die relativ größte Sicherheit bietet noch die Arbeitsweise mit einem kleinen Gasbrenner, den der Schauspieler unter feuerfester Kleidung trägt. Wenn das Gas entzündet ist, sieht es so aus, als ob die Kleidung brennen würde. Die Flammen erlöschten jedoch, sobald die Gaszufuhr abgestellt wird. Gefährlicher wird es dagegen, wenn die Kleidung mit Alkohol übergossen und angezündet wird. Es entsteht zwar eine Dampfschicht zwischen den Flammen und der Kleidung, aber trotzdem muß der Betreffende — meistens ein Double — einen gut isolierenden Asbestanzug mit besonderer Belüftung tragen, soll er vorübergehend voll in Flammen stehen.

Um Brände von Gebäuden vorzutäuschen, haben die Trick-Experten ein tragbares Pumpenaggregat mit Motorantrieb entwickelt, mit dem Paraffin bis in eine Höhe von 30 m gepumpt werden kann. Auf diese Weise werden dann mehrere Brenner versorgt, die in offenen Fenstern und auf dem Dach installiert sind und die — in voller Aktion — eine wütende Feuersbrunst vortäuschen, zumal dem Brennstoff noch Farbstoffe zugesetzt werden, um den Kontrast im Film zu erhöhen.



Aufnahmen aus dem im Jahre 1933 hergestellten Film 'King Kong', einer der berühmtesten Trickfilme, mit dem die Tricktechnik ihren Anfang machte. Es gab 6 Modelle des Kong und eine 6,10 m hohe, mit Bärenfell überzogene Büste (unten).



Das Gebäude bleibt natürlich unversehrt. Im übrigen wird zur Verbrennung Paraffin bevorzugt, weil es wirtschaftlicher als Öl oder Benzin ist.

### Modell-Animation

Auch diese Tricktechnik geht auf die Frühzeit des Kinos zurück. Es war die 'Vitagraph Company' in Amerika, die als erste im Jahre 1897 diese neue Art von Trickfilm in großer Aufmachung herausbrachte. Sie benutzte Spielzeugtiere aus Holz. Der bereits erwähnte Regisseur Edwin S. Porter verbrachte im Jahre 1907 eine Woche lang täglich zwölf Stunden damit, sieben kleine Teddybären zu 'beleben'. Der daraus entstandene Film 'Die Teddybären' dauerte zwar nur wenige Minuten, war aber damals ein Riesenerfolg. Die Modell-Animation wird mit Hilfe der 'Einzelbildschaltung' erreicht, wobei von Bild zu Bild die Haltung des Modells von Hand verändert wird. Da die Aufnahme in der Kamera und das Abspielen im Projektor mit 24 Bildern pro Sekunde erfolgt, sind für eine Sekunde Spielhandlung auf der Leinwand auch 24 Modellveränderungen und 24 Einzelbilder nötig — ein langwieriges und zeitraubendes Verfahren. Der bekannteste Regisseur auf dem Gebiet der Animation ist Willis H. O'Brien, der als erster in seinen Filmen 'Die verlorene Welt' und 'King Kong' Modell und wirkliche Spielhandlung miteinander verknüpfte. Für diese Kombination wird meistens die Miniatur-Projektion benutzt, eine kleinere Variante der Rückprojektion. Die zur Szene gehörenden Modelle werden in verkleinertem Maßstab vor der Leinwand aufgebaut. Auf die Leinwand wird dann das entsprechende Einzelbild der echten Spielhandlung projiziert und zusammen mit dem Modellaufbau fotografiert. Bild für Bild wird so die Spielhandlung mit dem künstlichen Bewegungsablauf der Modelle kombiniert. Bei geschickter Handhabung kann dieses Zusammenfügen so perfekt sein, daß z.B. die Verfolgung eines Menschen von einem Dinosaurier, der in Wirklichkeit nur einige Zentimeter groß ist, sehr realistisch aussieht.

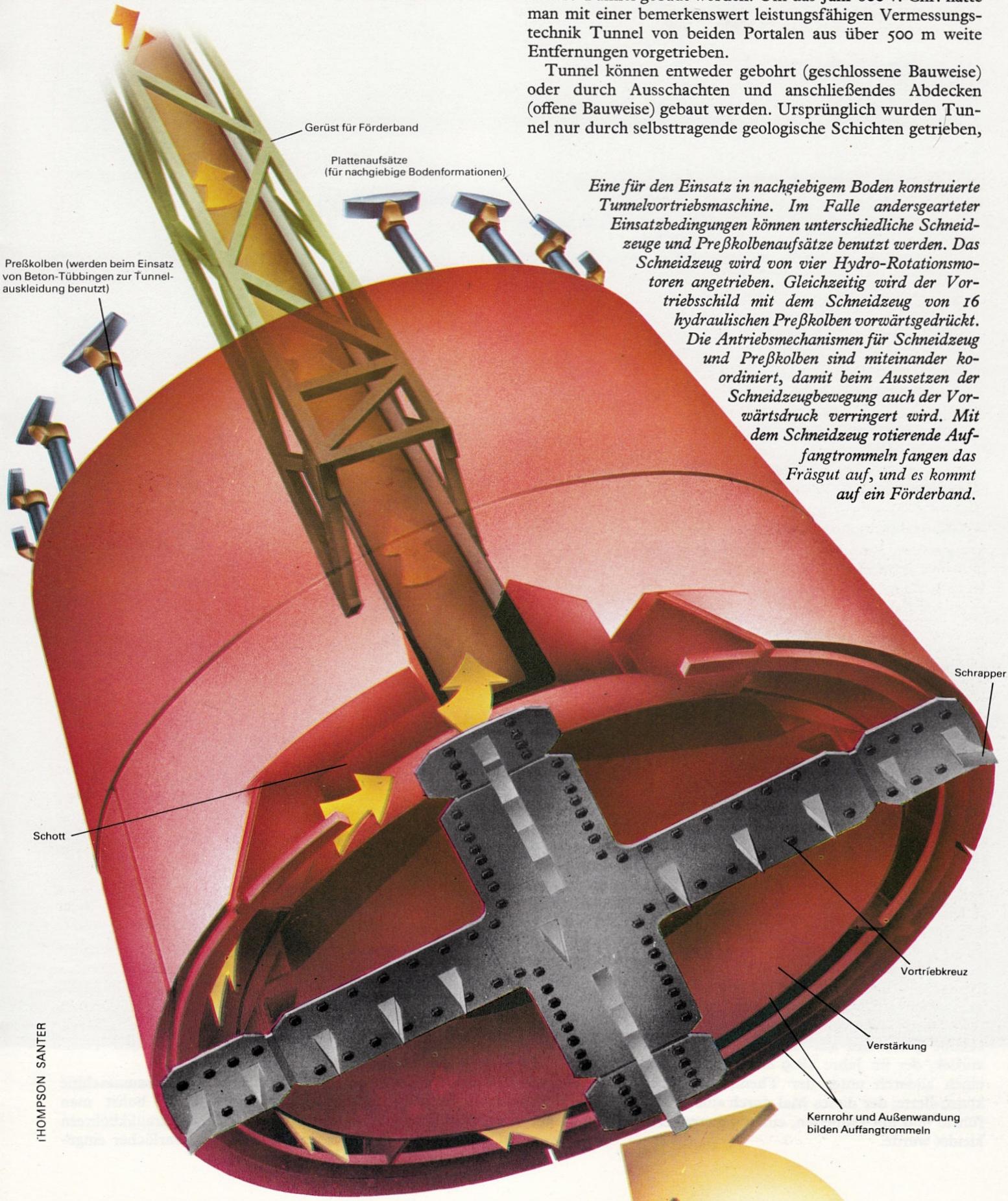
## TUNNELBAU

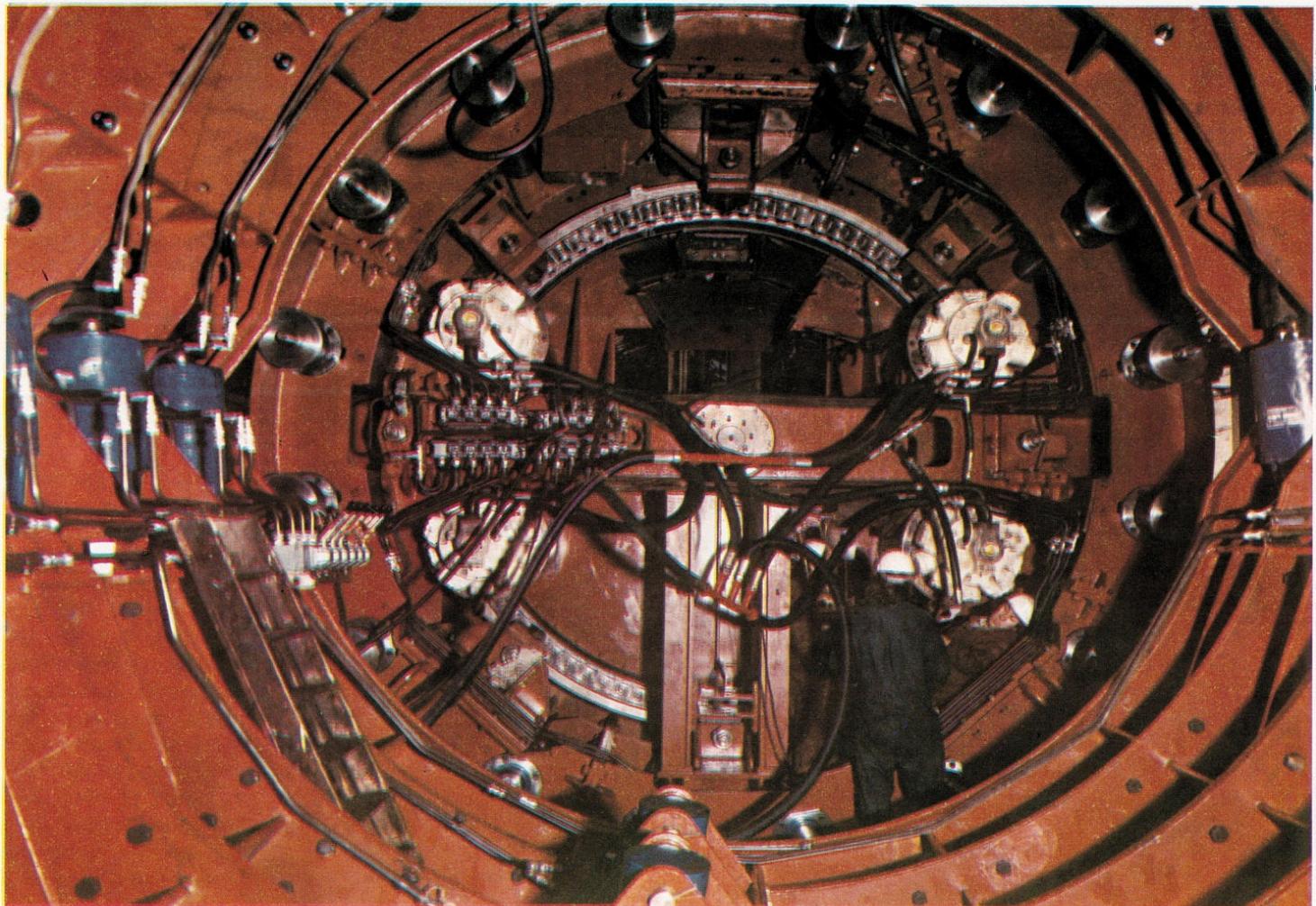
**Der Tunnelbau gilt als gefährliches und sehr kostspieliges Unternehmen. Infolge des wachsenden Umweltbewußtseins und der immensen Zerstörungen, die eine offene Bauweise verursacht, werden jedoch immer mehr Tunnel gebaut.**

Einer der ältesten bekannten Tunnel wurde vor rund 4000 Jahren als Transportweg unter dem Euphrat hindurchgeführt. Der Umfang der durchgeföhrten Arbeiten lässt erkennen, daß die damaligen Ingenieure über beträchtliche Kenntnisse von noch früher gebauten Tunnels verfügten, die in unserer Zeit in Vergessenheit geraten sind. Den überlieferten Aufzeichnungen zufolge sind im Mittleren Osten schon früh zahlreiche andere Tunnel gebaut worden. Um das Jahr 600 v. Chr. hatte man mit einer bemerkenswert leistungsfähigen Vermessungstechnik Tunnel von beiden Portalen aus über 500 m weite Entfernung vorgetrieben.

Tunnel können entweder gebohrt (geschlossene Bauweise) oder durch Ausschachten und anschließendes Abdecken (offene Bauweise) gebaut werden. Ursprünglich wurden Tunnel nur durch selbsttragende geologische Schichten getrieben,

*Eine für den Einsatz in nachgiebigem Boden konstruierte Tunnelvortriebsmaschine. Im Falle andersgearteter Einsatzbedingungen können unterschiedliche Schneidzeuge und Preßkolbenaufsätze benutzt werden. Das Schneidzeug wird von vier Hydro-Rotationsmotoren angetrieben. Gleichzeitig wird der Vortriebsschild mit dem Schneidzeug von 16 hydraulischen Preßkolben vorwärtsgedrückt. Die Antriebsmechanismen für Schneidzeug und Preßkolben sind miteinander koordiniert, damit beim Aussetzen der Schneidzeugbewegung auch der Vorwärtsdruck verringert wird. Mit dem Schneidzeug rotierende Auffangtrommeln fangen das Fräsgut auf, und es kommt auf ein Förderband.*





**Oben:** Vollmechanische Schildvortriebsmaschine für harte und weniger harte Felsformationen. Ein Großteil der Arbeiten wird hydraulisch gesteuert. In der Mitte links ist die Ventilbatterie der Hydraulikanlage zu sehen.

da noch keine Techniken zur Abstützung von nachgiebigen Bodenformationen, wie z.B. weichem Ton und Kies, unter dem Grundwasserspiegel entwickelt worden waren.

Im Zeitalter der Kanäle (18. und frühes 19. Jahrhundert) wurden auch viele große Tunnel mit gezimmerten vorläufigen Stollen und bleibender Ausmauerung aus Ziegeln gebaut. Mit dem Auftreten der Eisenbahnen mußten größere Tunnelabschnitte gebaut werden. Die vorläufigen Abstützungen in nachgiebigen Bodenformationen wurden immer weiter verbessert, so daß sie in einigen Fällen sogar den Aufbau einer Ausmauerung behinderten. Dies machte neue Abstützmethoden erforderlich, die mittlerweile in der ganzen Welt für den Tunnelbau in nachgiebigen Bodenformationen zum Einsatz gelangen.

Die bedeutendste Entwicklung war die Erfindung des Vortriebschildes von Marc Isambard Brunel zum Bau des Tunnels, der zwischen 1827 und 1842 unter der Themse (England) gebaut wurde. Dieser Schild besaß einen rechteckigen Querschnitt und wurde von Schraubenwinden vorgeschoben, die sich ihrerseits auf der aus Ziegeln gemauerten Auskleidung des fertigen Tunnelteils abstützten. Die modernen Vortriebsschilde gehen auf die Entwicklung von G. H. Greathead zurück, der im Jahre 1869 einen runden Vortriebschild für einen anderen unter der Themse durchgeföhrten Tunnel konstruierte, der dieses Mal durch eine 'trockene' Tonschicht führte und mit Gußeisen, einer weiteren Erneuerung, ausgekleidet wurde.

Bei dem Vortriebschild handelt es sich um ein vorschiebbares, im allgemeinen zylindrisches Gehäuse, mit dem das Erdreich um die Vortriebsstelle herum sowie der unmittelbar hinter ihr gelegene Bereich abgestützt werden. Der Schild, mit dem die mit dem Vortrieb, dem Abtransport der gelösten Massen und dem Auskleiden beschäftigten Arbeiter geschützt werden, besteht aus einem Stahlmantel, dessen Außendurchmesser etwas größer als der der Tunnelauskleidung ist und dessen Innenraum durch Membranen oder — insbesondere bei größeren Schilden — durch stabile Verstrebungen (Einrüstung) aus Baustahl verstiftet wird. In den vorderen Teil des Schildes ist ein kräftiger Vortriebsrand aus Stahl in der Form des angestrebten Tunnelprofils zum Vortrieb in der auszubrechenden Schicht integriert. Hinter diesem Schildkopf sind hydraulische Preßrammen im Mantel angeordnet, die den Schild unmittelbar nach dem Forträumen der ausgebrochenen Schichten weiter vorschieben. Hinter dem Schild werden Gleitkufentransportmittel zur Beförderung der gesamten, für den modernen Tunnelbau erforderlichen Räum- und Vermauerungsausrüstung nachgezogen.

### Methoden des Tunnelbaus

Die beim Tunnelbau angewandten Methoden führten im Laufe der Zeit zu einer Trennung in zwei genau abgegrenzte Bereiche: Tunnelbau in standfesten und Tunnelbau in nachgiebigen Bodenformationen. In jedem Falle wird der Vortrieb sowohl in Handarbeit als auch von Maschinen durchgeführt, obgleich die für jede Vorgehensweise erforderlichen Techniken stark voneinander abweichen.

