

HEFT 10 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



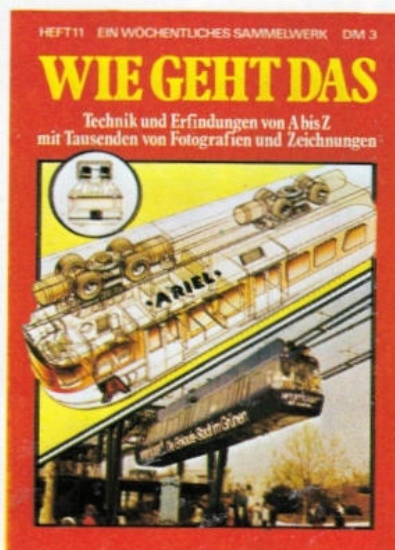
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Dick- und Dünnschichtschaltungen	253
Dieselelektrischer Antrieb	256
Dieselmotor	259
Differential	265
Diffraction	268
Digital anzeigende Instrumente	270
Digitale Umwandlungen	272
Diode	274
Dopplereffekt	275
Drahtseilbahn	277

In Heft 11 von Wie Geht Das



Einschielenbahnen haben sich in vielen Städten als billiges und effektives Transportmittel erwiesen. In Heft 11 von Wie Geht Das können Sie alles über die Vor- und Nachteile dieser ungewöhnlichen Bahnen lesen.

Johann Gutenberg erfand Mitte des fünfzehnten Jahrhunderts ein Druckverfahren mit beweglichen Lettern und revolutionierte somit die gesamte Buchdruckerkunst. Der Artikel 'Drucken' in unserer nächsten Ausgabe beschreibt, wie sich die Druckverfahren seit Gutenberg entwickelt haben und erklärt die modernen Drucktechniken von heute.

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHEN IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

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

INHALTSVERZEICHNIS

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

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 Ordnern 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 15 sfr. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner

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

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



DICK-UND DÜNNSCHICHTSCHALTUNGEN

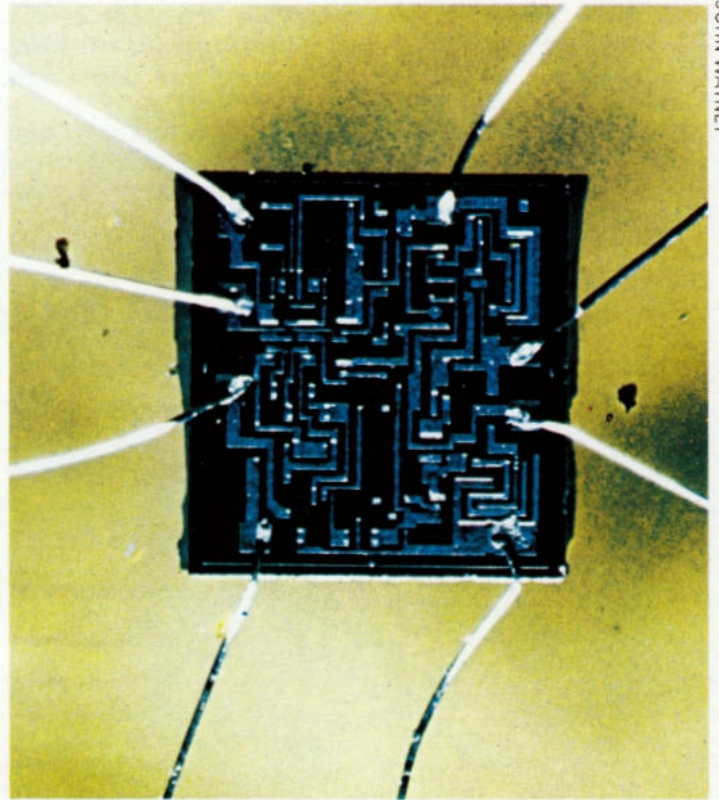
Die Zuverlässigkeit eines lebenserhaltenden Herzschrittmachers oder einer lebensvernichtenden Fernlenkrakete hängt letzten Endes von einer sehr dünnen Schicht ab, die man Schichtschaltung nennt.

Schichtschaltungen sind elektronische Schaltungen, die in Form einer dünnen Schicht auf ein *Substrat* (flaches Trägerplättchen) aufgebracht werden. Reine Schichtschaltungen sind *passiv*, d.h. sie enthalten keine Energiequelle und haben auch keine verstärkende Wirkung.

Im allgemeinen sind Schichtschaltungen entweder Einzelbauelemente in einem Netzwerk oder untereinander verbundene Leiteranordnungen.

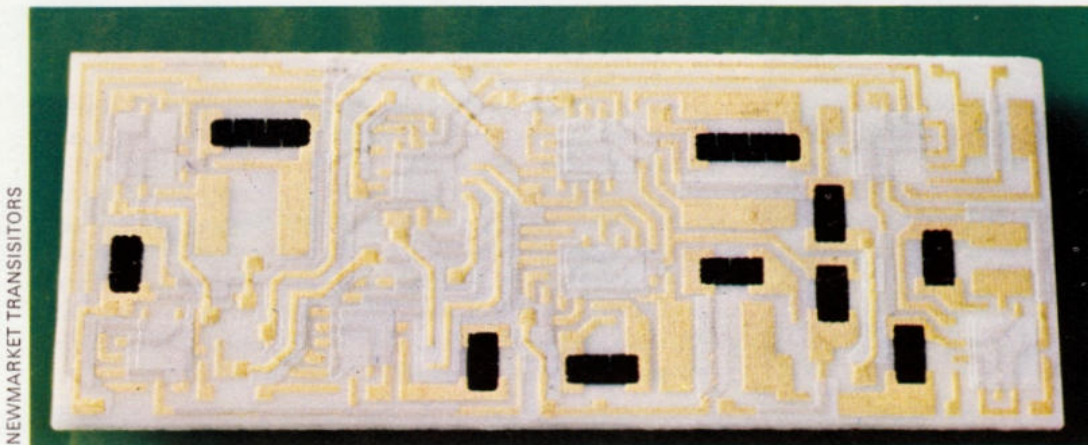
Filmschaltungen

Bauelemente werden aus dünnen Leiterbahnen, Widerstands- und Dielektrikumschichten gebildet, die auf das Substrat aufgebracht werden. Verstärkungs-, Schwingungs- oder Schaltfunktionen werden realisiert, indem man die Schichtbauteile auf einen geschützten Überzug von INTEGRIERTEN SCHALTUNGEN oder 'Chips' aufbringt oder indem man Halbleiterbauelemente und integrierte Schaltungen mit einer Schichtschaltung, die sich auf einem Glas- oder Keramik-



JOHN WATNEY

Oben: Vergrößerte Aufnahme eines Operationsverstärkers in Dünnschichttechnik. Dieser Operationsverstärker hat einen hohen Verstärkungsfaktor und ist sehr stabil. Man kann ihn in Analogrechnern und Taschenrechnern einsetzen, mit anderen Worten, überall dort, wo kleine Signale sehr genau verarbeitet werden müssen.



NEWMARKET TRANSISTORS

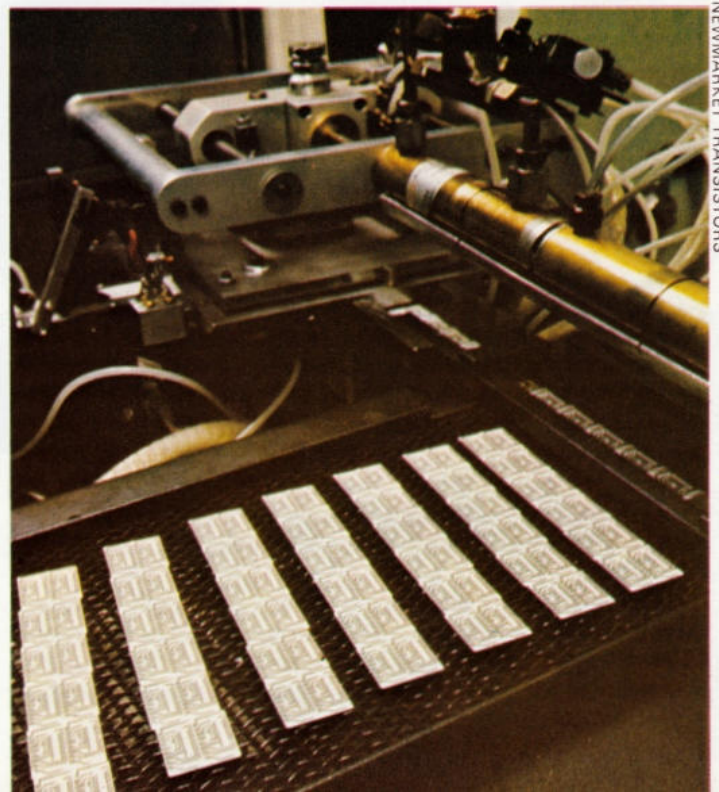
Oben: Bei der Fertigung von Dickfilmschaltungen ist der erste Schritt das Aufbringen der Leiterbahnen. Hierzu wird Gold verwendet, das auf ein Keramik- oder Plastiksubstrat aufgebracht wird.