Wird ein Tunnel ohne Einsatz einer Tunnelbaumaschine durch harte Bodenformationen vorgetrieben, bohrt man zunächst Sprenglöcher mit Preßluft- oder Hydraulikbohrern in das Gestein, damit Sprengsätze in die Bohrlöcher einge-

bracht und in bestimmten Zeitabständen zur Explosion gebracht werden können. Auf diese Weise wird sowohl die gewünschte Zerkleinerung der Felsbrocken erreicht als auch das Tunnelprofil erhalten. Wo ausreichender Raum zur Verfügung steht, werden die Bohrer auf einem Bohrunterwagen oder Tunnel-Großbohrwagen befestigt, wodurch dem Arbeiter der Einsatz mehrerer Bohrer gleichzeitig ermöglicht wird. Der Bohrvorgang wird sorgfältig überwacht, damit für jede einzelne Sprengung die größtmögliche wirksame Länge (Schachttiefe) erreicht wird. Im allgemeinen wird nach zwei Bohrverfahren vorgegangen: dem Keileinbruch und dem Brennereinbruch (Michiganseinbruch). Beim Keileinbruch werden die Bohrlöcher so vorgetrieben, daß sie keilförmig aufeinanderzulaufen, so daß die Gesteinszümmen beim Sprengen zur Mitte des Tunnels zurückgeschleudert werden. Beim Michiganseinbruch verlaufen ungefähr vier Bohrungen parallel zueinander, so daß bei der Sprengung ein zylindrisches Loch entsteht. Dieses Verfahren erfordert keine so hochqualifizierte Arbeit wie beim Keileinbruch und setzt eine größere Menge Gestein frei. Andererseits wird hierbei mehr Sprengstoff verbraucht.

In beiden Fällen ist die Vorgehensweise der Gesteinszertrümmerung die gleiche. Die Sprengungen sind so aufeinander abgestimmt, daß die erste Explosion in der Mitte der Vortriebsstelle (Ortsbrust) beginnt und einen Hohlräum bildet, der die durch die Folge-Explosionen losgebrochenen Gesteinsmassen aufnehmen kann. Mit Fortschreiten der Sprengungen werden konzentrische Ringschichten nach innen, d.h. in den mittleren Bereich, geschleudert. Jedoch überschreitet das Volumen der ausgebrochenen Gesteinsmengen in keinem Falle das Volumen des mittleren Bereiches, so daß ausreichender Raum für das fortzuräumende lose Gestein vorhanden ist.

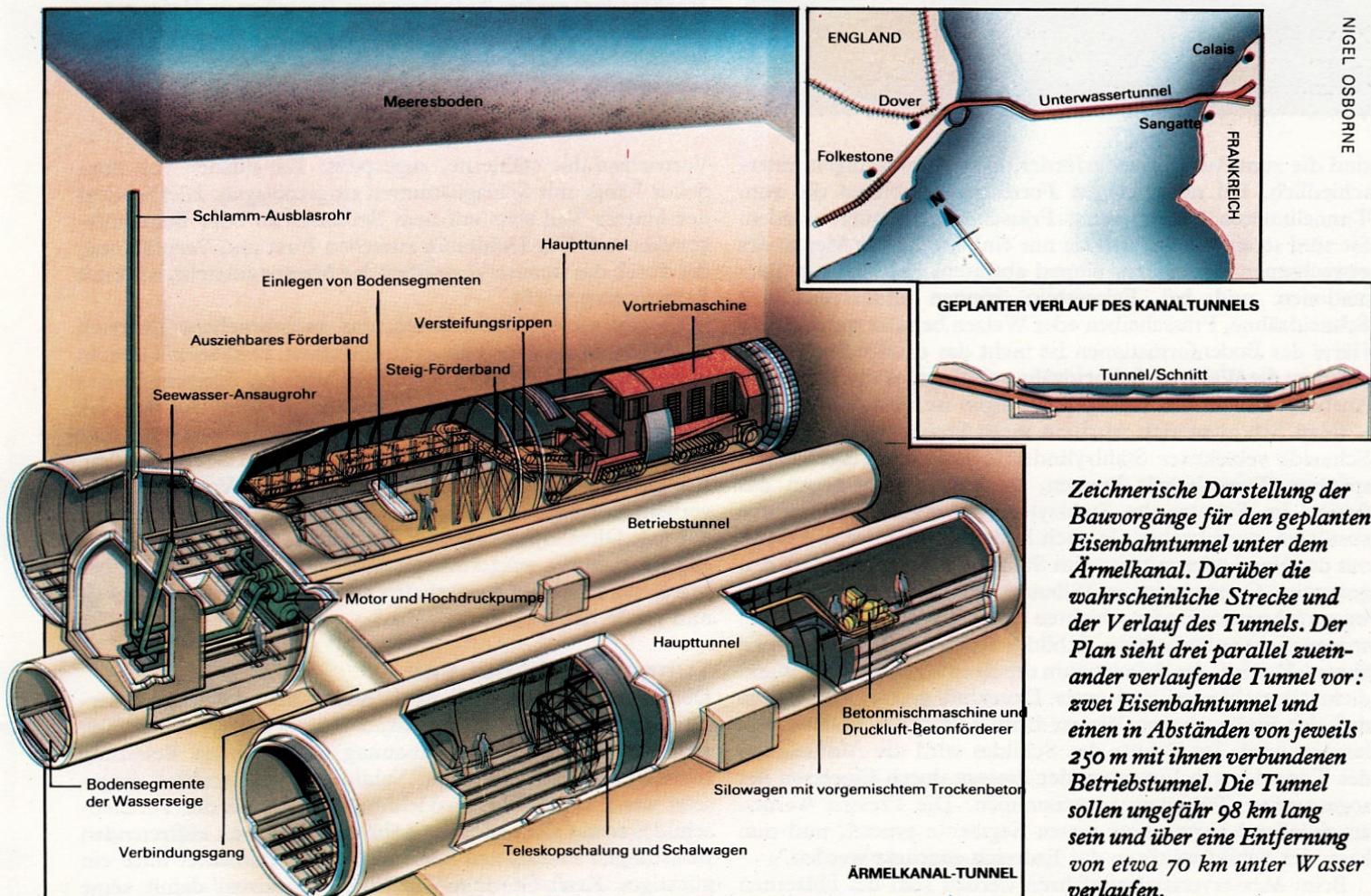
Die Methoden des Tunnelbohrns in nachgiebigen Bodenformationen entwickelten sich aus den im Bergbau üblichen

Verfahren. Der Vortrieb geschieht im Schutz von starken Bohlen oder Kanaldielen (Pfählen), die am Gewölbeumfang in das Erdreich eingeschlagen werden. Darunter wird mit Pählern (Reitern) das Lehrgerüst für das endgültige Gewölbe auf eine Ringschwelle gesetzt. Mit jedem neuen Vortriebabschnitt wurden neue Pähle und Reiter eingebaut. Es versteht sich von selbst, daß diese Arbeit nur langsam fortschritt, da bei jedem Arbeitsgang mit beträchtlicher Sorgfalt vorgenommen werden mußte, um eine Bewegung der Erdmassen zu verhindern. Trotz dieser Vorsichtsmaßnahmen kam es jedoch zu Unfällen in Form von häufigen Deckeneinbrüchen, die oft zu Verletzungen und zum Tode der Arbeiter führten.

### Maschineller Vortrieb

Die frühesten Versuche zur maschinellen Durchführung der Vortriebsarbeiten wurden etwa Ende des 19. Jahrhunderts vorgenommen. Damals erfand Colonel Beaumont zur Durchführung seines Versuchs, den ersten Tunnel zwischen England und Frankreich zu bauen, eine Maschine zum Vortrieb durch Kalkschichten. Als der Tunnel etwa eineinhalb Kilometer weit unter dem Meeresboden vorgetrieben worden war, wurde der Gedanke, diesen Tunnel zu bauen, aufgegeben, und zwar eher aus politischen und militärischen Erwägungen heraus als aufgrund von technischen Schwierigkeiten. Es ist interessant, daß das jüngste Projekt eines Kanaltunnels auf der Fluchlinie des Tunnels von Beaumont geplant wurde. Der von ihm vor so vielen Jahren festgelegte Trassenverlauf — so kann man schließen — war in technischer Hinsicht gut durchdacht.

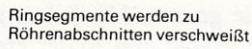
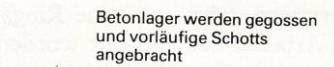
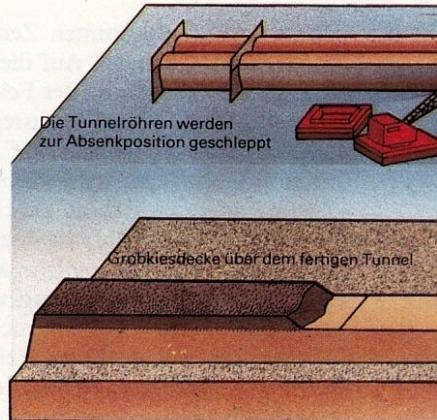
Tunnelbaumaschinen arbeiten nach zwei Verfahren: dem Messervortriebsverfahren und dem Schildvortriebsverfahren. Die für den Schildvortrieb benutzte Maschine muß zylindrisch geformt sein, da sich die vollständige Vorderseite des Schildes dreht. Je nach Härte der jeweiligen Bodenformationen



Zeichnerische Darstellung der Bauvorgänge für den geplanten Eisenbahntunnel unter dem Ärmelkanal. Darauf die wahrscheinliche Strecke und der Verlauf des Tunnels. Der Plan sieht drei parallel zueinander verlaufende Tunnel vor: zwei Eisenbahntunnel und einen in Abständen von jeweils 250 m mit ihnen verbundenen Betriebstunnel. Die Tunnel sollen ungefähr 98 km lang sein und über eine Entfernung von etwa 70 km unter Wasser verlaufen.

**BAUABSCHNITTE DES HAFENTUNNELS  
VON HONGKONG**


RICHARD COSTAIN

Stahlbleche werden zu  
Ringsegmenten verschweißtRingsegmente werden zu  
Röhrenabschnitten verschweißtBetonlager werden gegossen  
und vorläufige Schotts  
angebrachtRöhrenabschnitte werden  
zu Tunnelröhren verschweißtDie Tunnelröhren werden  
zur Absenkposition geschleppt

Großkiesdecke über dem fertigen Tunnel

**Oben:** Bauabschnitte des quer durch den Hafen von Hongkong verlaufenden Tunnels. Die aus Stahl vorgefertigten Tunnelröhrenabschnitte wurden nach Ausbaggen einer quer durch das Hafenbecken verlaufenden Lagerrinne auf eine aus planiertem Granitschotter bestehende Unterlage abgesenkt. Der Bau wurde im Jahre 1969 in Angriff genommen, und der Tunnel wurde 1972 eröffnet.

**Links:** Der Tunnel von Hongkong wurde nach der Bauweise des 'Einschwimmens von Röhren' gebaut. Die bis zu 114 m langen Stahlbeton-Zwillingsröhren wurden an Land vorgefertigt, eingeschwommen und dann mit Schleppern zu ihrer Aufnahme quer durch das Hafenbecken ausgebaggerten Rinne bugsiert und abgesenkt. Nachdem die einzelnen Teile miteinander verbunden worden waren, wurden die Stahlbleche, die man beim Einschwimmen der Röhren zu deren Verschluß benutzt hatte, wieder herausgeschnitten.

**Rechts:** Eine weitere Aufnahme zum Tunnelbau im Hafen von Hongkong: Für den Bau wurden riesige, vorgefertigte Segmente benötigt. Diese Segmente wurden später unter Wasser miteinander verschweißt.

sind die zum Ausbrechen erforderlichen Anordnungen unterschiedlich. Bei nachgiebigen Formationen können die zum Tunnelinneren hinweisenden Frässcheiben benutzt werden. Sie sind so eingestellt, daß sie nur eine bestimmte Menge des gewachsenen Bodens auf einmal abfräsen. Bei härteren Formationen und bei Felsgestein können unterschiedliche Schneidzähne, Frässcheiben oder Walzen benutzt werden. Die Härte der Bodenformationen ist nicht das einzige Kriterium, von dem die Wahl der Schneidzähne abhängt, es muß auch die Ausbrechfähigkeit in Erwügung gezogen werden.

Beim Schildvortrieb wird ein meist kreisrunder, mit einer Schneide versehener Stahlzylinder in Querschnittsgröße des späteren Tunnels mit Pressen, die sich jeweils gegen das fertige, im Schutze des Stahlzylinders hergestellte Gewölbe abstützen, vorgetrieben. Je nach Bodenart wird der Ausbruch mit der Hand oder mit einer im Stahlzylinder rotierenden, den gesamten Querschnitt ausfüllenden Bodenfräse gelöst. Bei wasserführenden Bodenschichten kann, falls der Grundwasserspiegel nicht außerhalb des Schildes durch eine Wasserhaltung abgesenkt wird, der Arbeitsraum durch eine rückwärtige Wand dicht abgeschlossen und unter Druckluft gesetzt werden, so daß der Einbruch von Wasser beim Lösen des Bodens verhindert wird. Im Schutz des Schildes wird die Auskleidung des Tunnels nach Einziehen der Pressen durch Einsetzen der sogenannten Tübbings vorgenommen. Die Pressen werden anschließend gegen diese neuen Segmente gesetzt, und nun kann der Schild weiter in das Erdreich gedrückt werden.

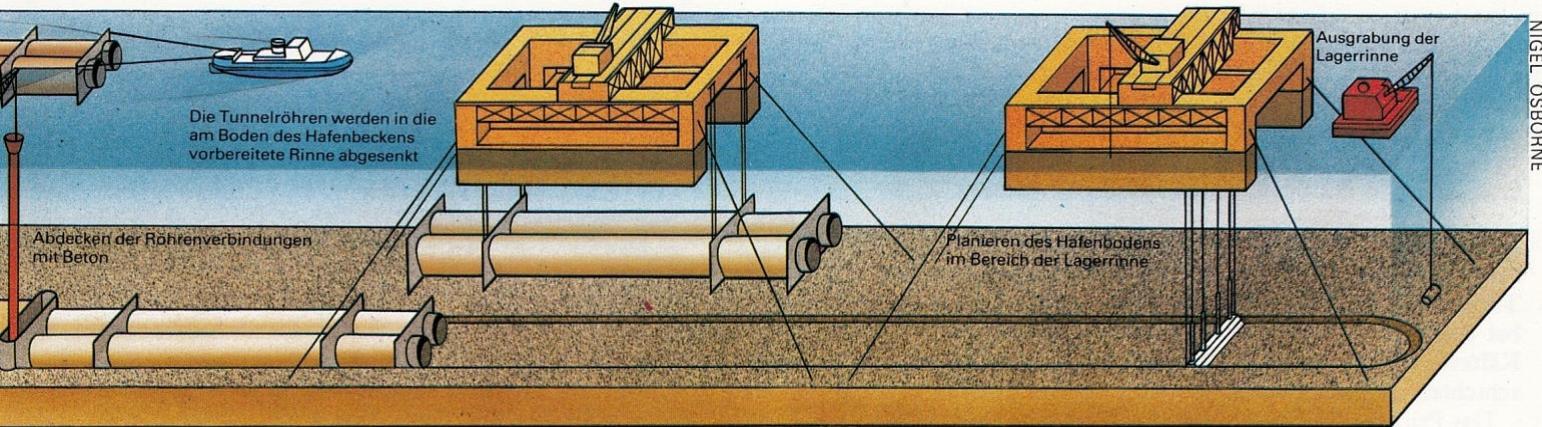
Beim Messervortriebsverfahren werden statt der hölzernen

Vortriebspfähle stählerne, zugespitzte Kanaldielen von doppelter Länge mit Schlaghämtern eingeschlagen. Hierbei liegt der hintere Teil stets auf dem Betonausbau oder Betonhilfsgewölbe auf. Der Hohlraum zwischen First und Verpfahlung, der durch das weitere Vortreiben der Messer entsteht, wird mit Zement ausgepreßt.

Es gibt viele Möglichkeiten, das ausgebrochene Erdreich oder Gestein aus dem Tunnel zu entfernen. In kleinen Tunnels werden sowohl bei nachgiebigem als auch bei felsigem Untergrund häufig Schmalspur-Eisenbahnen zum Abtransport benutzt und in Handarbeit, mit dem Förderband oder mit mechanischen, von Druckluft angetriebenen Ladern beladen. Bei größeren Tunnels und solchen, deren Vortriebstrecke verhältnismäßig eben ist, werden zum Abtransport auch normale Dieselkipper benutzt. Sie werden von mit Grab- oder Baggertschaufeln ausgerüsteten Rad- oder Raupenladern beladen, deren Hauptigenschaften leichte Manövriertfähigkeit und große Arbeitsleistung sind.

### Tunnelauskleidungen

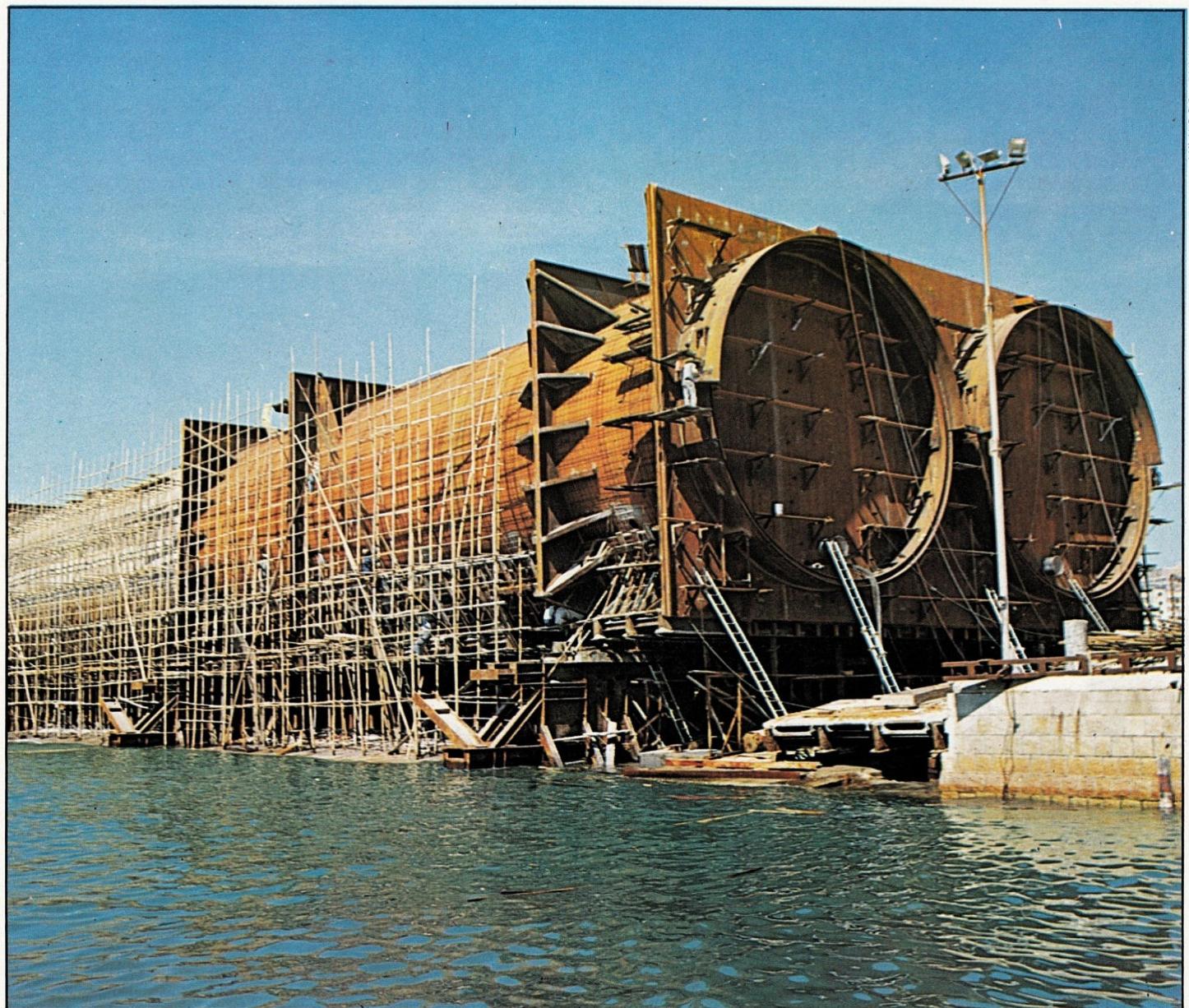
Die Auskleidung eines Tunnels bedarf mannigfaltiger Überlegungen. Die allerwichtigste ist, daß der Tunnel jeder auf ihn während oder nach der Erbauung einwirkenden Belastung standhalten muß. Soll eine Schildvortriebsmaschine eingesetzt werden, muß die Auskleidung dem Druck des Vortriebsschildes sowie allen anderen während der Arbeit auftretenden Belastungen standhalten können. Der Schildmantel muß ein günstiges Kraft-Gewicht-Verhältnis aufweisen, damit seine



Wandstärke zur Vermeidung unnötig starker Vortriebskräfte auf ein Mindestmaß reduziert werden kann.

Ursprünglich wurden Auskleidungen aus Holz gezimmert und später mit Ziegeln gemauert; jedoch war die bedeutendste Neuerung beim Tunnelbau in nachgiebigen Bodenformationen Ende des vergangenen Jahrhunderts die Einführung gußeiserner Ringsegmente (Tübbings). Heute ist Gußeisen ein teurer Werkstoff, weshalb man in der Regel auf vorgefertigte Beton-Tübbings zurückgreift. Während jedoch das Auskleiden des Tunnels mit Tübbings noch an die bergmännischen Bauweisen

erinnert, werden seit neuester Zeit die teuren Einrüstungen durch Spritzbeton (Torkretbeton) mit Stahleinlagen abgelöst. Auf dieser Schicht wird die Tunneldichtung verlegt und anschließend die tragende Tunnelauskleidung in Stahlbeton eingebracht. Beim Planen von Tunnelauskleidungen müssen auch solche Faktoren wie die Einwirkung von Wasser- und Bodendrücken, der Einfluß einer durch Sprengungen bewirkten Umverteilung der auf die Tunnelauskleidung einwirkenden Kräfte sowie jegliche besonderen Eigenschaften des Bodens berücksichtigt werden. Ist z.B. die Standfestigkeit eines Ge-



birges relativ begrenzt, kann die Tunnelauskleidung ringsum mit Stahlankern im Gestein verankert werden. Durch dieses Verfahren werden die umliegenden Gesteinsschichten nicht nur abgestützt, sondern sie tragen auch mit. Es entsteht eine Verbundwirkung durch das Ausfüllen der Spalten und das satte Anliegen des Spritzbetons am Ausbruchrand.

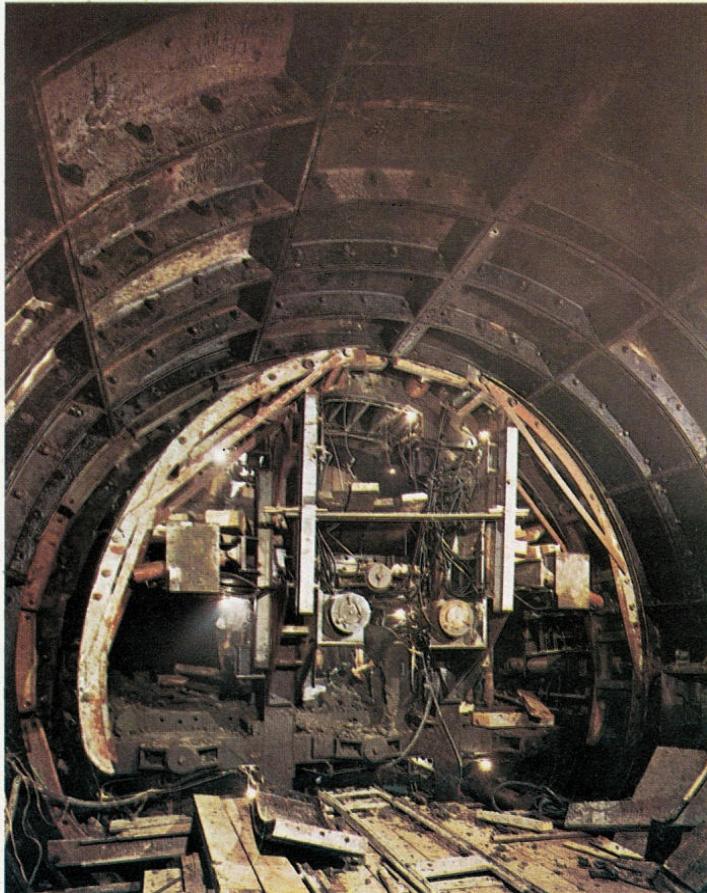
### Besondere Bauweisen

Das Vorhandensein von Grundwasser beeinträchtigt den Tunnelbau sehr und führte zur Entwicklung von Bauweisen, bei denen Druckluft, das Versteinerungsverfahren oder das Kälteverfahren beim Tunnelbau in nachgiebigen Bodenschichten eingesetzt werden.

Das Prinzip, das Eindringen von Wasser in Taucherglocken durch Einblasen von verdichteter Luft zu verhindern, war seit Jahrhunderten bekannt. Es dauerte jedoch bis zum vorigen Jahrhundert, bis Druckluft auch beim Tunnelbau eingesetzt wurde, und zwar zum ersten Male von James Greathead. So lange war der Einsatz von Druckluft mangels ausreichender technischer Kenntnisse verzögert worden. Die Luftschieleuse, die ein Überwechseln von einem Druckbereich in einen anderen ermöglichte, wurde erst im Jahre 1830 erfunden.

In der Hauptsache wird Druckluft zur Verhinderung des Eindringens von Wasser in den Tunnel verwendet. Sie erweist sich aber auch insofern als nützlich, als sie den im Inneren des

**Unten:** Zwei Aufnahmen von Arbeiten an der neuen Untergrundbahn-Linie 'Jubilee Line' in London. Links der Vortriebsschild mit der Rüstmaschine zum Einsetzen der Tübbings zur Deckenabstützung. Das zweite Foto zeigt das Förderband zum Abtransport des Fräsgutes und im Hintergrund die Fräse an der Vortriebsstelle des Tunnels. Mit einem durch die Bohrung in der im Vordergrund aufgehängten Aluminiumplatte gerichteten Laserstrahl wird kontrolliert, ob der Tunnel einwandfrei gerade verläuft.



Tunnels herrschenden Druck vergrößert, was in einigen Fällen dazu führt, daß die Stollen weniger aufwendig geziemt werden müssen. Natürlich bestehen beim Einsatz von Druckluft gewisse Risiken, da der in der verdichteten Luft enthaltene Stickstoff unter Druck in den Blutkreislauf eintritt und die sogenannte 'Taucherkrankheit' hervorruft. Jedes Land hat seine bevorzugten Verfahrensweisen; jedoch sind beim Einsatz von Druckluft strenge Vorschriften zu beachten, um zu gewährleisten, daß sowohl Drucksteigerungen als auch -verringerungen auf sichere und vorschriftsmäßige Weise durchgeführt werden. So sind durch Druckänderungen bedingte Gesundheitsschäden erheblich zurückgegangen.

Zur Verringerung des Eindringens von Wasser in einen Tunnel kann auch neben dem Druckluftverfahren eine Spezialbehandlung des gewachsenen Bodens, in dem der Tunnel vorgetrieben wird, vorgenommen werden. Neben dem Versetzen auch feinsten Bodens mit eingespritztem Zement oder Ton können auch, wie beim Joosten-Verfahren, chemische Lösungen in z.B. relativ lockeres Gestein eingepreßt werden, um Verfestigungen zu erzielen. Diese Arbeiten können sowohl von außen als auch aus dem Tunnel heraus durchgeführt werden.

Das Gefrierverfahren ist schon im Jahre 1883 angewandt worden, als die erste Gefrieranlage zur Schachtabteufung benutzt wurde. Bei diesem Verfahren werden durch Bohrrohre rings um das spätere Tunnelprofil Kältelösungen wie tiefgekühlte Sole oder flüssiger Stickstoff eingepreßt, so daß der Boden, z.B. wassergesättigter, schwimmender Boden, fest gefriert; in dem auf diese Weise verfestigten Boden kann der Tunnel vorgetrieben werden.

Obgleich die Kosten für den Tunnelbau in einigen Fällen die für andere Bauformen entstehenden Kosten übersteigen, führt doch ein ständig wachsendes Umweltbewußtsein dazu, daß viele Leute dem Bau eines Tunnels gegenüber den großflächigen Zerstörungen durch riesige Baustellen im innerstädtischen Bereich den Vorzug geben.



# TURBINE

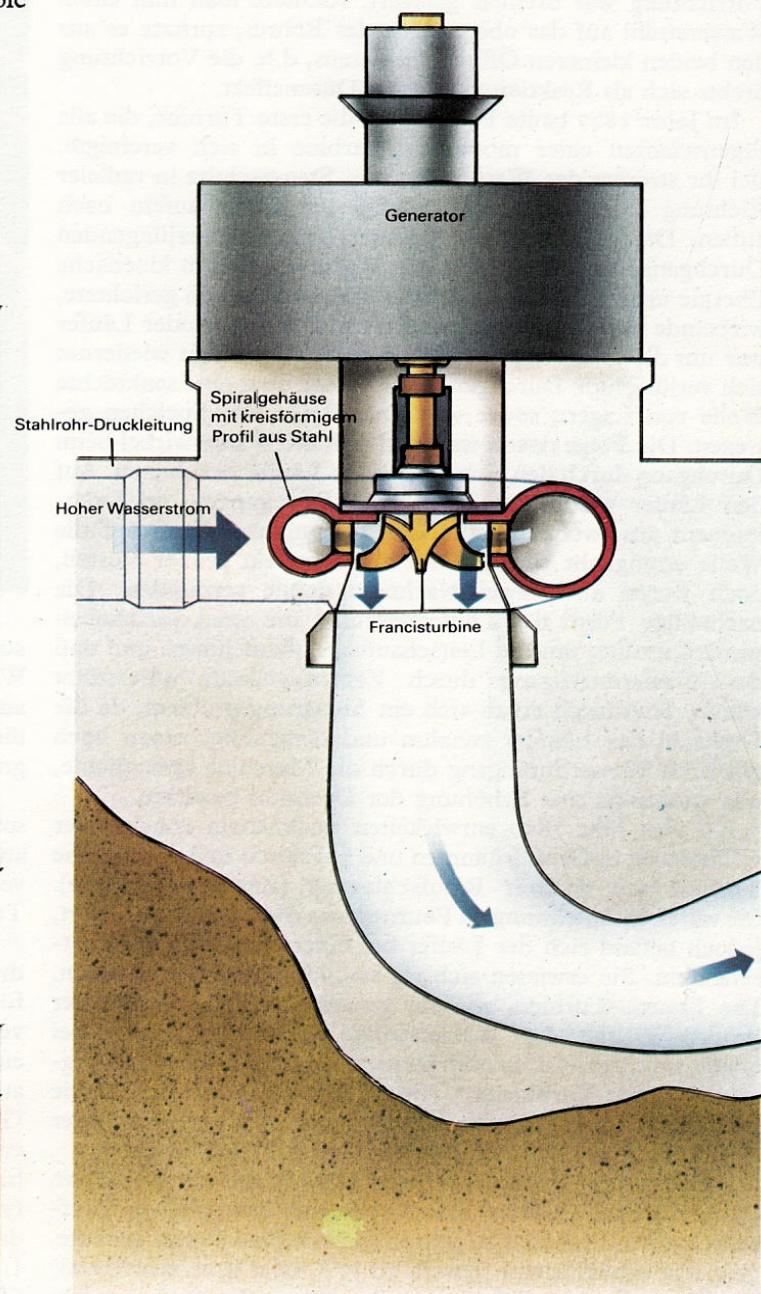
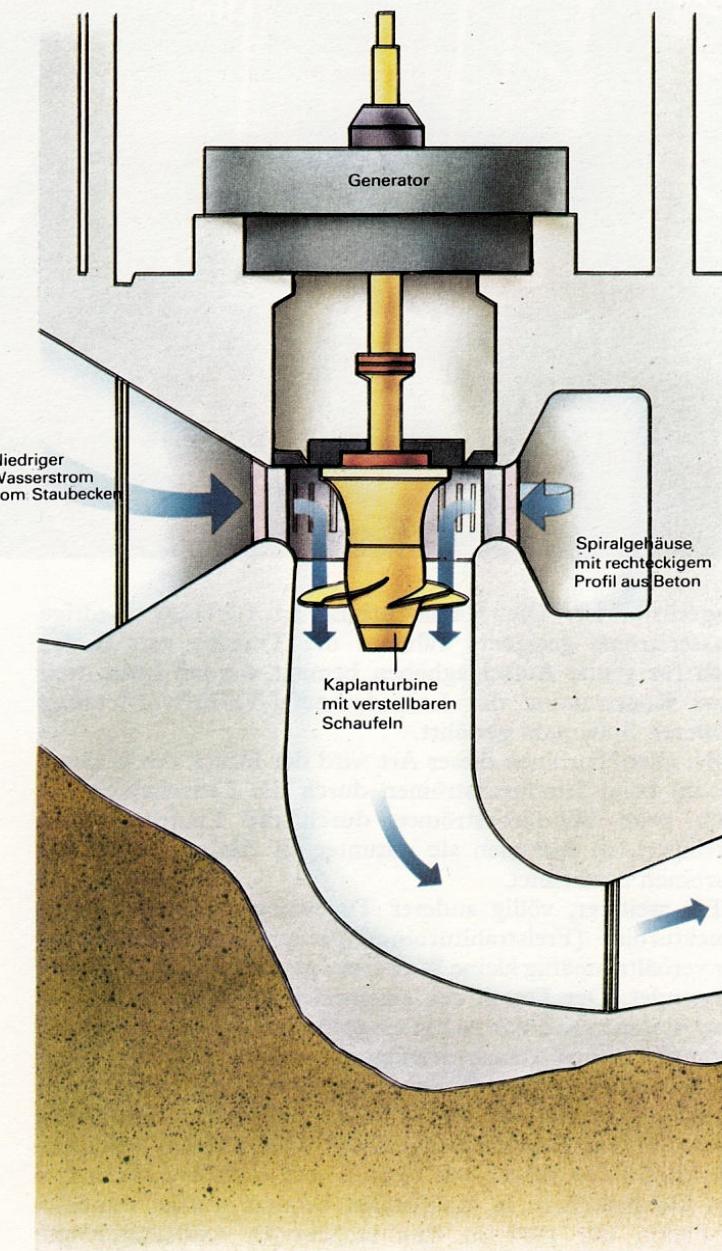
Die entweder durch Wasser oder, was noch häufiger der Fall ist, durch Dampf angetriebene Turbine hat alle anderen Kraftmaschinen zur Erzeugung großer Mengen elektrischer Energie abgelöst.

Eine Turbine ist eine Strömungsmaschine, die in einem rotierenden Laufrad einer Flüssigkeit oder einem Dampf mechanische Energie entzieht und diese durch eine rotierende Welle zur Leistung von Arbeit, wie z.B. die Erzeugung von Strom in einem Kraftwerk, weiterleitet. Eine GASTURBINE ist ein aus Verdichter, Brennraum und Turbine bestehendes System, das einen vollständigen Motor bildet. Dieser Artikel beschränkt sich auf Wasser- und Dampfturbinen. Das Wort Turbine leitet sich aus dem lateinischen Wort Turbo, d.h. 'Wirbel', ab und wurde zuerst von C. Burdin (1790 bis 1873) benutzt. Sein Schüler B. Fourneyron (1802 bis 1867) baute die ersten modernen Turbinen, die auch tatsächlich nutzbringend eingesetzt werden konnten.