Rechts: Anschließend bringt man Leiter- und Widerstandstinte im Siebdruckverfahren auf das Substrat auf. Die Leitertinte enthält Metalle wie Gold. Die Widerstandstinten enthalten zusätzlich Metalloxide.

substrat befindet, zusammenfügt. Solche Schichtschaltungen werden auch Hybridschaltungen genannt. Für die erste der beschriebenen Realisierungsmöglichkeiten eignen sich Dickschichtschaltungen nicht.

Durch den Aufbau von Schichtkondensatoren und durch den relativ kleinen Wertebereich der dielektrischen Konstanten, die bei den Schichtwerkstoffen vorkommen, ist es sinnvoll, nur kleine Kapazitätswerte zu verwirklichen. Benötigt man in einer Schaltung größere Kapazitätswerte, wird das Einlöten diskreter Kondensatoren in Chip-Form notwendig.

Schichtinduktionsspulen, die in einer flachen Spiralfarm



NEWMARKET TRANSISTORS

aufgebracht werden, haben bisher nur wenig Bedeutung erlangt. Es gibt jedoch Miniaturinduktionsspulen mit einer Induktivität bis zu $100 \mu\text{H}$ (Mikrohenry). Sie eignen sich für den Aufbau auf einem Substrat.

Dickschichtschaltungen sind meistens zwischen $0,005 \text{ mm}$ und $0,05 \text{ mm}$ dick; Dünnschichtschaltungen sind meistens zwischen 10^{-9} m (1 Milliardstel Meter) und $25 \times 10^{-6} \text{ m}$ (25 Millionstel Meter) dick.

Dickschichttechnik

In der Dickschichttechnik werden *Cermetwerkstoffe* — dies sind Legierungen aus pulverisiertem Metall und aus Keramikwerkstoffen — im Siebdruckverfahren als Paste auf ein flaches

Bindemitteln aus Glas. Mit organischen Harzen und Lösungsmitteln erreicht man die notwendige Viskosität der Paste. Widerstandspasten bestehen aus den gleichen Grundsubstanzen wie Leiterpasten, enthalten aber auch Metalloxide.

Dielektrische bzw. isolierende Pasten enthalten keine Edelmetalle oder deren Oxide. Sie dienen als Vergußmasse, als Isolationsmaterial für sich schneidende Leiterbahnen und als Dielektrikum bei Kondensatoren. Kristallisierbare Glaswerkstoffe haben es ermöglicht, mehrlagige Leitungsnetzwerke zu bauen.

Zum Aufbringen der Leiterbahnen, des WIDERSTANDES und der dielektrischen Schicht auf das Substrat werden einzelne Masken verwendet. Schichtmuster werden in einer Emulsion, die sich in der Maske befindet, gebildet. Die Emulsion verhindert, daß Pasten an der falschen Stelle auf das Substrat gelangen. Um beim Druck viel kleinere Abmessungen und viel engere Toleranzen zu erzielen, verwendet man auch geätzte Metallschablonen.

Drucken und Fertigmachen

Zuerst werden die Leiterbahnen gedruckt. Die Dichte der aufgetragenen Schicht hängt von den Eigenschaften der Paste, der Maske und den verschiedenen Parametern beim Siebdruck ab. Dann kommen die Substrate in einen Infrarotofen oder auf eine heiße Platte, um die Lösungsmittel in der Paste zu verflüchtigen. Ist die Schicht trocken, wird das Substrat auf einem Transportband in einen Ofen gebracht und in oxidischer Atmosphäre gebrannt. Während des Brennens zersetzen sich die organischen Stoffe in der Paste. Die Binder aus Glas sintern in das Substrat, um die Schicht und die Substratoberfläche zu binden.

Daran anschließend folgt in der gleichen Weise die Herstellung der Widerstandsschichten, die nun noch mit Laserstrahlen auf enge Toleranzen getrimmt werden können.

Nach diesem Vorgang werden die Substrate gereinigt und diskrete Bauelemente, wie beispielsweise TRANSISTOREN oder Chipkondensatoren, *eingelötet*. Verbindungen mit Chips werden entweder durch *Thermodruck* (Ausnutzung von Wärme und Druck), durch Ultraschall, Drahtwickeltechnik oder durch Lötten vorgenommen. Zum Schluß wird jedes Substrat gewaschen, getrocknet und danach verkapselt.

Oben: Der nächste Schritt in der Fertigung der Dickfilmschaltung. Hier werden die Widerstände über einen computergesteuerten Laserstrahl auf ihren genauen Wert getrimmt.

Rechts: In einen weiteren Fertigungsschritt wird automatisch mit etwa $0,025 \text{ mm}$ dicken Golddrähten die Verdrahtung zwischen dem Silicium-Transistor und den Chips (kleine Plättchen integrierter Schaltungen) mit Dickfilmleiter-Muster vorgenommen.

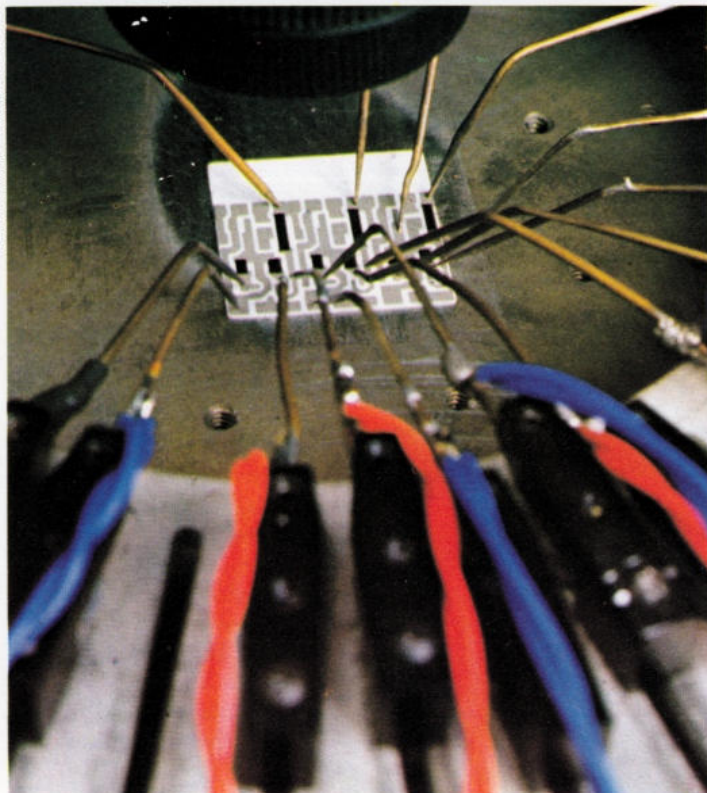
Keramiksubstrat aufgedruckt. Diese Schichten werden in einem Ofen erhitzt. Man kennt Widerstands-, Leiter- und dielektrische Pasten.

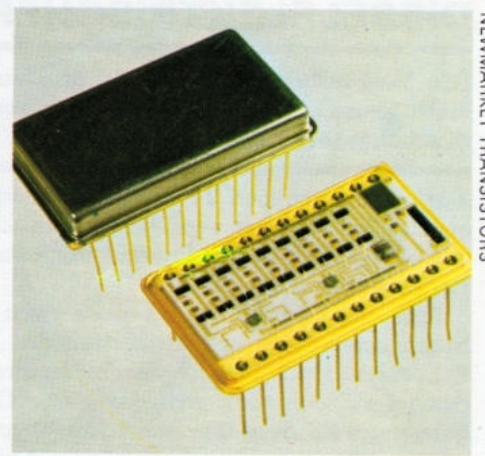
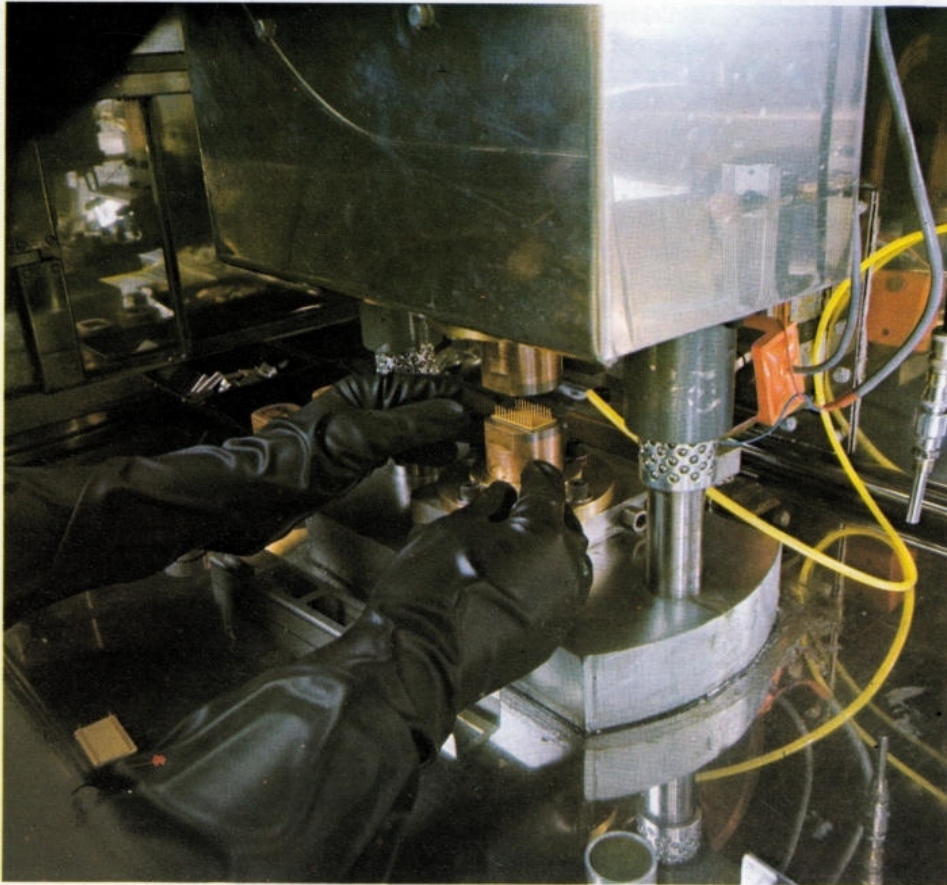
Leiterpasten werden bei Leiterbahnen, Leitungsnetzwerken, Elektroden und im Bereich der Kontaktanschlüsse eingesetzt. Sie enthalten Mischungen aus pulverisierten Edelmetallen (Gold, Platin, Silber) und einen relativ kleinen Anteil an

Sollen auch Schichtkondensatoren aufgedruckt werden, muß das oben beschriebene Verfahren noch einmal durchgeführt werden.

Dünnschichttechnik

Die Dünnschichttechnik kennt eine Reihe von Technologien zur Herstellung von Dünnschichtschaltungen. Am bekannt-





Links: Im letzten Schritt der Fertigung einer Dickfilmschaltung wird die Schaltung in einem metallischen Schutzgehäuse untergebracht. Auf dem Bild sieht man die Anlage, die das Gehäuse mit Hilfe von Buckelschweißung abdichtet.

Oben: Diese Abbildung zeigt die Schaltung vor und nach der Verkapselung.

testen sind das Aufdampfen und das Aufstäuben im Vakuum. Beim Aufdampfen erhitzt man reines Metall im Hochvakuum. Dabei treten aus dem Metall Atome aus, die sich auf dem relativ kalten Substrat niederschlagen. Läßt sich das Schichtmaterial — wie beispielsweise Tantal — nur schwer verdampfen, wendet man die Aufstäubetechnik an. Hierbei wird die Katode im Vakuum — man nennt den Vorgang auch *Katodenzerstäubung* — von Ionen bombardiert; sie gibt Atome ab, die sich auf einem Substrat, das sich in enger Nachbarschaft zur Katode befindet, niederschlagen.

Für das Aufstäuben der Leiterbahnen verwendet man reine Metalle. Es werden zwei Schichten verschiedener Metalle auf das Substrat aufgebracht. Die Grundschicht wird als Haftschiicht benötigt, damit eine chemische Bindung mit dem Substrat zustande kommen kann. Die meisten Dünnschichtwiderstände werden aus Metallverbindungen hergestellt. Benötigt man sehr genaue, hochohmige Widerstände (z.B. integrierte Schaltungen), nimmt man Cermetwerkstoffe. Dielektrische Werkstoffe werden nur in wenigen Fällen benutzt, da selbst für kleine Kapazitätswerte relativ große Substratflächen benötigt werden.

Dünnschichtsubstrate

Die Oberflächen der Substrate müssen in der Dünnschichttechnik wesentlich glatter sein als in der Dickschichttechnik. Denn schon geringe Dickenunterschiede können die Eigenschaften der Bauelemente verändern. Aus diesem Grunde verwendet man als Dünnschichtsubstrate vorwiegend Glas oder glasierte Keramik.

Die Reinheit der Substrate ist beim Herstellungsprozeß von Dünnschichtschaltungen ebenfalls ein wichtiger Faktor. Nach dem Schneiden auf die erforderliche Größe werden die Substrate entfettet, gewaschen und anschließend getrocknet. Erfolgt die Herstellung der Dünnschichtbauelemente in Aufdampftechnik, werden die sauberen Substrate auf eine große rotierende Trommel im Innern der Vakuumkammer gebracht. Die Leiter-, Widerstands- und Isolationswerkstoffe,

die verdampft werden sollen, werden zusammen mit der Wärmequelle im Zentrum der Trommel montiert. Das Aufbringen der einzelnen Dünnschichtbauelemente auf das Substrat erfolgt durch Metallmasken, die sich vor dem Substrat befinden. Die Schichtdicke hängt von der Dauer der Bestrahlung, der Substrattemperatur, der verdampfenden Quelle und der Geometrie des Systems ab. Bei der Aufstäubetechnik werden die Schichten ganzflächig auf das Substrat gebracht. Die Struktur eines Netzwerkes wird anschließend durch Fotoätzen herausgearbeitet.

Fertigmachen

Zum Abgleich von Widerständen werden numerisch gesteuerte Funkenstrecken oder Laser eingesetzt. Bei Tantal als Widerstandsmaterial erfolgt der Widerstandsabgleich durch anodische Oxidation. Zur Stabilisierung der Widerstandswerte wird die Oberfläche der Widerstandsschicht mit einer Oxidschicht belegt. Als nächstes werden diskrete Bauelemente montiert und Anschlußdrähte angebracht. Vor dem abschließenden Abdichten folgen noch Nacheichungen.

Anwendungen

Dünnschichtschaltungen werden überall dort eingesetzt, wo hochstabile Präzisionsnetzwerke bei kleinen Abmessungen und hoher Zuverlässigkeit benötigt werden. Anwendungsbeispiele sind: Sonargeräte, Steuerungssysteme bei Flugzeugen, HERZSCHRITTMACHER, Telefonapparate, Tongeneratoren und aktive Filter.

Dickschichtschaltungen haben Eingang in militärische, nachrichtentechnische und Raumfahrtbereiche gefunden. Heute werden sie hauptsächlich in preisgünstigen Schaltungen der Konsumelektronik, in der Automobil- und Elektronikindustrie eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind: UKW-Module und Verstärker für Radios, elektronische Rechner, Ausgangsregler für Wechselstrommaschinen und Module für die Zündung bei Autos, Strom- und Spannungsregler für Netzgeräte.

DIESELELEKTRISCHER ANTRIEB

Die Verbindung von Dieselmotor und Stromerzeuger stellt heute eine der am weitesten verbreiteten Formen des Lokomotivantriebs dar.

Zuglokomotiven und Triebwagen werden oft dieselelektrisch angetrieben. Hierbei wird die mechanische Kraft des DIESELMOTORS in elektrische Energie umgewandelt, die dann die Räder antreibt.

Man hat eine Zeitlang Lokomotiven gebaut, deren Verbrennungsmotoren unmittelbar mit den Triebädern verbunden waren. Doch hat sich dies in der Praxis als wenig zufriedenstellend erwiesen, weil das große Gewicht eines Eisenbahnzuges auf diese Weise nicht aus dem Stillstand beschleunigt werden kann. Auch ist dieser Antrieb für wechselnde Belastungszustände wenig geeignet. Als praxisgerechte Lösung

Unten: Große Lokomotive mit dieselelektrischem Antrieb, hergestellt von der amerikanischen Firma General Electric. Diese Art von Lokomotive wird viel in Nordamerika eingesetzt.