Wendet man den ersten Hauptsatz der Thermodynamik, der sich auf das Prinzip von der Erhaltung der Energie bezieht, an, so ergibt sich, daß die für einen Mengenfluß der Flüssigkeit entwickelte Kraft gleich dem spezifische Stau-Enthalpie

genannten Unterschied einer Flüssigkeitseigenschaft ist. Dies gilt unter der Voraussetzung, daß die zur Leistung der Arbeit benutzte Flüssigkeit gleichmäßig die Turbine durch-

*Eine Francisturbine mit Spiralgehäuse. Der von einem Flüssigkeitsteilchen ausgeübte Druck setzt sich aus statischem und dynamischem Druck zusammen. Ersterer wird mit dem Manometer ermittelt, während letzterer die Kraft ist, die auf einen gegen den Wasserstrom hingeführten Gegenstand einwirkt und sich im Quadrat zur Geschwindigkeit vergrößert. Während das Wasser das Spiralgehäuse in der Turbine durchströmt und die Schaufeln dreht, verringert sich der Durchmesser des Spiralgehäuses und wandelt einen Teil des statischen Druckes in dynamischen Druck um. Die meisten Zentrifugalpumpen sind ebenfalls mit einem Spiralgehäuse ausgerüstet; jedoch bewegt sich die Flüssigkeit in die entgegengesetzte Richtung, weil erreicht werden soll, daß ein Wasserstrom mit niedrigem Druck und hoher Geschwindigkeit in einen solchen mit hohem Druck und niedriger Geschwindigkeit umgewandelt wird — und nicht umgekehrt (siehe 'Pumpe').*



strömt, die Wärmeverluste durch die Gehäusewandung unerheblich sind und die Eintritts- und Austrittsöffnungen auf senkrechter Ebene und nicht zu weit auseinanderliegen. Diese Eigenschaft setzt sich aus zwei Größen zusammen: der thermodynamischen Größe Enthalpie und der kinetischen Energie, der Energie der Bewegung. Auf Dampf bezogen ist Enthalpie von Druck und Temperatur abhängig, während die Differenz der Stau-Enthalpie für Wasser der Differenz des Wasserdrukkes an der Maschine, geteilt durch die Dichte des Wassers, entspricht. Wegen der infolge ungleichförmiger Fließeigenschaften auftretenden allgemeinen Störungen im Fließverhalten liegt die entwickelte Kraft etwas unter dem theoretischen Idealwert.

### **Wasserturbine**

Am Anfang der Industriellen Revolution suchte man wegen der Begrenzungen möglicher Drehzahlen und der Betriebswasser- bzw. Stauwasserangebotsmengen eine Alternative zur Wasserkraftmaschine bzw. zum Wasserrad. Um 1740 stellte Barker seine später 'Schottisches Wasserrad' genannte Wasserkraftmaschine vor, die aus einer senkrechten Röhre bestand, die am unteren Ende in zwei Arme auslief, in die jeweils eine tangentiale Öffnung geschnitten war. Diese Vorrichtung war drehbar gelagert. Richtete man nun einen Wasserstrahl auf das obere Ende des Rohres, spritzte es aus den beiden kleineren Öffnungen heraus, d.h. die Vorrichtung drehte sich als Reaktion auf diesen Düseneffekt.

Im Jahre 1827 baute Fourneyron die erste Turbine, die alle Eigenschaften einer modernen Turbine in sich vereinigte. Bei ihr strömte das Wasser über ein Steuerschütz in radialer Richtung durch einen Satz ortsfester Leitschaufeln nach außen. Die Leitschaufeln bildeten einen sich verjüngenden Durchgang, so daß ein Teil des Wasserdrukkes in kinetische Energie umgewandelt wurde, was eine nach außen gerichtete, wirbelnde Wasserbewegung bewirkte. Der Rotor oder Läufer war um die Leitschaufeln angeordnet und enthielt wiederum sich verjüngende Durchgänge. Er wurde über eine senkrechte Welle von Lagern sowie von einer Reihe von Speichen getragen. Die Folge davon war, daß sich die Wasserwirbel beim Durchgang durch den sich drehenden Läufer beruhigten. Auf den Läufer wiederum übten diese Bewegungen ein Drehmoment aus, wodurch eine Übertragung von Kraft auf die Welle ermöglicht wurde. Dies war zwar ein großer Vorteil, doch waren auch zwei Nachteile damit verbunden: Die nachteilige Form der Läuferlagerung, die axial verschoben werden mußte, um die Leitschaufeln aufzunehmen, und daß der Wasserdurchgang durch Zentrifugalkraft unterstützt wurde. Hierdurch ergab sich ein Steuerungsproblem, da die Drehzahl des Läufers zunahm und demzufolge einen noch größeren Wasserdurchgang durch die Maschine ermöglichte, was wiederum eine Erhöhung der Drehzahl bewirkte.

Um das Jahr 1850 entwickelten unabhängig voneinander J. Thomson in Großbritannien und J. Francis in Amerika eine Turbine mit äußerer Beaufschlagung (Zentripetalturbine). Sie waren in Anlehnung an Fourneyrons Maschine konstruiert, jedoch befand sich der Läufer bei ihnen innerhalb der Leitschaufeln. Sie erwiesen sich als stabile, haltbare Maschinen. Die Francis-Turbine, wie sie genannt wird, ist wegen der großen Vielfalt der Wasserströme (Schluckfähigkeit), bei denen sie eingesetzt werden kann, noch immer die am häufigsten benutzte Turbinenart. (Der Wasserstrom ist die Energie pro Gewichtseinheit einer Flüssigkeit, die sich aus ihrer Höhe, ihrer Geschwindigkeit und ihrem Druck ergibt.)

Zu den neueren Entwicklungen gehören die von V. Kaplan im Jahre 1920 gebaute Axialturbine mit beweglichen Laufradschaufeln und eine im Jahre 1956 von Paul Deriaz gebaute, gemischt beaufschlagte (jeweils zu 50% axial bzw. zentripetal) Turbine, die ebenfalls mit beweglichen Laufradschaufeln



ausgerüstet ist. Die Kaplanturbine ist für sehr niedrige Wasserströme geeignet, während die Turbine von Deriaz auch für große Aufschlaghöhen benutzt werden kann, weil diese Konstruktion der Leitradtschaufel-Verstellvorrichtung größeren Spielraum gewährt.

Bei allen Turbinen dieser Art wird der Druck des Wassers sowohl beim Hindurchströmen durch die Leitschaufeln als auch beim Hindurchströmen durch die Läuferschaufeln verringert, so daß man sie mitunter als Aktions/Reaktions-Turbinen bezeichnet.

Ein weiterer, völlig anderer Turbinentyp ist die Gleichdruckturbine (Freistrahlaturbinen). Freistrahlaturbinen werden für verhältnismäßig kleine Wasserströme bei großen Fallhöhen verwendet. Der Druck des einströmenden Wassers wird in einer symmetrisch zur Achse eingesetzten Düse auf normalen atmosphärischen Druck verringert, wodurch ein mit hoher Geschwindigkeit durchfließender zusammenhängender Strahl entsteht, der auf am Rande eines Laufrades angeordnete becherförmige Schaufeln abgestrahlt wird. Diesen Turbinentyp, der in den Jahren um 1850 in sehr einfacher Form von den Goldwäschern in Kalifornien benutzt wurde, wandelte I. Pelton um 1880 in eine tangentiale, teilbeaufschlagte Gleichdruckturbine um, die als Peltonturbine bezeichnet



CEGB wurde. Nach weiterführenden Entwicklungen entstand zwischen 1903 und 1918 die Durchströmturbine. In beiden Fällen besteht der Leitapparat aus einer runden Düse, die durch eine in Längsrichtung verschiebbare Nadel verschlossen werden kann. Beide Turbinen-Typen werden auch heute noch benutzt.

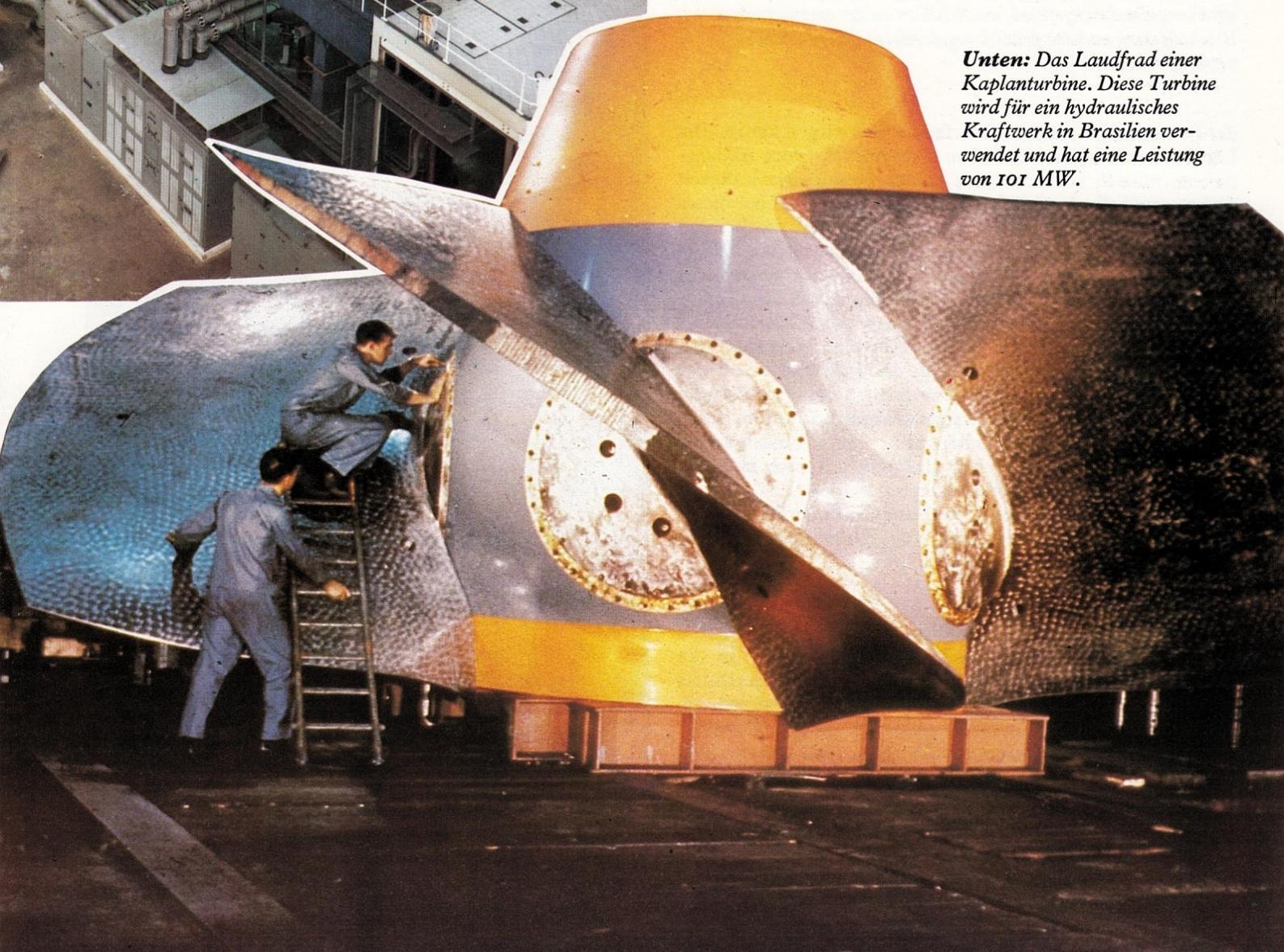
### Dampfturbine

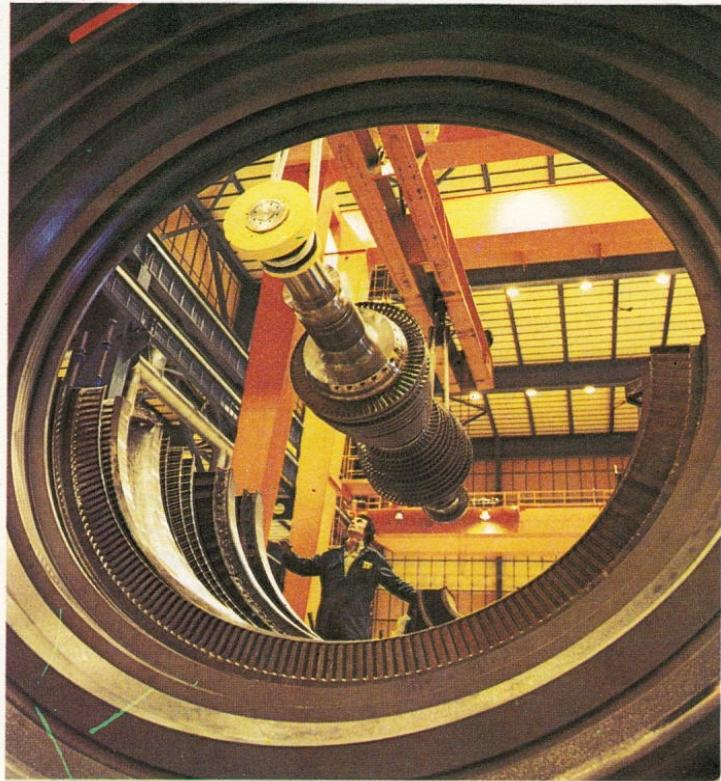
Ebenso wie bei der Wasserturbine führte auch bei der Dampfturbine die Unzufriedenheit der Energietechniker mit den damaligen Kolbendampfmaschinen zu weiteren Entwicklungen, in deren Verlauf der Schwede C.G.P. De Laval (1845 bis 1913) eine einstufige Gleichdruckturbine und der Engländer Ch. A. Parsons eine mehrstufige Überdruckturbine (Aktions-/Reaktions-Turbine) entwickelten. Bei beiden Dampfturbinen handelte es sich um Axialturbinen.

Das Aussehen dieser Dampfturbinen unterschied sich stark von dem der Wasserturbinen, da Dampf im Gegensatz zu Wasser eine niedrige Dichte hat und komprimiert werden kann. Durch Kondensieren des von der Turbine kommenden Abdampfes in einem wassergekühlten Wärmetauscher ist es möglich, einen nur  $1/20$  bar betragenden Austrittsdampfdruck zu erreichen. Selbst bei dem damals niedrigsten Kesseldruck von etwa 4 bar wären durch die vollständige Ausdehnung in einer Düse Dampfgeschwindigkeiten erzielt worden, die die bei größtem verfügbaren Wasserstrom erreichten Drehzahlen

**Links:** Ein 660 MW-Turbogenerator, der sich in einem mit Kohle betriebenen Kraftwerk befindet. Die Einheit besteht aus 5 Zylindern, die sich in 'Tandemanordnung' befinden.

**Unten:** Das Laufrad einer Kaplan-Turbine. Diese Turbine wird für ein hydraulisches Kraftwerk in Brasilien verwendet und hat eine Leistung von 101 MW.





**Oben:** Eine Dampfturbine wird montiert. Der Einbau einer solchen Anlage verlangt dieselbe Sorgfalt wie die Herstellung der einzelnen Teile. Die in ihrem Ablauf sorgfältig geplante Arbeit wird langsam durchgeführt, um Schäden an der empfindlichen Beschaufelung und den präzisionsgefertigten Oberflächen zu vermeiden.

der Peltonturbine um ein Mehrfaches überstiegen hätten. Die Läuferschaufeln einer einfachen Gleichdruck- oder Aktions-turbine müssen sich etwa mit halber Strahlgeschwindigkeit drehen, weshalb der Läufer einer einstufigen Turbine dieses Typs eine ziemlich hohe Drehzahl erbringen mußte und demzufolge auch starken Belastungen ausgesetzt war. Diese Schwierigkeit kann durch mehrere miteinander verbundene Lavalturbinen (mehrstufige Turbine) oder durch das Gleichdruckverfahren mit Geschwindigkeitsstufung (Curtisturbine) ausgeschaltet werden. Bei der Curtisturbine entspannt sich der Dampf im Leitapparat (wie in der Lavalturbine). Nach Durchströmen des ersten Laufkranzes wird der Dampf wegen seiner nicht ausgenutzten Restgeschwindigkeit durch einen weiteren feststehenden Leitapparat, den Umkehrkranz, gerichtet, um in einem zweiten und eventuell noch in einem dritten Laufkranz weiterverarbeitet zu werden.

Es dauerte nicht sehr lange, bis Dampfturbinen die Kolben-dampfmaschine zur Erzeugung von Elektrizität und bei Schiffsantriebsmaschinen ablösten.

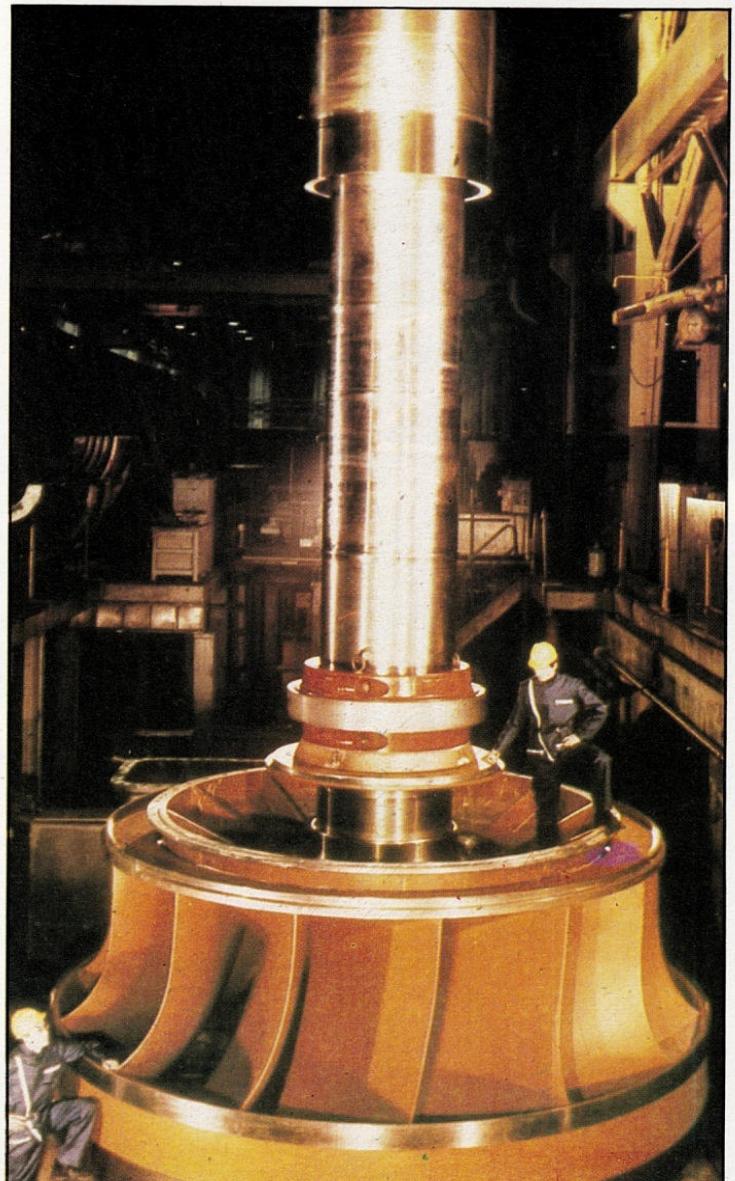
### Turbinenentwicklung

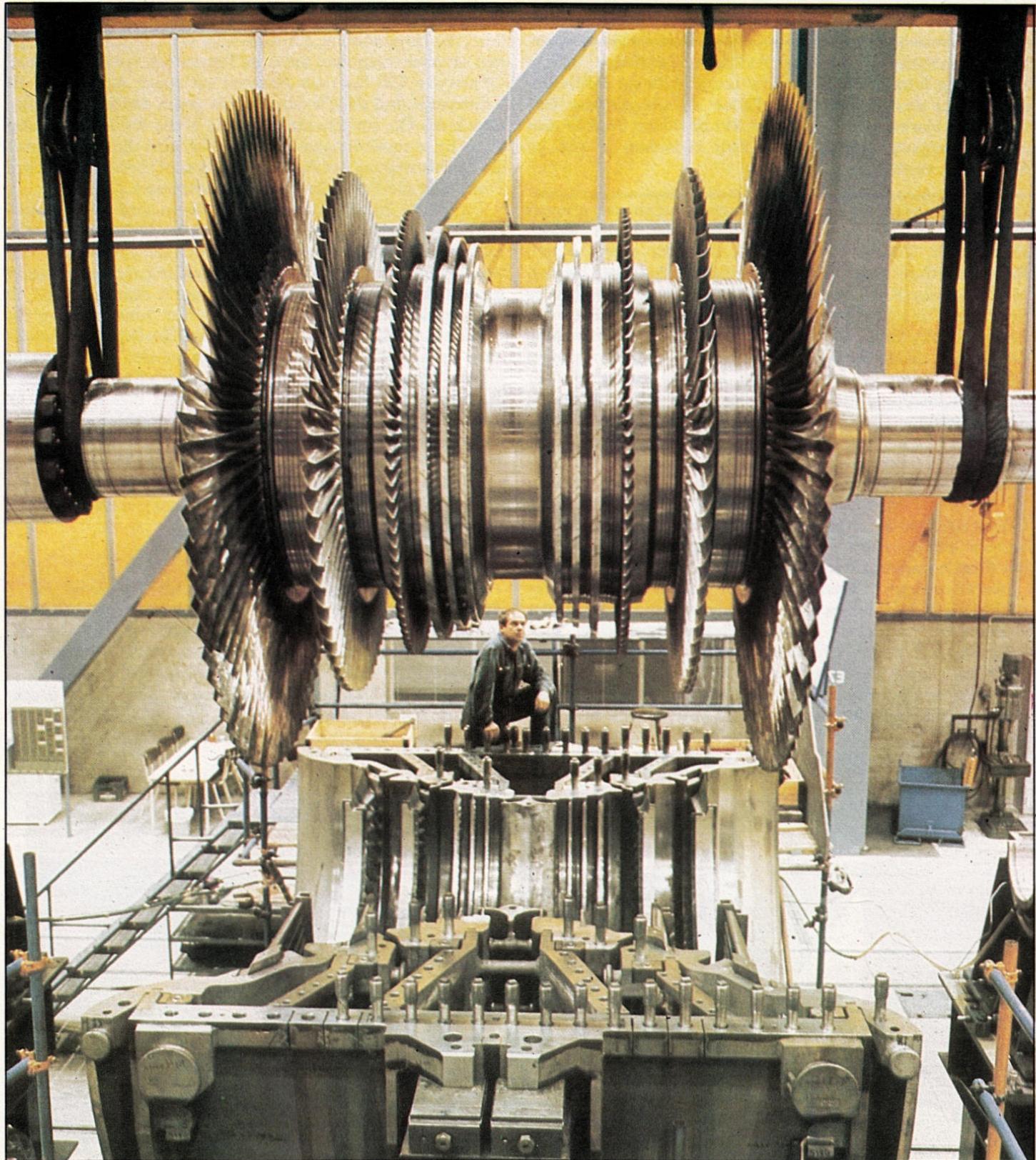
Der größte Teil der zugänglichen Wasserkraft wird heute mit Kaplan-, Deriaz-, Francis- und Peltonturbinen (in der Reihenfolge zunehmender Wasserströme) genutzt. Besonders die beiden erstgenannten Turbinen-Typen erbringen in großdimensionierten Ausführungen bei hoher Zuverlässigkeit einen Wirkungsgrad von fast 90%. Bei einigen Turbinen kommt es durch örtlich begrenzte Erosionskorrosionen zu Betriebsstörungen, d.h. es kommt infolge von durch Hohlsog auftretenden Werkstoffverschleiß (Kavitation) zur Zerstörung der Oberfläche von Turbinenschaufeln. Diese Erscheinung läßt sich durch sorgfältige Konstruktion und

insbesondere durch die Verwendung verstellbarer Schaufeln vermeiden.

Eine interessante Entwicklung ist das Pumpspeicher-verfahren. In Zeiten reichlicher Stromversorgung durch Wärmekraftwerke, wie es zur Nachtzeit bei Kernkraftwerken der Fall ist, wird Wasser aus einem niedrig gelegenen Speicher-becken in ein hochliegendes Speicherbecken gepumpt. In Spitzenverbrauchszeiten wird nun der Wasserfluß umgekehrt und im Wasserkraftwerk erzeugter Strom in die Versorgungs-leitungen eingespeist. Für diese Anlage sind entweder getrennte, nur in eine Richtung wirkende Pumpen und Turbinen oder aber entsprechend konstruierte Doppelturbinen erforderlich, die beidseitig beaufschlagt werden können.

Dampfturbinen entwickeln sich auch heute noch sehr rasch. Die Generatoren einer modernen Dampfturbinen-Anlage können eine Leistung von etwa 1 200 MW erbringen, wobei der Dampf bei ungefähr 160 bar aus mit Kohle oder Erdöl beheizten Kesseln austritt, überhitzt und erneut auf 550°C erwärmt wird. Die Dampfdichte kann beim Eintritt in die Turbine 2000mal höher als an der Austrittsstelle sein. Um die Schaufelhöhe innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen zu halten, muß der Dampfverlauf geteilt werden. In der Regel erfolgt eine Teilung in drei Abschnitte: Der aus dem Hochdruckteil kommende Dampf fließt zur Wiederwärmung zum Kessel zurück, dann weiter zu einer doppelt beaufschlagten Mitteldruckturbine und anschließend zu zwei oder drei doppelt beaufschlagten Niederdruckturbinen. An einer Reihe





STAL-LAVAL

**Oben:** Hier werden Turbinen in einem Kernkraftwerk in Olkiluoto, Finnland, installiert. Alle Turbinen zusammen haben eine Leistung von 690 MW.

**Links:** Das Laufrad einer Francisturbine, die für ein Kraftwerk in Mexiko bestimmt ist. Leistung: 200 MW.

von Entnahmestellen entlang der Expansionsleitung wird Dampf zum Zwecke der Vorwärmung des Kessel-Speisewassers entnommen.

Bei der Ausdehnung von Dampf bilden sich Wassertröpfchen, die sich am Ständer der letzten Stufe der Niederdruck-

turbine sammeln und mit sehr hohen Geschwindigkeiten auf die Läuferschaufeln aufprallen. Hierdurch kommt es zu Erosionserscheinungen, die den durch Kavitation bewirkten Schäden bei Wasserturbinen entsprechen. Diese Erscheinung lässt sich auf ein Mindestmaß herabsetzen, indem man den Dampf überhitzt und erneut aufheizt. Dieses Problem zeigt sich viel stärker bei dampferzeugenden Schwerwasser-Reaktoren, da in diesem Falle die Temperaturen zu niedrig sind, um eine Überhitzung und Neuerwärmung zu ermöglichen. Demzufolge müssen physikalische Möglichkeiten zur Trennung der Wassertröpfchen unter Einsatz der Zentrifugalkraft ausgenutzt werden.

## TÜRSCHLIESSER

**Der Türschließer hat die Aufgabe, geöffnete Türen selbsttätig leise, schneller oder langsamer zu schließen und dabei das plötzliche Zufallen zu vermeiden. Bei manchen Vorrichtungen dieser Art lässt sich die für den Schließvorgang erforderliche Zeit zwischen 3 und 30 Sekunden variieren.**

Der Türschließer in seiner einfachsten Ausführung arbeitet mit einer gespannten Schraubenfeder; eine Feder jedoch schließt die Tür schnellstmöglich, d.h. mit einem Knall. Beim Druckluft- oder Öldruck-Türschließer hingegen handelt es sich um eine Kombination aus Feder und Kolben, wobei die Feder die Tür schließt und der Kolben, nach dem Prinzip des hydraulischen Stoßdämpfers arbeitend, die Türbewegung bremst und damit die Geschwindigkeit des Schließvorganges steuert. Bei manchen Ausführungen lässt der Kolben die Tür auch einschnappen, wie etwa bei dem nach seinem Erfinder, dem Amerikaner Linus Yale, benannten Yale-Schloß.

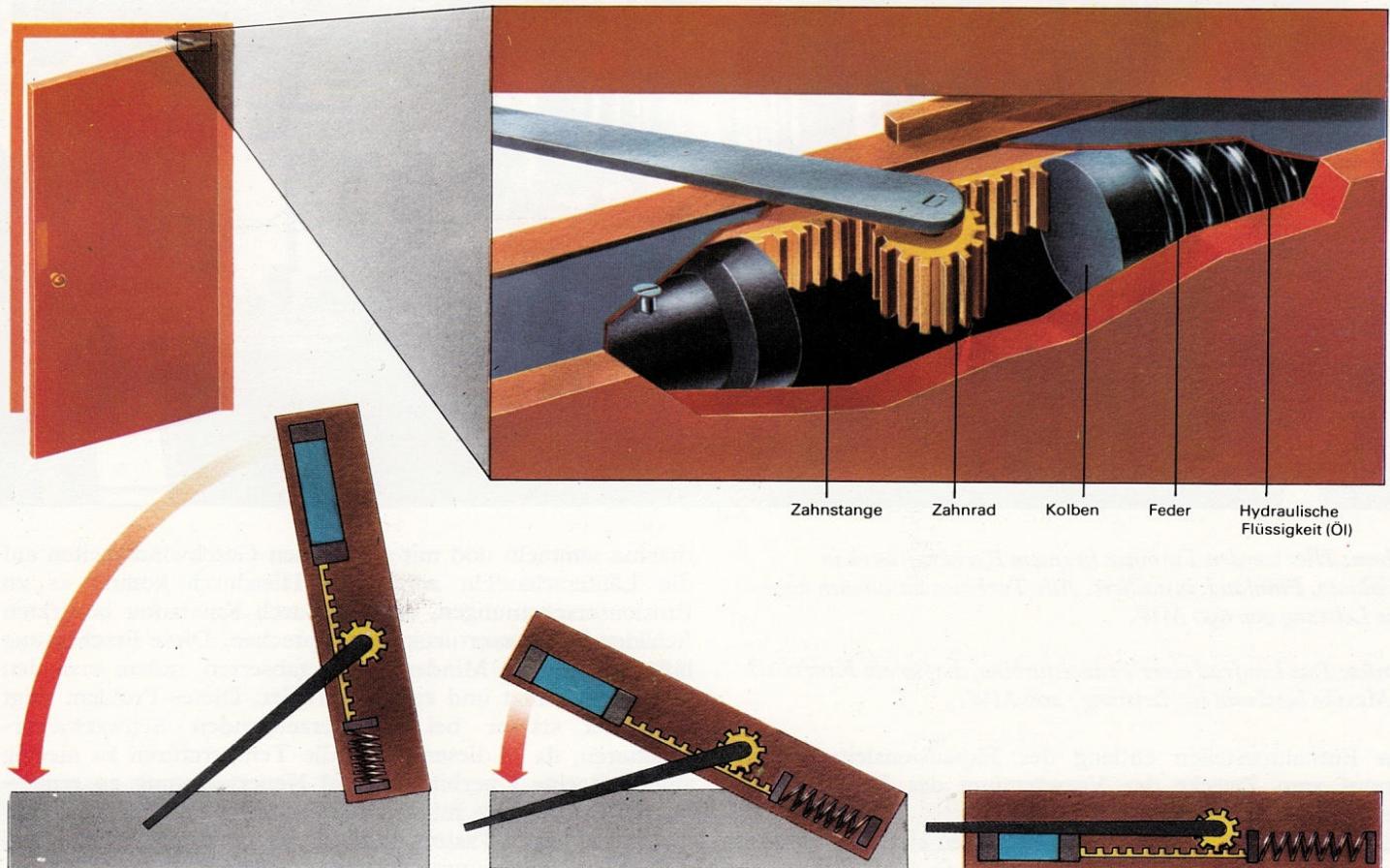
Leichte Türen sind in der Regel mit einem preiswerten 'Druckluft-Türschließer' ausgerüstet, der an eine Fahrrad-Luftpumpe erinnert und zwischen Tür und Rahmen montiert ist. Die Feder wird durch einen Kolben gebremst, der beim Öffnen der Tür durch ein kleines Loch in dem Zylinder Luft ansaugt und sie beim Schließen langsam ausstößt, wodurch ein Zuschlagen vermieden wird.

Bei schwereren Türen, etwa einer Ladentür, die ständig geöffnet und geschlossen wird, verwendet man einen von der Konstruktion her etwas aufwendigeren automatischen Türschließer mit einem hydraulischen, d.h. mit Öl gefüllten Zylinder. Dieser 'Öldruck-Türschließer' hat bei Einbau einer normalen Schraubenfeder eine längliche Form, bei Verwendung einer Spiralfeder eine Topfform und stets einen Zahn-

stangenantrieb. Der Türschließer wird an der Tür selbst montiert; die Zahnradschwelle, die etwas über die Vorrichtung hinausragt, ist über einen Arm mit dem Türrahmen verbunden. Beim Öffnen der Tür läuft das Zahnräder auf seiner Achse über die Zahnpfosten und drückt den Kolben gegen den hydraulischen Druck des Öls zurück und auf diese Weise die Feder zusammen. Beim topfförmigen Türschließer wird die Feder durch die Drehbewegung des Zahnrades gespannt; bei der länglichen Form sitzt die Feder im Zylinder hinter dem Kolben.

Durch das Zurückdrücken des Kolbens wird das Öl durch ein Einwegventil in den vorderen Teil des Gehäuses gepresst. Läßt man die Tür los, so wird sie durch die gespannte Feder wieder zugezogen, die den Kolben längs der Zahnpfosten wieder zurückdrängt. Ein regelbares Nadelventil, durch das das Öl langsam in den Zylinder zurückfließen kann, steuert die Geschwindigkeit des Schließvorganges. Eine Regulierschraube dient dazu, die verschiedenen Zähigkeiten des Öls bei wechselnden Temperaturen auszugleichen. Durch Zurückschrauben der Regulierschraube kann das bei Kälte dickflüssigere Öl freier fließen und die Tür relativ schnell geschlossen werden. Umgekehrt lässt sich bei dünnflüssigem Öl die Schraube entsprechend hineindrehen und so ein Zuschlagen der Tür vermeiden. Weitgehend viskositätsstabile Qualitätsöle auf Silikonbasis machen heute eine solche temperaturabhängige Verstellung überflüssig.

*Automatischer Türschließer. Beim Öffnen der Tür bewegt sich das Zahnräder auf seiner Achse über die Zahnpfosten, drückt den Kolben gegen den hydraulischen Druck des Öls zurück und damit die Feder zusammen. Nach dem Loslassen wird die Tür durch die gespannte Feder wieder zugezogen; der Kolben bewegt sich zurück, und das Öl strömt langsam durch ein Einwegventil in den vorderen Teil des Zylinders.*



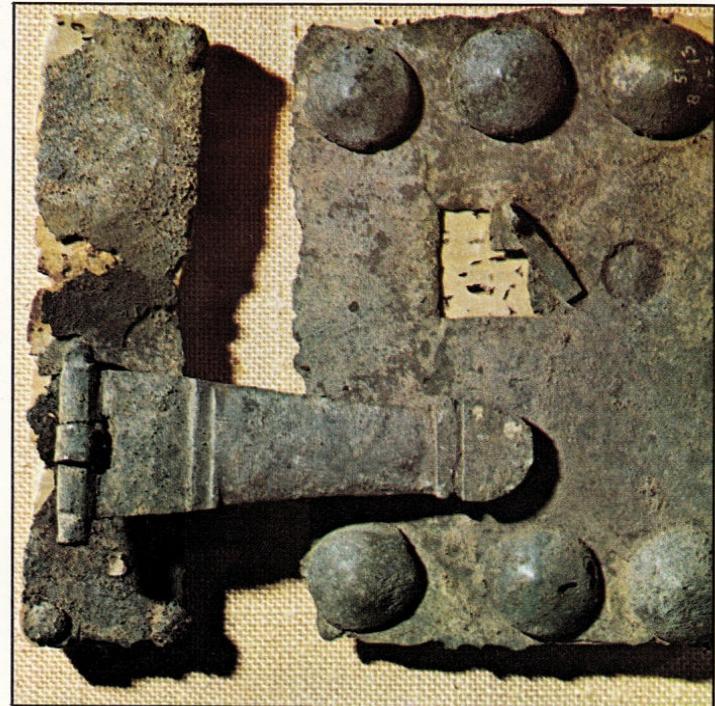
# TÜRSCHLOSS

Da Schlösser das wohl geeignete Mittel sind, Unbefugten den Zutritt zu einem Haus zu verwehren, hat man auf die Erfindung und Entwicklung möglichst sicherer Verschlußvorrichtungen dieser Art von jeher viel Zeit und Mühe verwendet.