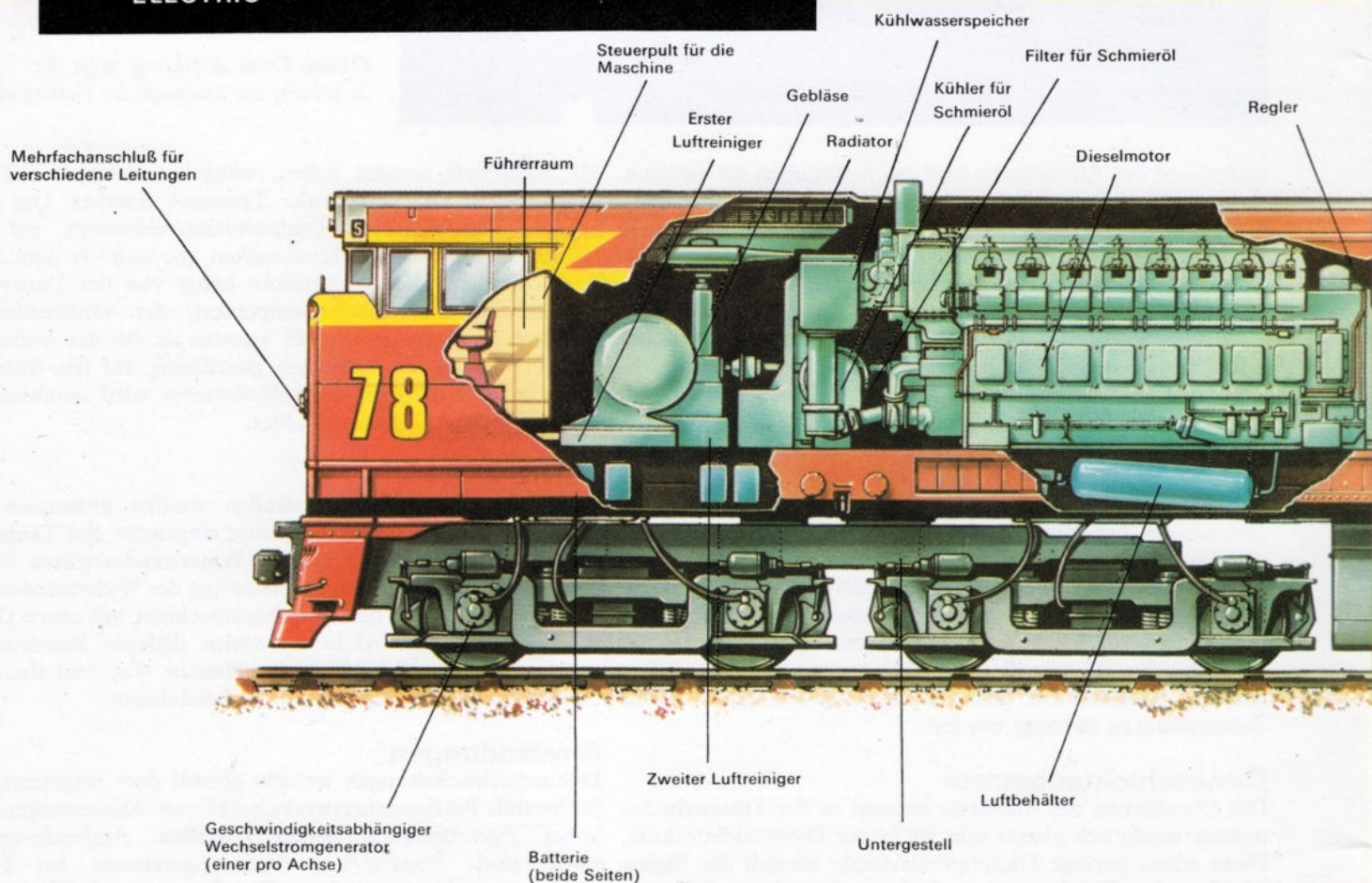
Mellersta-Södermanland-Eisenbahn in Schweden, der im Jahre 1913 eingesetzt wurde. Der Erste Weltkrieg verzögerte in den meisten Ländern die Entwicklung. Im Jahre 1925 wurde in der Sowjetunion die Lomonossow-Lokomotive mit 920 kW (1250 PS) gebaut. Die Maschinenleistungen stiegen bis zum Ausbruch des Zweiten Weltkrieges, vor allem in den Vereinigten Staaten, ständig an. Allerdings wurde hohe Leistung erst mit Hilfe von Doppeleinheiten erzielt, so zum Beispiel mit der Lokomotive der Rumänischen Staatsbahnen, die 2 940 kW (4 000 PS) leistete.

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte sich der Dieselantrieb dann endgültig durch. In den fünfziger Jahren wurden viele elektrische Rangierlokomotiven mit 257 kW (350 PS) und 295 kW (400 PS) durch Lokomotiven mit bis zu 2 430 kW (3300 PS), darunter die berühmte Deltic-Lokomotive, ersetzt. Aber auch sie war mit zwei Dieselmotoren ausgerüstet.

Die Leistungen liegen heute in der Praxis zwischen etwa 110 kW (150 PS) und 5 150 kW (7 000 PS). Dabei sind die niedrigeren Werte bei Rangierlokomotiven zu finden; die höheren Leistungen werden von zwei Motoren erzeugt. Oft werden die starken Lokomotiven für langsamere, schwere Güterzüge auf Bergstrecken, selten jedoch für Schnellzüge

3750 kW-LOKOMOTIVE DER FIRMA GENERAL ELECTRIC

TREVOR LAWRENCE



hat sich die Verwendung des Dieselmotors als Kraftquelle für einen Stromerzeuger erwiesen. Die elektrisch erzeugte Antriebsleistung kann dann in der erforderlichen Abstufung auf die Triebräder übertragen werden.

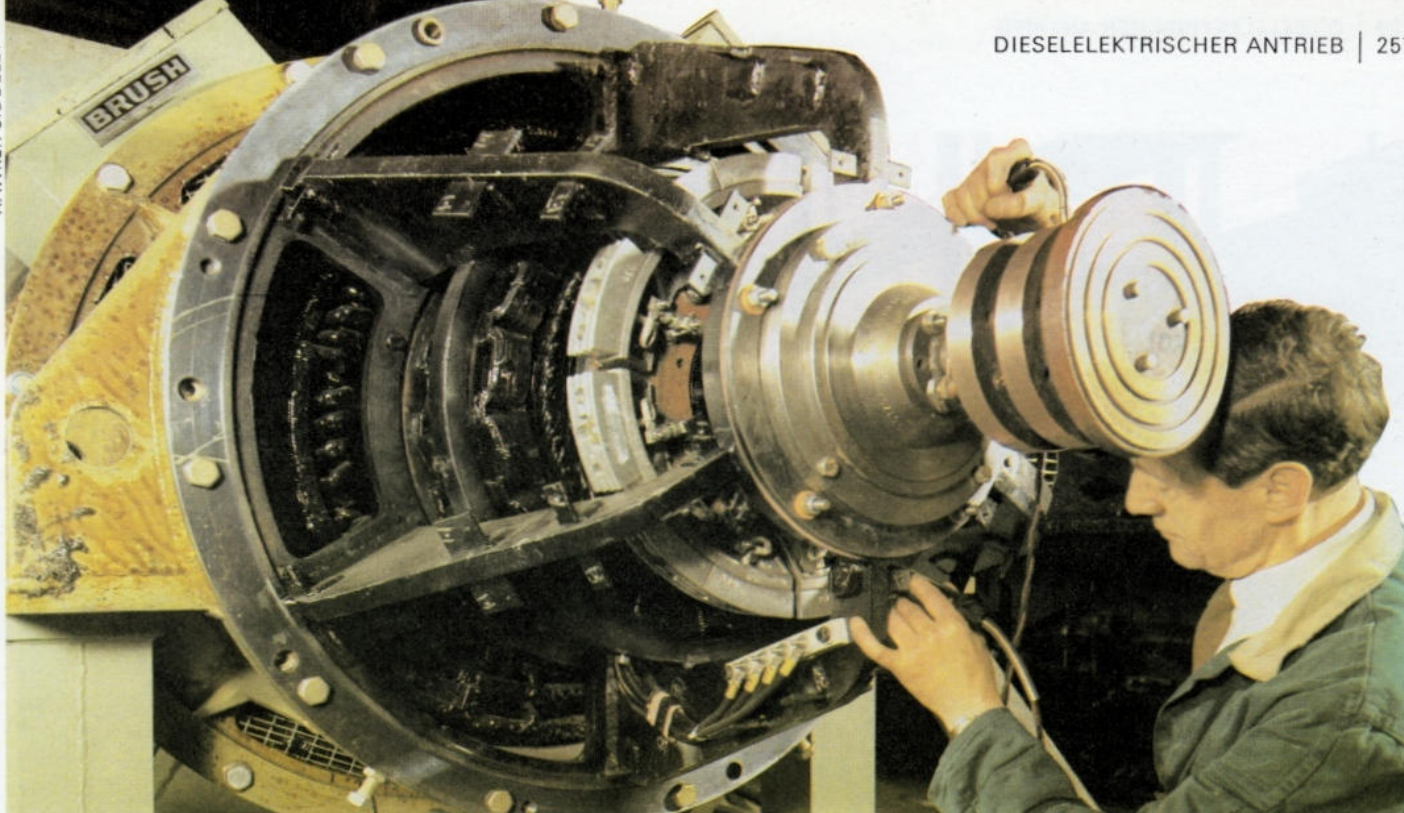
Entwicklung

Das erste praktisch verwendbare, dieselelektrisch angetriebene Fahrzeug war ein Triebwagen mit 55 kW (75 PS) der

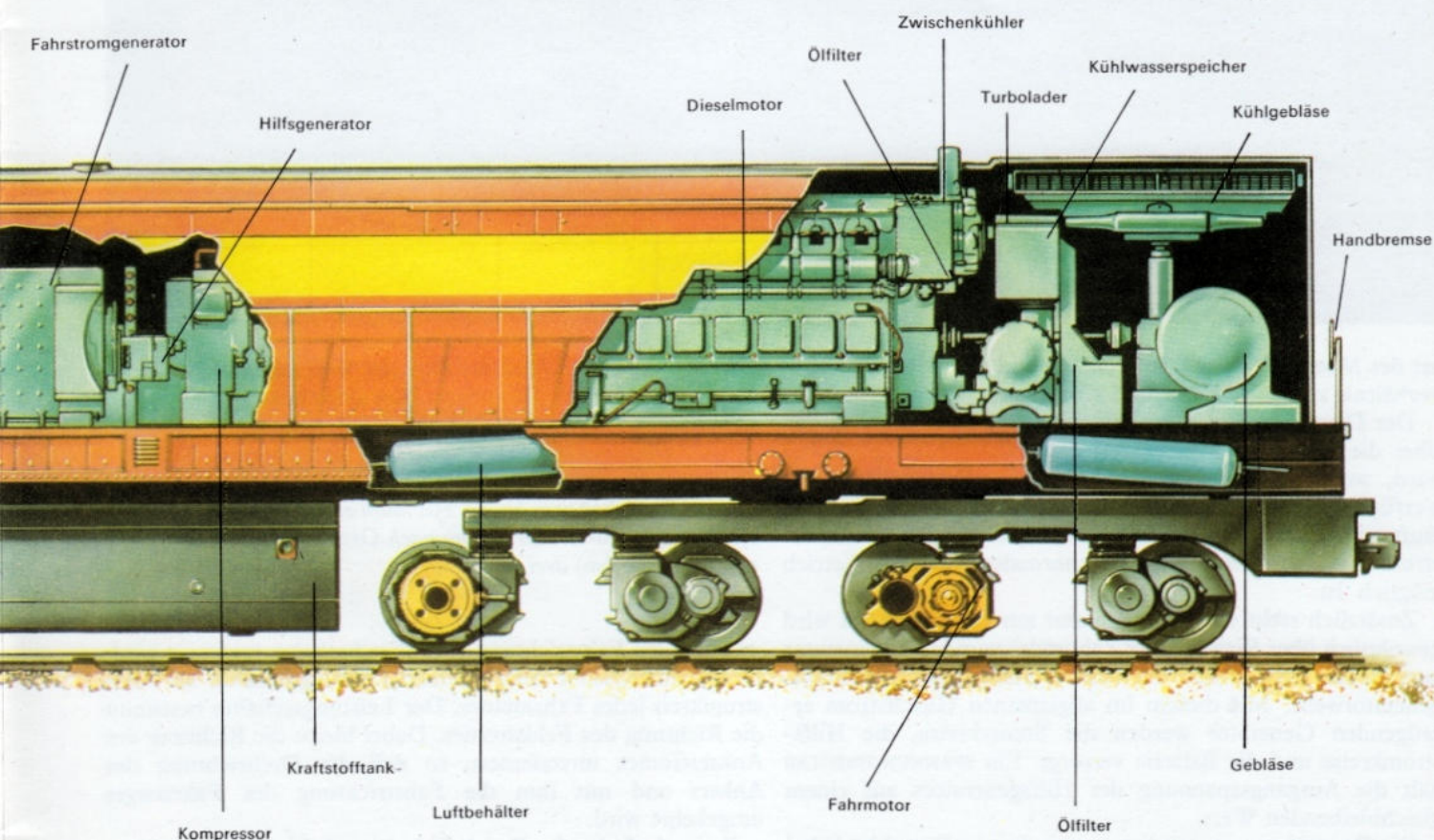
eingesetzt. Die Diesellokomotive der Reihe 218 der Deutschen Bundesbahn aber erreicht mit 1 840 kW (2 500 PS) etwa 140 km/h.

Aufbau

Normalerweise ist der Dieselmotor mechanisch mit einem Gleichstromgenerator (siehe DYNAMO) verbunden, der einen Reihenschluß-Gleichstrom-Antriebsmotor speist. Bei kleine-



Oben: Montage eines kombinierten Haupt- und Hilfsgenerators für einen Expresszug, der 200 km/h erreichen kann.



ren Fahrzeugen findet sich gelegentlich auch ein Drehstrom-generator, der einen Wechselstrom-Antriebsmotor mit Energie versorgt. Der Motor wird im allgemeinen im Drehgestell (Einheit aus Rädern und Achsen) elastisch aufgehängt. Ein Ritzel (siehe GETRIEBE) am Motor überträgt die Motorkraft auf einen neben dem Triebtrieb an der Achse angebrachten Zahnkranz. Der Durchmesser des Zahnkranzes ist üblicherweise viermal so groß wie der des Ritzels. Ein gängiges Überset-

zungsverhältnis ist 19:92. Das Triebtrieb ist 25% bis 50% größer als der Zahnkranz.

Entsprechend der geforderten Leistung können bis zu sechs elektrische Fahrmotoren Verwendung finden. Die Geschwindigkeit der Lokomotive hängt dabei von vier Faktoren ab: der Drehzahl des Dieselmotors (und damit des Stromerzeugers), der Erregung des Stromerzeugers (von der die an die Antriebsmotoren gelieferte Spannung abhängt), der Betriebs-



art des Motors (Vollast oder Teillast) und dem Übersetzungsverhältnis zwischen Ritzel und Zahnkranz.

Der Dieselmotor wird gewöhnlich dadurch angelassen, daß über die Batterie der Generator im Reihenschluß geschaltet wird, wodurch eine zusätzliche Anlasser-Feldwicklung zur Verfügung steht. Der Motor dreht durch, springt an und läuft mit Leerlauf-Drehzahl. Anschließend werden die Anlaßstromkreise so geschaltet, daß normaler Generatorbetrieb möglich ist.

Zusätzlich steht ein Hilfsgenerator zur Verfügung. Er wird gewöhnlich über Riemen oder Zahnräder vom Hauptgenerator angetrieben oder er sitzt auf einer Verlängerung der Hauptgeneratorwelle. Mit diesem im allgemeinen Gleichstrom erzeugenden Generator werden die Steuerkreise, die Hilfsstromkreise und die Batterie versorgt. Ein SPANNUNGSREGLER hält die Ausgangsspannung des Hilfsgenerators auf einem gleichbleibenden Wert.

Die Batteriespannungen liegen zwischen 12 V und 24 V bei kleineren Modellen und 110 V, eine in vielen Ländern übliche Normalspannung. In einigen amerikanischen Fahrzeugen sind auch Anlagen mit 74 V Spannung zu finden.

Steuerung

Die Steuerung des Fahrzeuges erfolgt über einen Steuerschalter, der im wesentlichen aus einer Reihe von Nockenschaltern besteht. Die Schalter sind zu Gruppen zusammengefaßt und gegenseitig verriegelt, um Fehlbedienung zu verhindern. Der Regelschalter bestimmt die Geschwindigkeit des Fahrzeuges,

Oben: Einige der schnellsten Züge der Welt haben diesel-elektrischen Antrieb. Elektrische Züge sind etwas schneller, weil sie leichter sind. Sie haben weder die schwere Dieselmachine noch Kraftstoff zu befördern. Das Bild zeigt den japanischen Zug Hikari (auf deutsch: leicht), der Geschwindigkeiten bis zu 250 km/h erreichen kann. Er benötigt von Tokio über Kyoto nach Osaka (eine Strecke von etwa 520 km) drei Stunden.

während die Fahrtrichtung vom Wendeschalter gesteuert wird. Der Wendeschalter betätigt einen Leistungsschalter im Feldstromkreis jedes Fahrmotors. Der Leistungsschalter bestimmt die Richtung des Feldstromes. Dabei bleibt die Richtung des Ankerstromes unverändert, so daß die Drehrichtung des Ankers und mit ihm die Fahrtrichtung des Fahrzeuges umgekehrt wird.