Die von modernen Schlössern gebotene Sicherheit begann mit der Erfindung des Zuhaltungsschlusses im 18. Jahrhundert. Im Prinzip ist die Zuhaltung ein Sperrhaken oder Sperrstift, der in einen Schlitz im Riegel eingreift; der Schlüssel hebt die Sperrvorrichtung an. In ihrer einfachsten Form lässt sich die Zuhaltung mit einem Dietrich abheben. Im Jahre 1778 allerdings erfand der Engländer R. Barron ein Schloß mit zwei (und später mehreren) Zuhaltungen, von denen jede unterschiedlich hoch angehoben werden musste, damit sich der Riegel mit Hilfe des Schlüssels schließlich bewegen ließ. Diese Erfindung war ein Meilenstein auf dem Wege zum Sicherheitsschloß unserer Tage: Mehrzuhaltungstürschlösser bilden auch heute noch die Grundlage der meisten Schließvorrichtungen. Eine interessante Variante des Zuhaltungsschlusses von Barron ist das von J. Chubb im Jahre 1818 erfundene und nach ihm benannte Chubb-Schloß, das auch heute noch verwendet wird. Versucht ein Unbefugter, dieses Schloß zu öffnen, bleibt eine Zuhaltung in abgehobener Stellung, so daß sich der Riegel nicht bewegen lässt, bevor nicht der richtige Schlüssel zunächst in der Richtung des Zuschließens gedreht wird. Dieser sogenannte Detektor zeigt zudem dem Besitzer des passenden Schlüssels den versuchten Einbruch an.

Auch das Bramah-Schloß, von J. Bramah bereits 1784 entwickelt, ist ein Mehrzuhaltungsschloß. Das Schloß besitzt radial angeordnete Zuhaltungsplatten mit Schlitten und federbelastete Sperrschieber. Der mit unterschiedlich langen Einschnitten versehene rohrförmige Schlüssel drückt die Schieber so weit nach unten, bis sich der Schließzyylinder drehen und damit das Schloß öffnen lässt.

Das für Haustüren heute gängigste Schloß ist das Yale-Schloß, ein 1848 von dem Amerikaner L. Yale erfundenes Zylinderschloß, das auf der Basis des altägyptischen Holzschlosses die besten Eigenschaften vieler anderer Schloßtypen in sich vereint. Eine Drehung des Zylinders im Gehäuse wird durch fünf Stifte verhindert, die in geschlossenem Zustand in den Zylinder hineinreichen und diesen blockieren. Die



Oben: Schloßblech und Schließband aus Bronze aus der römischen Periode in Frankreich.



Oben: Ägyptisches Holzschloß, wie es vor rund 4000 Jahren in Gebrauch war. Bei dem langen Querteil handelt es sich um den teilweise hohen Riegel. Das Schloß enthielt mehrere senkrecht angebrachte bewegliche Zapfen, die durch einen 'Schlüssel' (in der Regel ein geformtes Holzbrett mit in entsprechenden Positionen eingelassenen Stiften) angehoben werden mußten, um das Schloß zu öffnen.

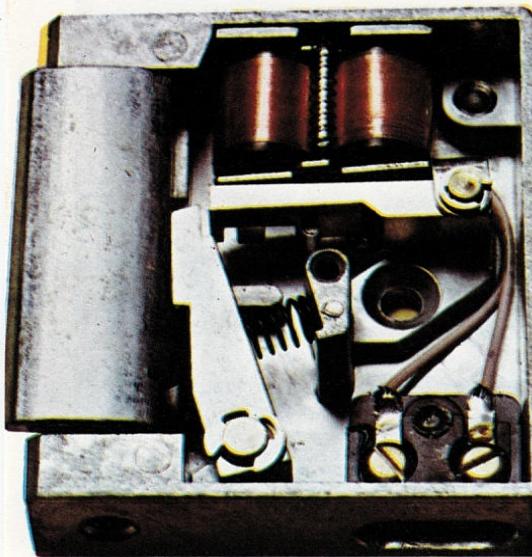


MICHAEL NEWTON  
Modernes Steckschloß. Es kann von außen mit einem Schlüssel oder von innen mit einem federgelagerten Hebel betätigt werden.

Gegenstücke zu diesen Stiften gehören dem festen Teil des Schlosses an und werden durch Federn hinabgedrückt. Alle Sperrstiftpaare sind unterschiedlich lang und können nur durch den passenden Schlüssel so bewegt werden, daß ihre Trennflächen in gleiche Höhe wie die von Zylinder und Gehäuse gelangen, so daß der Zylinder gedreht und damit der Riegel betätigt werden kann. Steht auch nur ein einziger Stift zu hoch oder zu tief, bleibt das Schloß gesperrt. Das Yale-Schloß ist sehr schwer aufzubrechen und bietet unter normalen Umständen ein hohes Maß an Sicherheit.

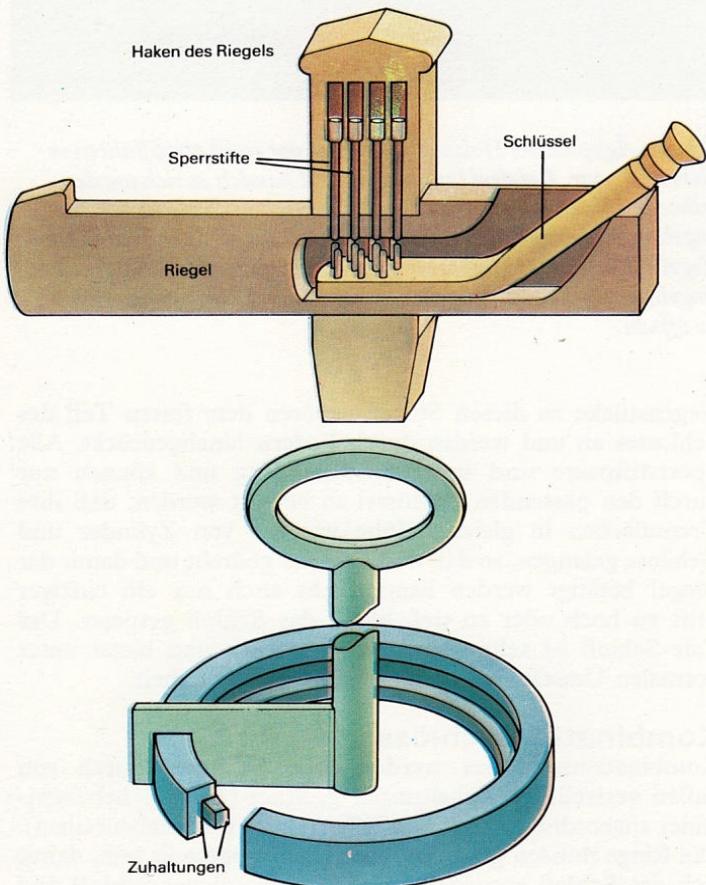
## Kombinationsschlösser

Kombinationsschlösser werden ohne Schlüssel durch von außen verstellbare Zuhaltungen geöffnet (z.B. als nebeneinander angeordnete Ringe mit Ziffern- oder Buchstabenreihen). Die Ringe müssen genau in einer Linie eingestellt sein, damit sich das Schloß entriegeln lässt. Hat ein solches Schloß drei



**Links:** Elektronische Sicherheitsvorrichtung in einem Apartmenthaus. Sobald der Besucher identifiziert ist, drückt der Bewohner des Apartments auf einen Knopf und ein Elektromagnet entriegelt die Tür.

**Unten:** Schematische Darstellung verschiedener Schloßtypen. Oben links das altägyptische Holzschloß. Wird der 'Schlüssel' nach oben bewegt, werden die Zapfen im Haken des Riegels angehoben, wodurch sich Riegel (und Schlüssel) entfernen lassen. Darunter ein Schloß mit Zuhaltungen. Der Schlüsselbart muß genau zu den Zuhaltungen passen, damit sich der Schlüssel drehen läßt. Oben rechts das bekannte Yale-Schloß, im Jahre 1848 von dem Amerikaner Linus Yale erfunden und heute in der ganzen Welt verbreitet. Die Verzahnung des Schlüssels muß exakt der Länge der unteren Hälften der unter Federspannung stehenden Sperrstiftpaare entsprechen; die Sperrstifte haben die Funktion von Zuhaltungen. Unten schließlich ein Kombinationsschloß. Die Zahlen müssen ganz korrekt in Reihe eingestellt werden, bevor sich der Riegel entsperren läßt und man das Schloß öffnen kann.



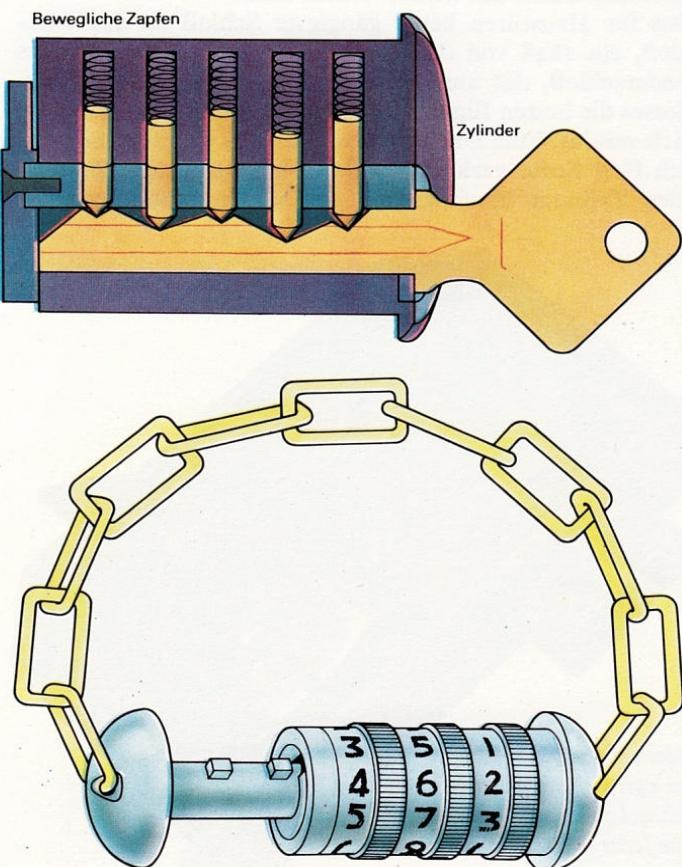
Ringe mit jeweils hundert Ziffern, so gibt es eine Million Kombinationsmöglichkeiten, von denen nur eine einzige das Schloß öffnet. Kombinationsschlösser sind in Europa mindestens seit dem 16. Jahrhundert bekannt. Die moderne Version dieses Schloßtyps verfügt über eine Wähl scheibe auf der Vorderseite, mit deren Hilfe sich die gewünschte Kombination einstellen läßt. Kombinationsschlösser sind überwiegend so konstruiert, daß die Zahlen- oder Buchstaben kombination von Zeit zu Zeit aus Sicherheitsgründen geändert werden kann.

### Safes

Safes haben gewöhnlich Kombinationsschlösser, da bei diesen kein Schlüsselloch erforderlich ist, in das explosive Stoffe eingebracht werden könnten, um den Tresor zu sprengen. Manchmal ist noch zusätzlich eine Zeitsperre eingebaut, so daß der Safe selbst von jemandem, der die Kombination kennt, nur zu bestimmten Zeiten geöffnet werden kann. Die sichersten Tresore haben heute eine Panzerung aus legiertem Stahl und können nur in stundenlanger Arbeit mit elektrischen Schneidbrennern aufgebrochen werden.

### Elektronische Schließvorrichtungen

In den siebziger Jahren unseres Jahrhunderts ist man in den USA dazu übergegangen, Gebäude durch elektronische Schlösser, die nach dem Prinzip des Tastwahl-Telefons arbeiten, nach Dienst- oder Geschäftsschluß einbruchsicherer zu machen. An der Außenseite einer solchen Vorrichtung befinden sich mehrere Tastknöpfe, von denen jeder bei Betätigung einen anderen elektronischen Ton abgibt. Nur bei richtiger Tonfolge öffnet sich das Schloß. Verschlußanlagen dieser Art haben den Vorteil, daß z.B. Wartungspersonal auch außerhalb der üblichen Zeiten ohne Schlüssel Zutritt etwa zu Verwaltungsgebäuden haben kann, das Schloß ebenso sicher ist wie ein Kombinationsschloß und die Tonfolge im Interesse größerer Sicherheit problemlos häufig geändert werden kann.



# U

## ÜBERGANGSELEMENTE

**Alle Übergangselemente sind Metalle. Zu ihnen gehören sowohl das bekannte und relativ weit verbreitete Eisen als auch das Edelmetall Platin oder das synthetische radioaktive Element Technetium.**

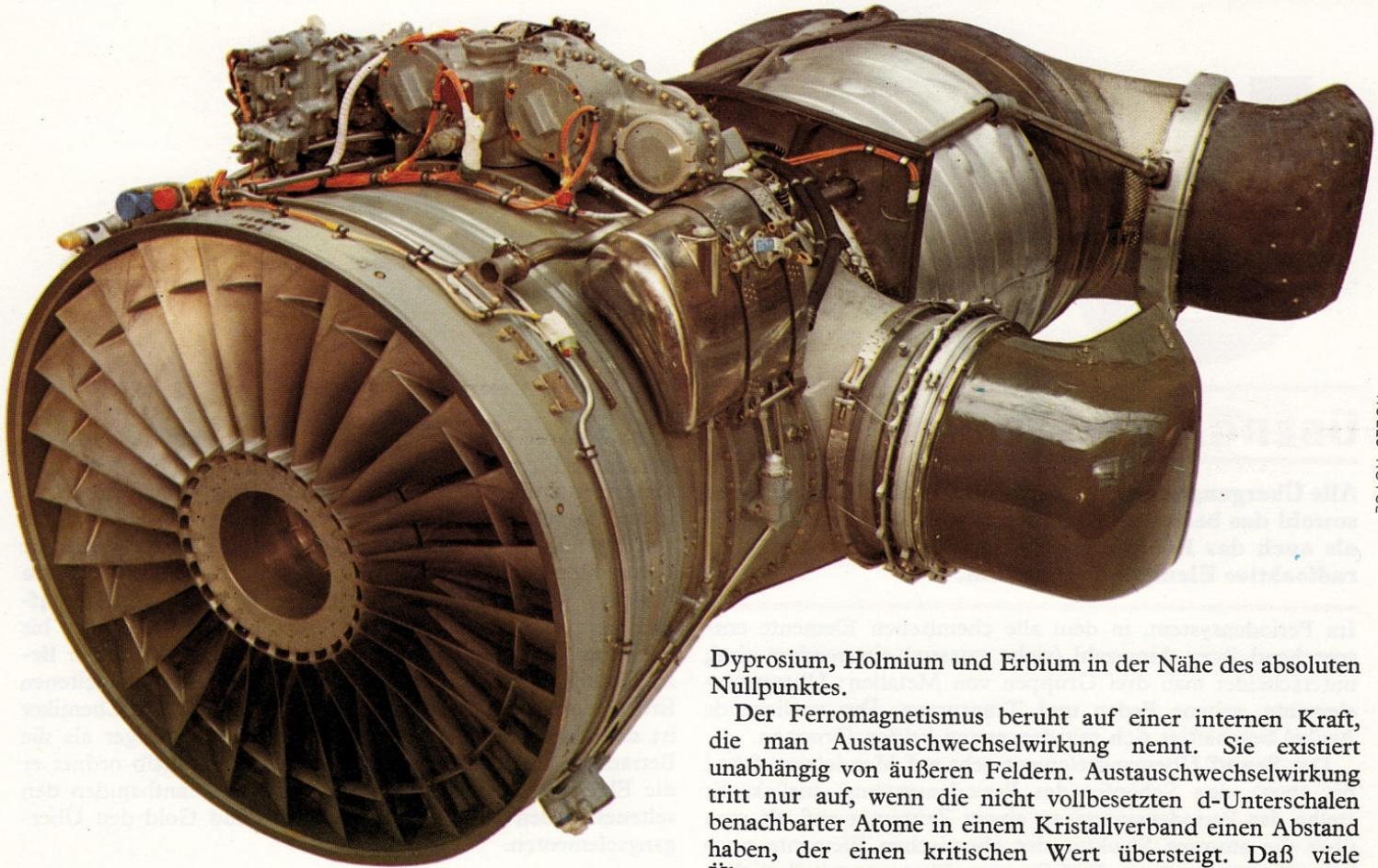
Im Periodensystem, in dem alle chemischen Elemente entsprechend ihrer Atomzahl (siehe CHEMIE) eingeordnet sind, unterscheidet man drei Gruppen von Metallen: Übergangselemente, seltene Erden und Transurane. Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit den ersten beiden Gruppen.