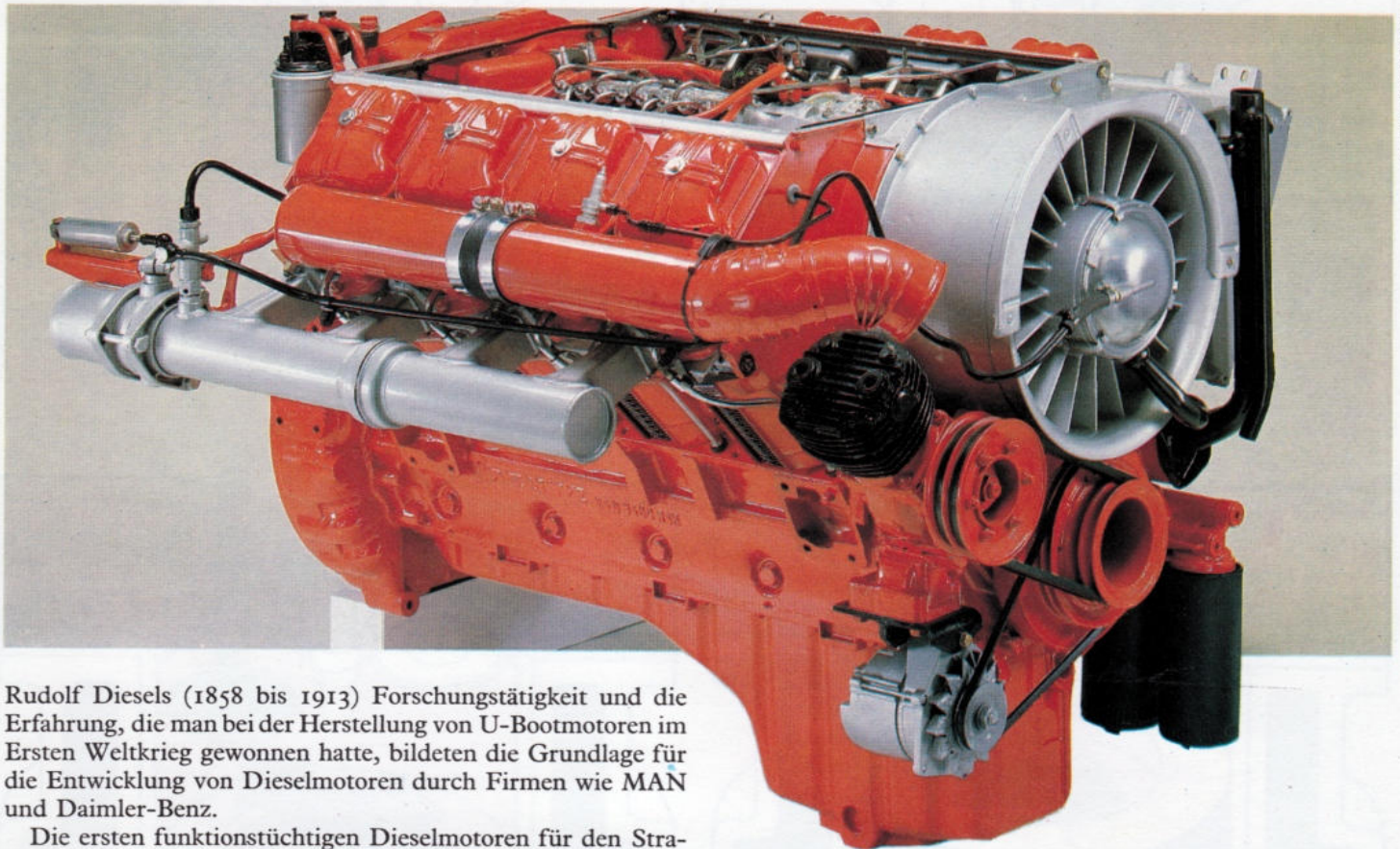
Es ist Aufgabe des Regelschalters und der Steuerschaltungen, die Erregung des Hauptgenerators auf den richtigen Wert zu bringen, wodurch an den Fahrmotoren die richtige Spannung anliegt. Dies geschieht vielfach durch Veränderung eines in Reihe zur Generator-Nebenschlußwicklung geschalteten Widerstandes.

Die einzelnen Schaltungen werden durch Überlastrelais, Trennschalter oder Sicherungen geschützt, so daß bei Auftreten eines Defektes der Strom unterbrochen oder abgeschaltet wird. Bestimmte Fehler im Steuersystem werden im Fahrerstand durch Kontrollleuchten angezeigt.

DIESELMOTOR

Der Dieselmotor ist nach seinem Erfinder, Rudolf Diesel, benannt. Die Entwicklung der ersten Dieselmotoren fand in Deutschland statt.

Unten: Fast alle Schlepper und Busse werden mit Dieselmotoren betrieben; sie sind stabiler als Ottomotoren und verbrauchen weniger Brennstoff. Die meisten Dieselmotoren sind wassergekühlt; der hier gezeigte ist jedoch eines der zahlreichen, von der Firma Deutz hergestellten, luftgekühlten Modelle.



MAGIRUS DEUTZ

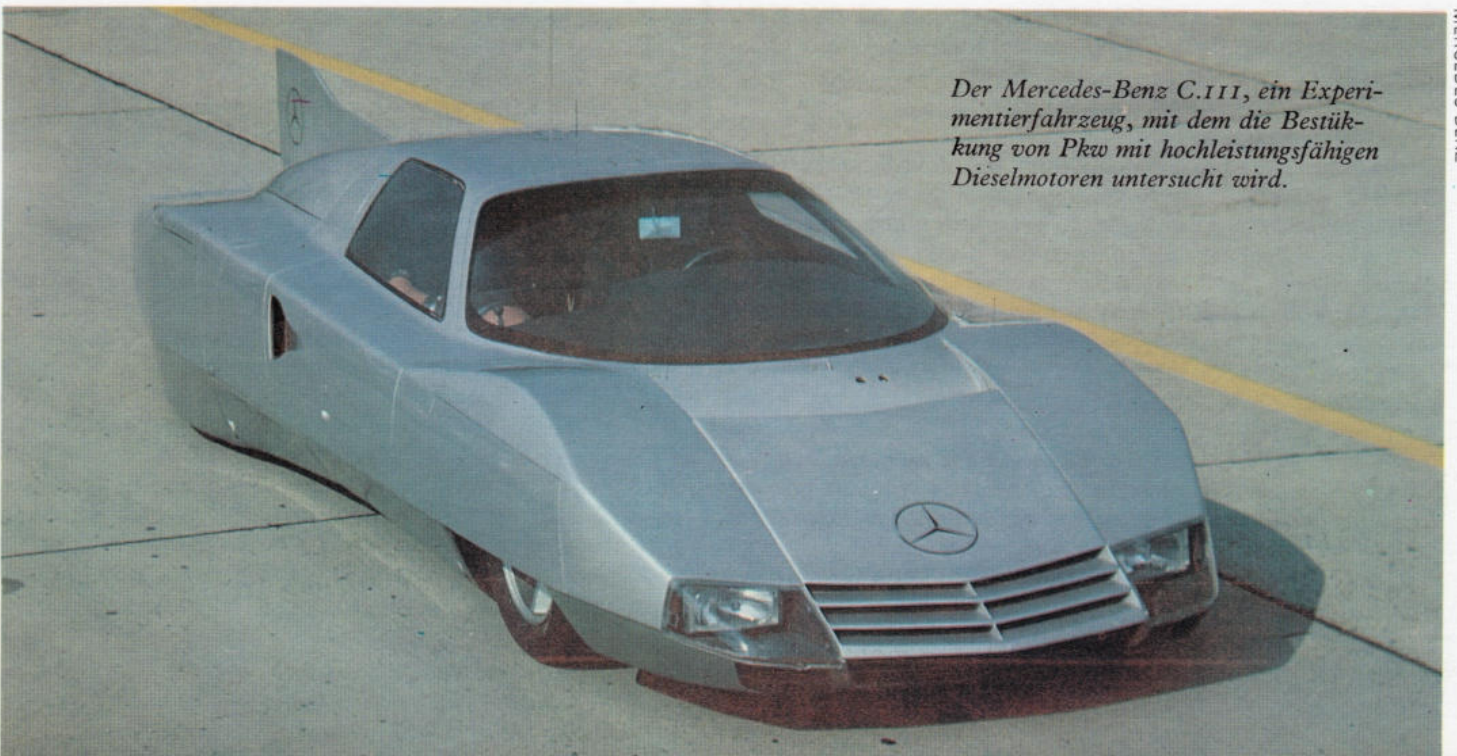
Rudolf Diesels (1858 bis 1913) Forschungstätigkeit und die Erfahrung, die man bei der Herstellung von U-Bootmotoren im Ersten Weltkrieg gewonnen hatte, bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Dieselmotoren durch Firmen wie MAN und Daimler-Benz.