Der Begriff Übergangselement geht auf Mendelejew (1834 bis 1907), den Schöpfer des Periodensystems, zurück. Er stellte das Periodensystem zu einem Zeitpunkt auf, als man über die atomare Struktur der chemischen Elemente noch keine Kenntnisse hatte. Er fasste neun Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften zusammen: Eisen, Cobalt, Nickel in der vierten Periode; Ruthenium, Rhodium, Palladium in der fünften Periode und Osmium, Iridium, Platin in der sechsten Periode. Die letzten sechs Elemente werden im allgemeinen als Platinmetalle bezeichnet, obwohl sie Über-

gangselemente sind. Heute versteht man unter Übergangselementen Elemente, in denen die sogenannte 'd-Unterschale' nicht vollständig mit Elektronen gefüllt ist. Hierzu gehören die Elemente von Scandium bis Nickel in der vierten Periode, von Yttrium bis Palladium in der fünften Periode sowie die Lanthaniden und von Hafnium bis Platin in der sechsten Periode. Die seltenen Erden haben nicht abgesättigte 4f-Energieniveaus und beinhalten die Elemente Cerium bis Lutetium in der sechsten Periode. Allerdings kann die Bezeichnung 'Übergangselement' und 'Element der seltenen Erden' unterschiedliche Bedeutung haben. Für den Chemiker ist das chemische Verhalten der Elemente wichtiger als die Betrachtung der elektronischen Struktur. Deshalb ordnet er die Elemente Scandium, Yttrium und die Lanthaniden den seltenen Erden zu und Kupfer, Silber und Gold den Übergangselementen.

*Dieser Ring — ein Bauteil eines Flugzeugs — ist aus Titan hergestellt. Seine hohe Festigkeit und geringe Dichte machen es für den Flugzeugbau ideal. Durch Legieren mit anderen Metallen kann eine hohe Zugfestigkeit erreicht werden.*





ROLLS ROYCE

## Physikalische Eigenschaften

Die Übergangselemente sind relativ hart und haben hohe Schmelzpunkte (Titan schmilzt bei 1800°C und Chrom bei 1830°C). Diese Eigenschaften beruhen auf dem Beitrag, den nicht vollbesetzte d-Unterschalen zu der normalen metallischen Bindung der s-Elektronen leisten. Der vergleichsweise hohe Schmelzpunkt von Kupfer (oder Silber und Gold in den nächsten beiden Perioden) deutet darauf hin, daß die d-Unterschalen mit Elektronen gefüllt sind. Sie weisen ähnliche Eigenschaften wie die s-Elektronen auf und können deshalb zur metallischen Bindung mit beitragen. Bei den darauf folgenden Übergangselementen werden noch höhere Schmelzpunkte beobachtet. Wolfram schmilzt z.B. bei 3382°C. Dieser hohe Schmelzpunkt macht dieses Element für Glühfäden in Glühlampen sehr geeignet.

## Magnetische und elektrische Eigenschaften

Die Elektronen aller Atome treten mit einem externen Magnetfeld in Wechselwirkung und werden vom Magnetfeld etwas abgestoßen. Durch Elektronen auf nicht abgesättigten Unterschalen können sich die Spinrichtungen durch Einwirkung eines äußeren Feldes ändern, wodurch auch eine Anziehung in Richtung des Feldes stattfinden kann. (Unter einem Spin versteht man die Drehrichtung eines Elektrons um eine imaginäre Achse.) Überwiegt als Komponente das abstoßende Feld, spricht man von Diamagnetismus; ist das anziehende Feld stärker, spricht man von Paramagnetismus. Die nicht vollständig aufgefüllten d- und f-Unterschalen der Übergangsmetalle und der Metalle der seltenen Erden lassen auf magnetische Verhalten der Metalle schließen. Der Effekt ist dann am stärksten, wenn sich auf der d- und f-Unterschale eine gleiche Anzahl von Elektronen befinden. Man kennt noch eine weitere Form des Magnetismus, den sogenannten Ferromagnetismus, der die beim Dia- bzw. Paramagnetismus auftretenden Kräfte weit übertrifft. Ferromagnetische Eigenschaften haben Eisen, Cobalt, Nickel sowie die seltenen Erden Gadolinium (bis 20°C), Terbium (under -50°C) und

Dyprosium, Holmium und Erbium in der Nähe des absoluten Nullpunktes.

Der Ferromagnetismus beruht auf einer internen Kraft, die man Austauschwechselwirkung nennt. Sie existiert unabhängig von äußeren Feldern. Austauschwechselwirkung tritt nur auf, wenn die nicht vollbesetzten d-Unterschalen benachbarter Atome in einem Kristallverband einen Abstand haben, der einen kritischen Wert übersteigt. Daß viele Übergangsmetalle und seltene Erden nur paramagnetisches Verhalten zeigen, beruht darauf, daß die benachbarten d-Unterschalen für ferromagnetische Erscheinungen einen zu kleinen Abstand haben. Im Falle von Magnesium liegen die Abstände der d-Unterschalen in einem Grenzbereich. Durch Hinzufügen eines geringen Anteiles von beispielsweise Stickstoff wird Magnesium zu einem ferromagnetischen Element. Auf diesem Prinzip beruhen auch die ferromagnetischen Heuslerschen Legierungen, die aus den nichtferromagnetischen Elementen Kupfer, Magnesium und Aluminium bestehen. Komplexe Verbindungen aus Eisen, Cobalt und Nickel mit Beimischungen von Aluminium und Titan bilden die ferromagnetische Alnico-Gruppe. Hervorragende Permanentmagnete erhält man auch durch das Legieren von Nickel mit der seltenen Erde Samarium.

## Chemische Eigenschaften

Die unvollständig gefüllten d- und f-Unterschalen, die für die Stärke der Bindung zwischen den Metallatomen verantwortlich sind, eröffnen auch eine Fülle von Möglichkeiten für die chemische Bindung verschiedener Arten von Atomen. Neben Salzen (z.B. Sulphaten, Nitraten, Chloriden) können durch die Eigenschaften der d- und f-Unterschalen bei Übergangsmetallen und Metallen der seltenen Erden auch Komplexverbindungen entstehen. Vielfach haben sie auch



DAVE KELLY



**Oben links:** Ein Rolls-Royce-Pegasus-Triebwerk. Die Bremsluftschraube, die vorne zu sehen ist, besteht voll und ganz aus Titan. Titan ist ein leichter und zuverlässiger Baustoff.

**Oben und rechts:** Verbindungen (wie z.B. Oxide) vieler Übergangselemente werden bei der Herstellung von farbigem Glas benutzt. Eisenverbindungen ergeben z.B. eine rote Färbung, Kobaltverbindungen machen Glas blau, und Grün erhält man durch die Verwendung von Chrom. Die Aufnahmen zeigen Kirchenfenster aus farbigem Glas: Oben das Fenster der Freiburger Kathedrale (15. Jahrhundert) und rechts das Fenster im New College, Oxford.

**Links:** Das hier abgebildete Blut ist mit Sauerstoff angereichert. Links ist Blut zu sehen, das Kohlenstoffmonoxid aufgenommen hat. Durch die Anreicherung mit Kohlenstoffmonoxid erhält das Blut eine andere Farbe.





**Oben:** Ein großer Gußblock aus Titan, der in einer 1800-Tonnen-Schmiedepresse geschmiedet wird. Titan wird außer in der Flugzeugindustrie auch in der Farbenindustrie verwendet, und zwar in seiner Oxidverbindung  $TiO_2$ .

keine charakteristische Valenz, d.h. ihre Bindungsstärke mit anderen Atomen oder Atomgruppen verändert sich von Fall zu Fall. Man kennt z.B. zwei Eisenchloride: Eisen(II)- und Eisen(III)-chlorid. Im Eisen(II)-chlorid ist das Eisenion zweiwertig und im Eisen(III)-chlorid dreiwertig, da das Chlorion negativ einwertig ist. Ein weiteres Beispiel ist das Hexacyanoferrat-Anion, in dem sechs Zyanid-Ionen ( $CN^-$ ) in den Ecken eines Oktaeders, in dessen Mitte sich ein Eisenatom befindet, sitzen. Die Oxidationsstufe des Eisenatoms bestimmt, welches Komplexion gebildet wird: Hexacyanoferrat (III) ( $Fe(CN)_6^{3-}$ ) oder Hexacyanoferrat (II) ( $Fe(CN)_6^{4-}$ ).

Die ungewöhnlichste Eigenschaft von Übergangsmetallen ist ihre Fähigkeit, Metall-Carbonyl-Verbindungen einzugehen. Wird z.B. Nickel bei  $50^\circ C$  Kohlenstoffmonoxid ( $CO$ ) ausgesetzt, bildet sich Nickelcarbonyl ( $Ni(CO)_4$ ). Diese Verbindung siedet bei  $43^\circ C$ , d.h. durch Destillation lässt sich diese Verbindung in sehr reinem Zustand darstellen. Hieraus folgt, daß sich auf diese Weise auch sehr reines Nickel gewinnen lässt. Weitere bekannte Metallcarbonyle sind Vanadium- ( $V(CO)_6$ ), Chrom- ( $Cr(CO)_6$ ), Mangan- ( $Mn_2(CO)_{10}$ ), Eisen- ( $Fe(CO)_5$ ) und Cobaltcarbonyl ( $Co_2(CO)_8$ ). Kohlenstoffmonoxid verfügt über ein Elektronenpaar im Kohlenstoffatom, das zur chemischen Bindung des Kohlenstoffmonoxids nicht beiträgt. Diese Elektronen können sich mit den Metallatomen zu Carbonylverbindungen vereinigen.

Metallatome der Übergangselemente können sich auch mit organischen Molekülen verbinden. Dies beruht auf der Eigenschaft der Übergangsmetalle, als Katalysator für die Anlagerung oder für die Entfernung von Wasserstoff aus organischen Verbindungen zu dienen. Ein bekannter Katalysator für diese Reaktionen ist Raneynickel. Es können auch Reaktionen wie die Polymerisation von Ethylen ( $CH_2=CH_2$ ) in hochverdichtetes Polyethylen und Propylen ( $CH_2=CH-CH_3$ ) in isotaktisches Propylen, bei dem alle Methylgruppen ( $CH_3$ ) auf derselben Seite des Polymermoleküls (siehe KUNSTSTOFFE) liegen, eingeleitet werden. Große Bedeutung hat auch Vanadiumpentoxid ( $V_2O_5$ ) als Katalysator bei der Herstellung von Schwefelsäure erlangt.

Hämoglobin, ein wichtiger Bestandteil des Blutes, ist ein organisch-metallischer Komplex, der den lebenswichtigen Sauerstoff locker binden und wieder abgeben kann. In ähnlicher Weise kann sich jedoch auch Kohlenstoffmonoxid an Hämoglobin anlagern, wodurch es zu Vergiftungsscheinungen oder gar zum Tode von Lebewesen kommen kann.

### Farbe

Verbindungen von Übergangselementen und Elementen der seltenen Erden sind für ihre Farbbildung bekannt. Diese Farbbildung röhrt daher, daß Licht einer bestimmten Wellenlänge von der Verbindung absorbiert wird. Hierdurch werden Elektronen in die noch freien Plätze der d- und f-Unterschalen gehoben, von wo sie nach kurzer Zeit unter Abgabe von Energie wieder in ein niedrigeres Energieniveau übergehen.

Generationen von Herstellern haben zum Färben von Glas Verbindungen aus Eisen (rot), Cobalt (blau) und Chrom (grün) verwendet. Die ursprünglichen Herstellungsverfahren werden auch heute noch, allerdings verfeinert, angewendet. Es kann z.B. eine unerwünschte Gelbfärbung von Glas aufgrund von Eisenverunreinigungen durch Zusatz von Neodym verhindert werden. Schutzbrillen von Glasarbeitern sind mit Praseodym versetzt, um sie vor dem intensiven Gelb des von Natrium herrührenden Lichtes zu schützen. Die seltenen Erden werden auch in der optischen Industrie verwendet. Lanthanoxid wird z.B. optischen Linsen zugesetzt, um deren Brechungsindex zu erhöhen. Ceroxid ist eine der besten Verbindungen zum Polieren.

Die verschiedenen Farben von Edelsteinen beruhen auf Verunreinigungen von Übergangselementen. Beispielsweise röhrt sowohl die rote Farbe von Rubin als auch die grüne Farbe von Smaragd von Chromverunreinigungen her. Eine Silicatverbindung, die Yttrium und Aluminium enthält, ist als Yttrium/Aluminium-Granat bekannt und bildet die Grundlage für moderne künstliche Edelsteine, die hervorragende elektrische Eigenschaften haben.

Einer der häufigsten Anwender von Elementen der seltenen Erden ist die Farbfernsehindustrie. Roter Phosphor, der als Grundlage Cadmiumsulfid hatte, liefert keine befriedigenden Ergebnisse. Erfolgreicher waren Yttrium- und Gadoliniumoxid, die Europiumoxid enthielten. Europium wird auch als Beimischung von Bariumphosphat bei Röntgenfilmen verwendet.

## ÜBERSCHALLFLUG

Die schnellsten Flugzeuge der Welt fliegen über sechsmal schneller, als der Schall sich in Luft ausbreiten kann. Bei diesen Geschwindigkeiten führt die starke Luftreibung zu einer Erhitzung von Teilen des Flugkörpers bis zur Rotglut.

Geschwindigkeit ist ein wesentlicher Faktor bei der Entwicklung neuer Transportsysteme. Je größer die zu überbrückenden Entfernungen, desto größer auch die notwendige Geschwindigkeit, um die Reise in einer sinnvollen Zeit durchzuführen. Wirtschaftliche Vertretbarkeit, persönliche Bequemlichkeit, auch militärisch begründete Sicherheitsansprüche bestimmen die verlangten Geschwindigkeiten. Seit dem Beginn der motorgetriebenen Luftfahrt im Jahre 1903 haben sich die Geschwindigkeiten von 60 km/h auf weit über 7000 km/h erhöht. Von der Technik her gibt es heute kaum Geschwindigkeitsgrenzen, die Kosten aber steigen bei zunehmender Geschwindigkeit beträchtlich. Deshalb gibt es, besonders in der zivilen, kommerziellen Luftfahrt, einen wirtschaftlich bedingten Grenzwert, der mit der Geschwindigkeit von Schallwellen in Luft zusammenhängt.

*'Concorde' wurde gemeinsam in Großbritannien und Frankreich von BAe/Aérospatiale entwickelt. Im Januar 1976 wurde sie als erstes Überschallflugzeug in den regelmäßigen Linienvverkehr aufgenommen. Sie erreicht eine Fluggeschwindigkeit von 2150 km/h.*

BAe





SCHALL lässt sich als eine Reihe von wellenförmigen Störungen darstellen, die sich in der Luft, ähnlich wie Oberflächenwellen auf dem Wasser, ausbreiten. Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist proportional zur Wurzel aus der absoluten Temperatur. In den gemäßigten Klimazonen liegt die mittlere Temperatur in Meereshöhe bei etwa 15°C. Hier breitet sich der Schall mit 1225 km/h aus. Mit zunehmender Höhe nimmt die Schallgeschwindigkeit ab, weil die Temperatur fällt. In einer Höhe von 11 km läuft der Schall nur noch mit 1112,5 km/h. In größeren Höhen ändert sich — etwa bis 20 km Höhe — nicht mehr viel, weil die Temperatur der Atmosphäre dort etwa konstant bleibt.

Im vergangenen Jahrhundert untersuchte der österreichische Wissenschaftler Professor Ernst Mach (1838 bis 1916) die Ausbreitung von Schallwellen in Luft. Ihm zu Ehren wird die Geschwindigkeit von Flugkörpern in der Nähe oder oberhalb der Schallgeschwindigkeit durch ihre 'Machsche Zahl' (auch 'Machzahl') angegeben. Bei 15°C sagt man, ein Flugzeug fliegt mit 'Mach 1', wenn seine Geschwindigkeit 1225 km/h

Eines der schnellsten Flugzeuge der Welt, der Aufklärer des Typs Lockheed SR-71A Blackbird. Seine Höchstgeschwindigkeit beträgt über 3700 km/h, und es kann den Atlantik (einschließlich Auftanken in der Luft) in weniger als 2 Stunden überqueren.

beträgt. Fliegt es mit 2124 km/h in 12 km Höhe, so entspricht dieser Geschwindigkeit 'Mach 2'. Geschwindigkeiten unter Mach 1 heißen 'Unterschallgeschwindigkeiten', alle Geschwindigkeiten oberhalb Mach 1 sind 'Überschallgeschwindigkeiten'.

Während des Zweiten Weltkrieges überschritten propellergetriebene Kampfflugzeuge manchmal zu Testzwecken und im Gefecht die üblichen, vom Konstrukteur vorgesehenen Geschwindigkeiten. Die Piloten berichteten über ein gefährliches Schütteln der Maschinen oder gar über Verlust der Kontrolle. Mit Einführung der Düsentriebwerke gewöhnte man sich an diese Effekte, die mit der Kompressibilität der Luft zusammenhängen und schon ab Mach 0,5 spürbar



werden. Die wachsenden Schwierigkeiten bei dem Streben nach immer größeren Geschwindigkeiten ließen die weitverbreitete, aber irreführende Vorstellung von der 'Schallmauer' aufkommen.