Die ersten funktionstüchtigen Dieselmotoren für den Straßenverkehr, die in den zwanziger Jahren entwickelt wurden, hatten zwei, vier oder sechs Zylinder und leisteten etwa 29 kW bis 37 kW (rund 40 PS bis 50 PS).

Dieselmotoren für Schiffsantriebe wurden um 1930 zum Antrieb kleinerer Boote praktisch verwendbar. Diese Motoren wurden den Bedingungen im Straßeneinsatz angepaßt.

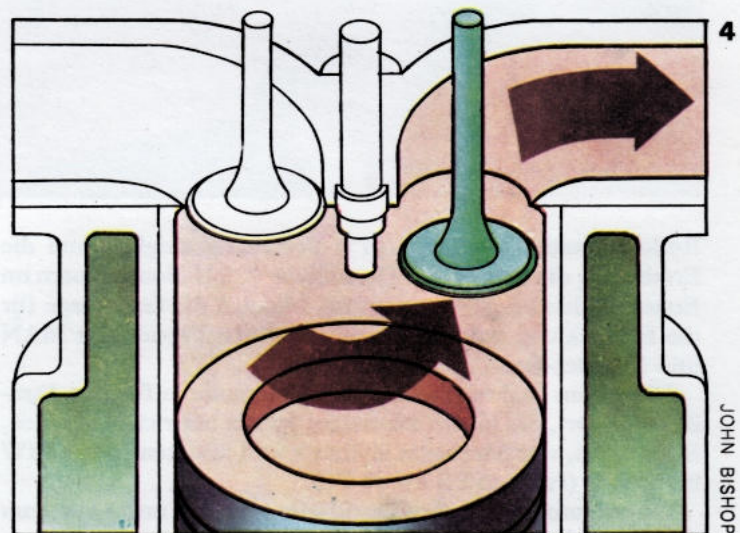
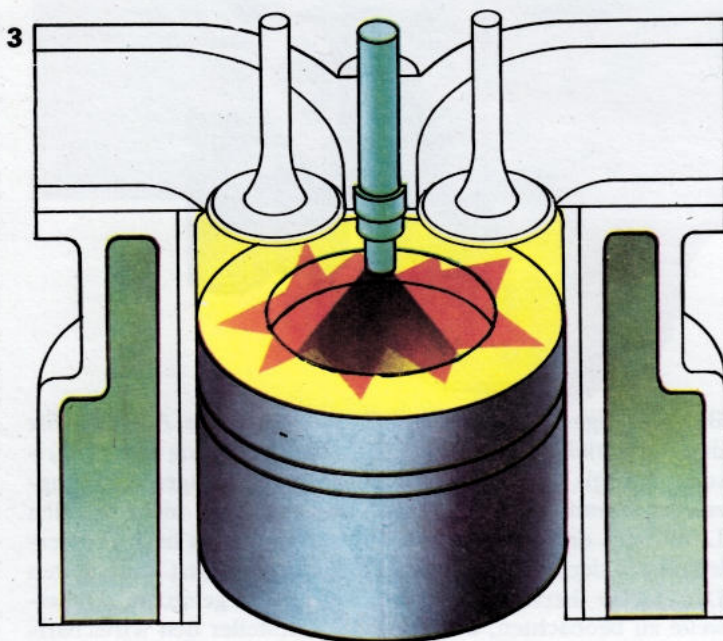
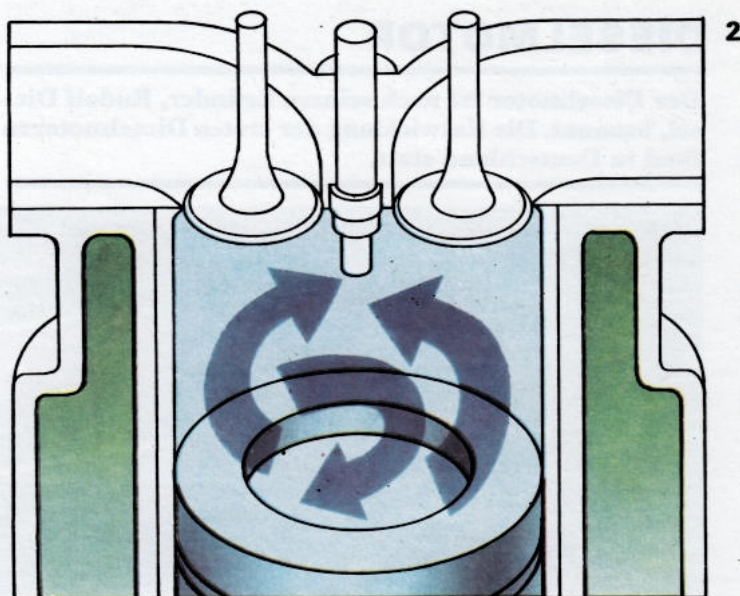
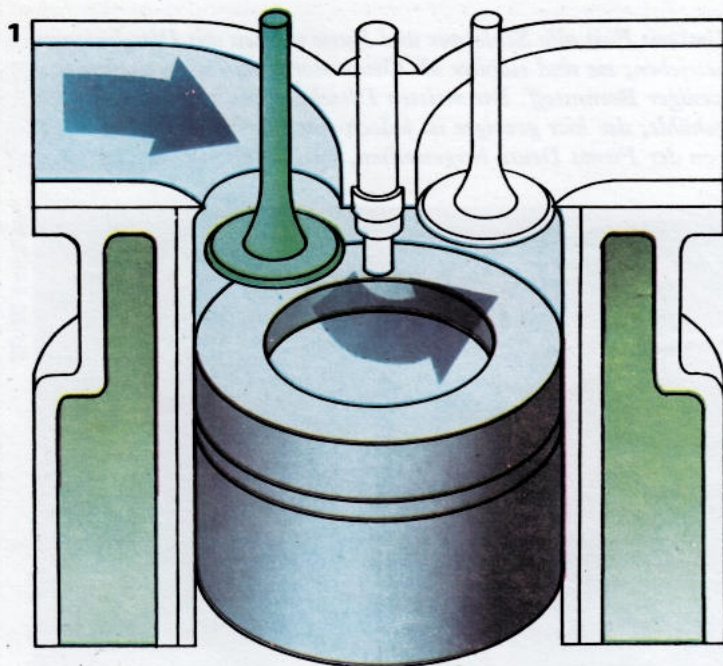
Die Leistungen stiegen ständig. Zu Beginn des Zweiten Weltkrieges waren Dieselmotoren im Güterverkehr auf der Straße, bei Lokomotiven, landwirtschaftlichen Schleppern,

Baufahrzeugen, Schiffen und Booten sowie als Antriebe für den industriellen Gebrauch (auch zur Erzeugung von elektrischer Energie) weit verbreitet. Bei Kraftfahrzeugen und Flugzeugen konnte der Dieselmotor im Normalfall nicht mit den Leistungen des Ottomotors mithalten. Doch ist nach Pionierleistungen der Firma Daimler-Benz, die schon seit Jahrzehnten Diesel-Pkw herstellt, gegenwärtig eine regelrechte Dieselwelle zu beobachten, da zahlreiche Hersteller den wirtschaftlichen und langlebigen Dieselmotor auch in ihrem Pkw-



Der Mercedes-Benz C.111, ein Experimentierfahrzeug, mit dem die Bestückung von Pkw mit hochleistungsfähigen Dieselmotoren untersucht wird.

MERCEDES BENZ



JOHN BISHOP

Programm einsetzen. Erfolgreichstes Modell ist dabei der VW-Golf D, der in der Fahrleistung Fahrzeugen mit Ottomotor kaum nachsteht.

Funktionsweise

Der Dieselmotor ist, wie der Ottomotor, eine Kraftmaschine mit innerer Verbrennung. Wenngleich beide Prinzipien viele Gemeinsamkeiten haben, gibt es beim jeweiligen Arbeitsverfahren doch bedeutende Unterschiede. Beim Ottomotor werden Kraftstoff und Luft im Vergaser miteinander vermischt. Das Gemisch wird durch den Abwärtshub des Kolbens in den oberhalb des Zylinders befindlichen Brennraum gesogen (Saugmotor). Beim nächsten Aufwärtshub wird das Gemisch auf ein Sechstel bis ein Zehntel seines ursprünglichen Volumens verdichtet. Wenn der Kolben seinen oberen Totpunkt (OT) erreicht hat, wird das Gemisch durch einen von der Zündkerze erzeugten elektrischen Funken gezündet. Die dabei auftretende Ausdehnung des verbrennenden Gemisches treibt den Kolben wieder nach unten (Arbeitshub).