### Die Kopfwelle (Machscher Kegel)

Bei niedrigen Geschwindigkeiten lässt sich Luft wie ein inkompressibles Medium behandeln; bei der Bewegung eines Flugkörpers kommt es zu keiner Verdichtung der Luft an seiner Vorderseite, weil die Luftmoleküle viel Zeit haben, um dem Körper auszuweichen. Mit zunehmender Geschwindigkeit wird diese Zeit jedoch immer kürzer. Bewegt sich der Körper mit Schallgeschwindigkeit, so kann sich vor ihm keine normale Schallwelle mehr ausbreiten, die die vorausliegende Luft vor dem fliegenden Objekt 'warnt'. Unter diesen Bedingungen wird diese Luft stark komprimiert, und der Strömungswiderstand nimmt drastisch zu. Es treten Verdichtungsstöße auf, die von der Spitze des Flugkörpers aus abgestrahlt werden. Diese 'Kopfwelle' in Gestalt eines Kegels

begleitet das Objekt bei seinem Überschallflug. Überstreicht die Kopfwelle einen Beobachter, so nimmt er einen starken Doppelknall wahr. Mit der Bildung der Kopfwelle bricht die Strömungsverteilung an der Rückseite des Flugkörpers zusammen; die Kontrolle über seinen Flug kann beeinträchtigt werden.

Der erste (bemannte) Überschallflug wurde am 14. Oktober 1947 mit einem kleinen raketengetriebenen Flugzeug vom Typ Bell XS-1 in den USA durchgeführt. Um Treibstoff zu sparen, brachte ein umgebauter B-29-Bomber ('Superfortress') die Bell XS-1 zunächst in die Stratosphäre. Von dort nahm sie ihren Flug auf und erreichte Mach 1,06. Unter Nutzung einer deutschen Idee zur Verringerung des Strömungswiderstands durch Zurückschwenken der Tragflächen wurden einige Jahre später Düsenmaschinen gebaut, die im Sturzflug Überschallgeschwindigkeit erreichten. Im Horizontalflug waren ihre Triebwerke jedoch noch nicht stark genug, um Mach 1 zu überschreiten. Die F-86 Sabre der USA und die englische Hunter waren Beispiele für solche Maschinen.

## Überschallflugzeuge

Das erste wirkliche Überschallflugzeug war das amerikanische Modell F-100 Super Sabre aus dem Jahre 1953, das im Horizontalflug Mach 1,25 erreichen konnte. Es hatte eine noch windschlüpfrigere Form als seine Vorgänger und vor allem äußerst dünne Tragflächen. Die Entwicklung war dann so rasant, daß schon fünf Jahre später mit dem F-104 Starfighter Geschwindigkeiten von Mach 2 nicht nur möglich wurden, sondern in die militärischen Betrachtungen als normal einbezogen wurden. Dieses Flugzeug hatte übertrieben kleine Tragflächen von nur einigen Zentimetern Dicke. Die Kanten waren so scharf, daß sie bei Stationierung der Maschinen am Boden mit Filz abgedeckt werden mußten, um Verletzungen zu vermeiden.

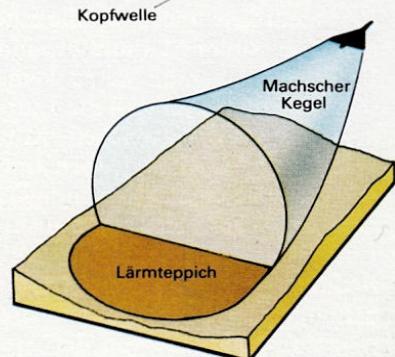
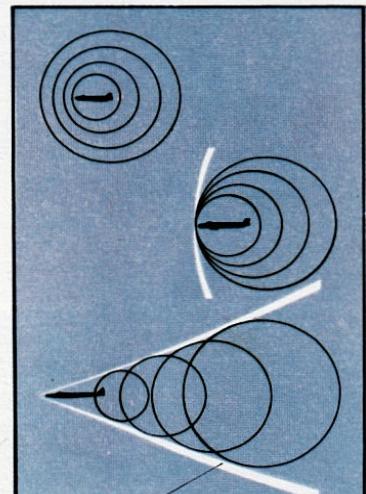
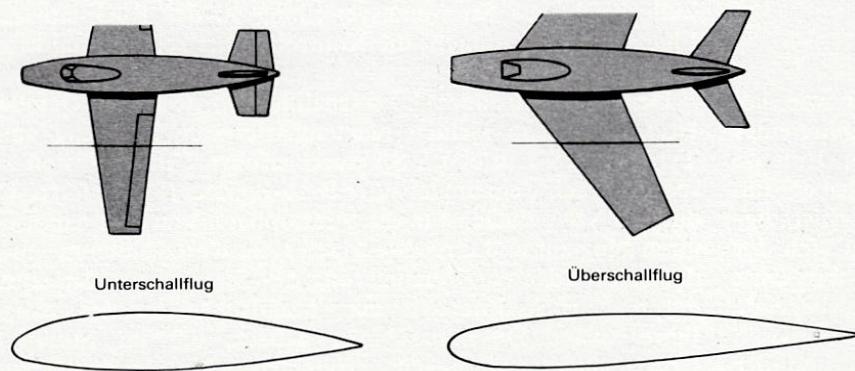
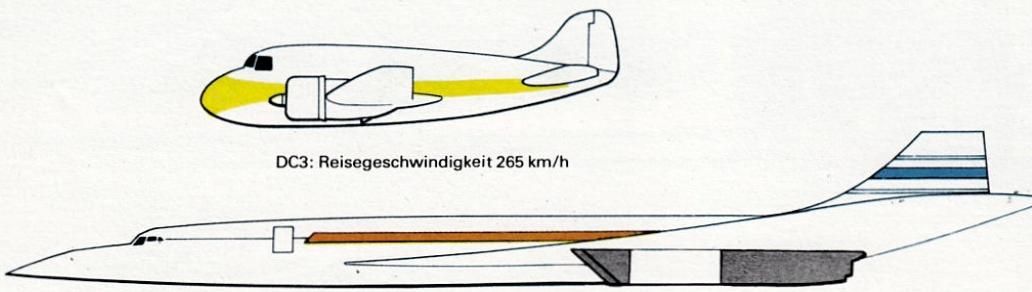
Heute lassen sich Düsenjäger mit Höchstgeschwindigkeiten um Mach 2,5 ohne Schwierigkeiten bauen. Für höhere Geschwindigkeiten werden spezielle Legierungen eingesetzt, die auch bei hohen Temperaturen noch ihre Festigkeit bewahren. Durch die starke Reibung der strömenden Luft kommt es nämlich zu einer zunehmenden Erhitzung des Flugzeuges, die hohe Ansprüche an das Material stellt. Anfang 1980 sind die schnellsten militärischen Flugzeuge der Welt die Lockheed SR-71 — Aufklärer (USA) und die MIG-25 — Abfangjäger (UdSSR), im Westen auch mit dem Namen 'Foxbat' belegt. Beide erreichen bei Flughöhen von über 24 km eine Geschwindigkeit von Mach 3 (etwa 3200 km/h in dieser Höhe).

**Unten:** Die zunehmend stromlinienförmige Konstruktion eines Flugzeugs proportional zur Fluggeschwindigkeit wird aus dem Vergleich der Profile der 'DC3' und der 'Concorde' deutlich. Die Tragflächen der beiden skizzierten Düsenjäger haben den gleichen Querschnitt, aber der nach hinten abgeknickte Flügel der Concorde ist im Verhältnis zu seiner Dicke länger. Aus diesem Grunde eignet er sich besser für den Überschallflug.

Den Weltrekord hält jedoch das von North American (USA) entwickelte Versuchsflygzeug X-15, das am 3. Oktober 1964 Mach 6,72 (7297 km/h) flog. Die Erhitzung durch Reibung war so stark, daß Teile der Struktur rotglühend wurden. Besonders feste und teure Legierungen auf Nickelbasis ('Inconel') mußten verwendet werden, um diesen Wärmebelastungen standzuhalten. Bei Geschwindigkeiten oberhalb von Mach 5 ändert sich die Art der Umströmung eines Flugkörpers noch einmal; man spricht vom 'hypersonischen' Bereich.

Die für den Überschallflug entwickelten Tragflächen sind für Flüge mit Unterschallgeschwindigkeit kaum geeignet. Der Strömungswiderstand ist hoch, und die vermittelte Auftriebskraft ist gering. Deshalb sind die Landegeschwindigkeiten höher als bei konventionellen Flugzeugen, weshalb auch längere Landebahnen benötigt werden. Um niedrigen Strömungswiderstand bei hoher Geschwindigkeit mit hohem dynamischem Auftrieb bei niedriger Geschwindigkeit zu kombinieren, haben einige neuere Überschallflugzeuge bewegliche Flügel, die je nach Geschwindigkeit die aerodynamisch günstigste Stellung einnehmen können. Aber auch deltaförmige Tragflächen werden wegen der niedrigen Kosten und des geringen Gewichtes nach wie vor gebaut. Bei den zivilen Überschallflugzeugen 'Concorde' (britisch-französische Produktion) und 'Tu-144' (UdSSR) wurde ebenfalls diese Tragflächenart gewählt. Wegen des zusätzlichen Gewichtes und der zum Zeitpunkt des Entwurfs dieser Flugzeuge noch vorhandenen technischen Risiken verzichtete man auf bewegliche Flügel.

**Unten rechts:** Bei niedrigen Geschwindigkeiten kann die Luft dem Flugzeug leicht ausweichen. Bei Erreichen der Schallgeschwindigkeit baut sich jedoch eine Kopfwelle auf, die sich kegelförmig nach hinten ausbreitet (Machscher Kegel) und den 'Lärmteppich' begrenzt.





# Erfindungen 57: FOTOGRAFIE

Die allererste fotografische Aufnahme wurde im Jahre 1826 von dem Franzosen Nicéphore Niépce gemacht und zeigte den Blick auf die Dächer der Nachbarhäuser. Das Aufnahmematerial war allerdings völlig anders als heute. Das Bild ('Heliographie') bestand nämlich aus Asphalt, der an den belichteten Stellen gehärtet wurde. Die Belichtungszeit betrug etwa acht Stunden.

## Daguerreotypien

Diese erste fotografische Versuchsrichtung von Niépce führte wegen der Unempfindlichkeit des Materials in eine Sackgasse. Aber auf dessen Erkenntnissen aufbauend und später in Zusammenarbeit mit ihm schuf Louis Jacques Mandé Daguerre (1787 bis 1851) die erste brauchbare Fotografie. Als lichtempfindliche Substanz benutzte er Silberjodid. Zunächst zeigten diese Silberjodidschichten nach der Belichtung keine Veränderung, aber Daguerre fand durch Zufall, daß in Quecksilberdampf ein positives Bild entstand. Im Jahre 1839 wurde das neue Daguerreotypie-Verfahren veröffentlicht, und die Fotografie wurde zu einem kommerziellen Geschäft.

Daguerreotypien sind mühsam herzustellen; sie sind außerdem kontrastarm und sehen daher ziemlich verwaschen aus.

## Talbotypien

Etwa zur gleichen Zeit, als Daguerre seine Experimente machte, entdeckte der Engländer William Fox Talbot (1800 bis 1877) das Negativ-Positiv-Verfahren. Er benutzte Papier, das mit den lichtempfindlichen Silberhalogeniden, Silberchlorid und Silberjodid getränkt war und das er mit Gallussäure und Silbernitrat zu negativen Bildern entwickelte. Von diesen negativen Papierbildern, die mit Wachs durchscheinend gemacht wurden, konnte Talbot beliebig viele positive Kopien herstellen. Er fand auch eine Möglichkeit, das Silberbild zu fixieren, so daß eine nachträgliche Belichtung keine weitere Schwärzung hervorrufen konnte. Er nahm als silberhalogenidlösendes Fixiermittel das von dem Engländer John Herschel entdeckte Natriumthiosulfat, das auch heute noch verwendet wird. Im Jahre 1844 brachte Talbot das erste mit Fotografien illustrierte Buch mit

dem Titel 'Der Zeichenstift der Natur' heraus.

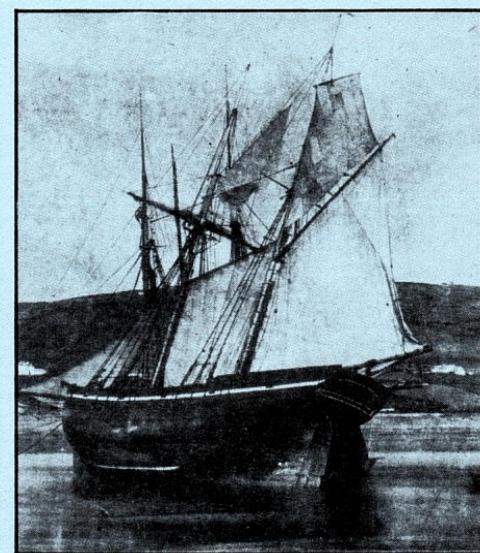
Fox Talbots 'Calotypien' erforderten auch noch Belichtungszeiten von einigen Minuten, und die Kopien zeigten die im Papier enthaltenen Unregelmäßigkeiten, die natürlich mitkopiert wurden. Die Konsequenz daraus war, daß die lichtempfindliche Schicht auf Glas aufgebracht wurde, was aber zunächst zu Schwierigkeiten bei der Verarbeitung führte.

## Glasplatten

Im Jahre 1851 wurden die ersten brauchbaren Fotoplatten aus Glas von dem Engländer Frederick Scott Archer hergestellt. Das Geheimnis seines Erfolges war das gerade entdeckte Kollodium, eine zähflüssige Alkohol/Äther-Lösung von Nitrocellulose (Schießbaumwolle).

**Unten:** In diesem Wagen beförderte Roger Fenton seine unhandliche fotografische Ausrüstung, um Bilder vom Krimkrieg (1854–1856) zu machen.

Die Silberhalogenid-Kristalle ('Emulsionskörner') wurden in dieser Lösung verteilt und in dünner Schicht auf die Glasplatte aufgetragen. Trotz des Umstandes, daß die lichtemp-



**Oben:** Ausschnitt einer 'Calotypie' von Fox Talbot. Die Körnung entstand dadurch, daß das Positiv durch das Negativpapier entwickelt wurde.



findlichen Schichten erst unmittelbar von der Aufnahme bereitet und im nassen Zustand belichtet werden mußten, gab dieses 'nasse Kollodiumverfahren' der Fotografie mächtigen Auftrieb. Fotostudios und reisende Fotografen kamen in Mode, aber bedingt durch die erforderliche Handhabung von Chemikalien blieb ihre Zahl relativ klein.

### Verwendung von Gelatine

Der Amateur-Fotograf und Arzt Dr. Richard Leach Maddox sorgte schließlich für eine wesentliche Erleichterung der fotografischen Technik, indem er anstelle des Kollodiums Gelatine als Bindemittel für die Emulsionskörner verwendete. Die Gelatine, eine gallertartige Substanz, die aus den Hufen und Häuten von Rindvieh hergestellt wird, hatte für die Fotografie eine Reihe von Vorteilen. Unter anderem besaß sie im Gegensatz zu Kollodium auch nach dem Trocknen noch die Eigenschaft, in wässriger Lösung zu quellen. Dies ist eine notwendige Voraussetzung dafür, daß der Entwickler überhaupt in die Schicht eindringen und die belichteten Körner zu Silber reduzieren kann. Darüber hinaus hatte die Gelatine auch eine empfindlichkeitssteigernde Wirkung.

Nun begann im großen Stil die Herstellung von gebrauchsfertigen Fotoplatten, die jeder kaufen und in seiner Kamera verwenden konnte. Die Qualität der Platte wurde ständig besser. Im Jahre 1884 brachte der amerikanische Foto-Fabrikant George Eastman (1854 bis 1932) erstmals einen flexiblen Film auf Papierunterlage (Papierrollfilm) mit abziehbarer Bildschicht auf den Markt. Hinzu kam die erste 'Kodak-Kamera' von Eastman, die einen Film für 100 Aufnahmen enthielt und nach der Belichtung zum Hersteller zurückgeschickt wurde, wo der Film verarbeitet und die Kopien angefertigt wurden. Im Jahre 1887 gelang es dann dem Geistlichen Hannibal Goodwin, völlig durchsichtige, biegsame und unzerbrechliche Filmbänder aus Nitrocellulose herzustellen. Diese flexible Unterlage machte schließlich auch die Herstellung von Laufbildfilmen möglich.

### Farbfotografie

Von fundamentaler Bedeutung für die farbrichtige Wiedergabe in der Schwarz/Weiß- und erst recht in der Farbfotografie war im Jahre 1873 die Entdeckung der spektralen Sensibilisierung der Silberhalogenide durch den deutschen Chemiker Her-



Einige der ersten Farbfotografien waren besonders schön. Das hier abgebildete Foto wurde im Jahre 1908 von Heinrich Kühn auf dem Autochrom-Film der Brüder Lumière aufgenommen. Die Aufnahmetechnik war schwierig.

mann Wilhelm Vogel (1834 bis 1898).

Zunächst wurde die fotografische Wiedergabe der natürlichen Farben nach dem additiven Farbmischverfahren mit den Grundfarben Blau, Grün und Rot verwirklicht. Die bekanntesten, nach diesem Prinzip arbeitenden Produkte waren die Autochromplatte (1908 von Lumière) und die Agfacolor-Kontrast-Rasterplatte (1916).

Später setzte sich das heute überwiegend angewendete subtraktive Verfahren mit den jeweiligen Komplementärfarben Gelb, Purpur und Blau-

grün durch, die in drei übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind. Die Grundlagen hierfür hatte der deutsche Chemiker Rudolf Fischer im Jahre 1911 mit der Entdeckung der Farbstoff- oder chromogenen Entwicklung geschaffen. Am Ort der Silberentwicklung reagiert das Entwickleroxidationsprodukt mit den sogenannten Farbkupplern oder Komponenten zu den entsprechenden Farbstoffen. Die Komponenten wurden entweder den einzelnen Farbentwicklern (Kodachrome-Verfahren 1935 von Leo Godowsky und Leopold Mannes) oder diffusionsfest den Emulsionsschichten selbst zugesetzt (Agfacolor 1936).

Im Jahre 1963 wurde von Polaroid (Polacolor von Edwin Land, geb. 1909) ein neues Farbmateriale eingeführt, das auf dem Prinzip der Farbstoffdiffusion beruht.