Ein Dieselmotor hingegen saugt beim Abwärtshub des Kolbens lediglich reine Luft (Rohluft) in den Zylinder. Sie wird durch den Aufwärtshub verdichtet, allerdings auf ein

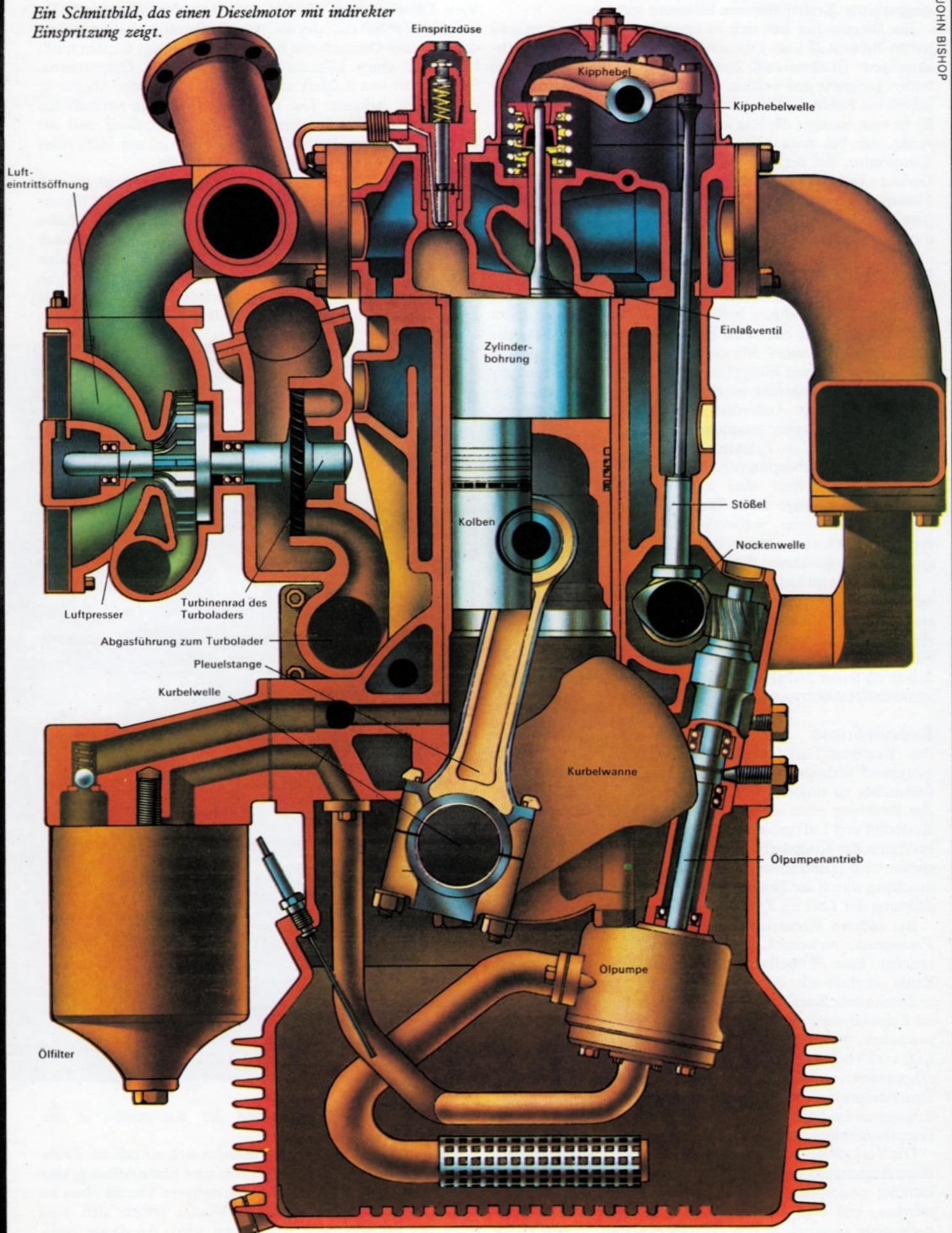
Einzelschritte beim Ablauf des Verbrennungszyklus in einem Viertakt-Dieselmotor:

1. **Ansaugen:** Der Kolben saugt durch das Einlassventil Luft in den Zylinder.
2. **Verdichten:** Der Kolben geht nach oben und verdichtet die Luft im Zylinder auf weit höhere Drücke als im Ottomotor üblich.
3. **Zünden:** Kraftstoff wird in die nunmehr sehr heiße, verdichtete Luft eingespritzt und entzündet sich spontan. Dadurch wird der Kolben nach unten getrieben und der Kurbelwelle wird ein Drehimpuls verliehen.
4. **Ausschieben:** Die Verbrennungsgase werden beim Aufwärtshub des Kolbens ins Freie geschoben.

weit höheres Verdichtungsverhältnis als beim Ottomotor. Es liegt beim Dieselmotor zwischen 12:1 und 25:1. Dadurch steigt die Temperatur der Luft deutlich auf Werte über 540°C an. Wenn der Kolben sich nun dem OT nähert, wird ein feiner Kraftstoffnebel durch eine im Zylinderkopf befindliche Einspritzdüse in den Zylinder gespritzt. Der Kraftstoff vermischt sich mit der komprimierten Luft, die durch die Verdichtung so stark erhitzt wird, daß das Gemisch sich ohne Zündfunken spontan entzündet (daher nennt man Dieselmotoren auch 'Selbstzünder').

Da das Volumen der vom Kolben angesaugten Luft beim

Ein Schnittbild, das einen Dieselmotor mit indirekter Einspritzung zeigt.



Dieselmotor stets gleich ist, kann die Drehzahl nur über die eingespritzte Kraftstoffmenge bestimmt werden.

Ein Dieselmotor läßt sich so einstellen, daß er mit nahezu jedem Brennstoff vom Pflanzenöl bis zum Erdgas und hoch- oder oktanimem Ottokraftstoff betrieben werden kann. Der am besten geeignete und weithin verwendete Dieselmotor wird jedoch aus Rohöl destilliert und ist dem Paraffin eng verwandt. Er ist weit weniger flüchtig als Benzin und hat einen *Flammpunkt*, der bei etwa 75°C liegt. Der Flammpunkt ist die Temperatur, bei der sich die über einem erwärmten Erdöl-Derivat befindlichen Dämpfe durch eine herangeführte Flamme kurzfristig entzünden. Der Flammpunkt von Benzin (Ottokraftstoff) hingegen liegt unterhalb der gewöhnlich auftretenden atmosphärischen Lufttemperaturen.

Kraftstoffeinspritzung

Der Kraftstoff wird durch eine Kraftstoffpumpe an die jeweiligen Einspritzdüsen befördert. Entweder hat jede Düse ihre eigene PUMPE, oder eine Hauptpumpe versorgt abwechselnd mit Hilfe eines Verteilerventils alle Einspritzdüsen. Pumpen für einzelne Einspritzdüsen können in einer einzigen Einheit zusammengefaßt werden, die dann die Düsen über Leitungen versorgt. Außerdem kann man je eine Pumpe und Düse in Baugruppen zusammenfassen, wobei eine solche Baugruppe an jedem Zylinder einzeln angebracht wird. Die Pumpen sind Kolbenpumpen, bei denen der mit Federkraft beaufschlagte Kolben über eine vom Motor getriebene Nockenwelle betätigt wird. Die Gassteuerung ist mit dem Pumpenmechanismus verbunden und ändert die Motordrehzahl durch eine entsprechende Bemessung der den Einspritzdüsen zugeführten Kraftstoffmenge.

In den Einspritzdüsen befinden sich unter Federdruck stehende Nadelventile, die durch den Druck des Kraftstoffstoßes, den die Pumpen im richtigen Augenblick des Arbeitsablaufes liefern, geöffnet werden. Der Kraftstoff wird durch kleine Bohrungen am Ende der Einspritzdüse zerstäubt, so daß er als feiner Nebel im Brennraum gut verteilt wird (siehe KRAFTSTOFFEINSPRITZUNG).

Brennräume

Das Kraftstoff/Luft-Gemisch muß gleichmäßig und fortschreitend verbrennen, da eine schlagartige Entzündung des Gemisches zu ungleichmäßigem Motorlauf ('Nageln') führt. Zur Erzielung einer ordnungsgemäßen Verbrennung müssen Kraftstoff und Luft gründlich vermischt werden. Bei Motoren, bei denen der Kraftstoff unmittelbar in den Brennraum eingespritzt wird (Direkteinspritzung), läßt sich eine bessere Vermischung durch die Erzeugung einer Turbulenz bei der Verdichtung der Luft im Zylinder erzielen.

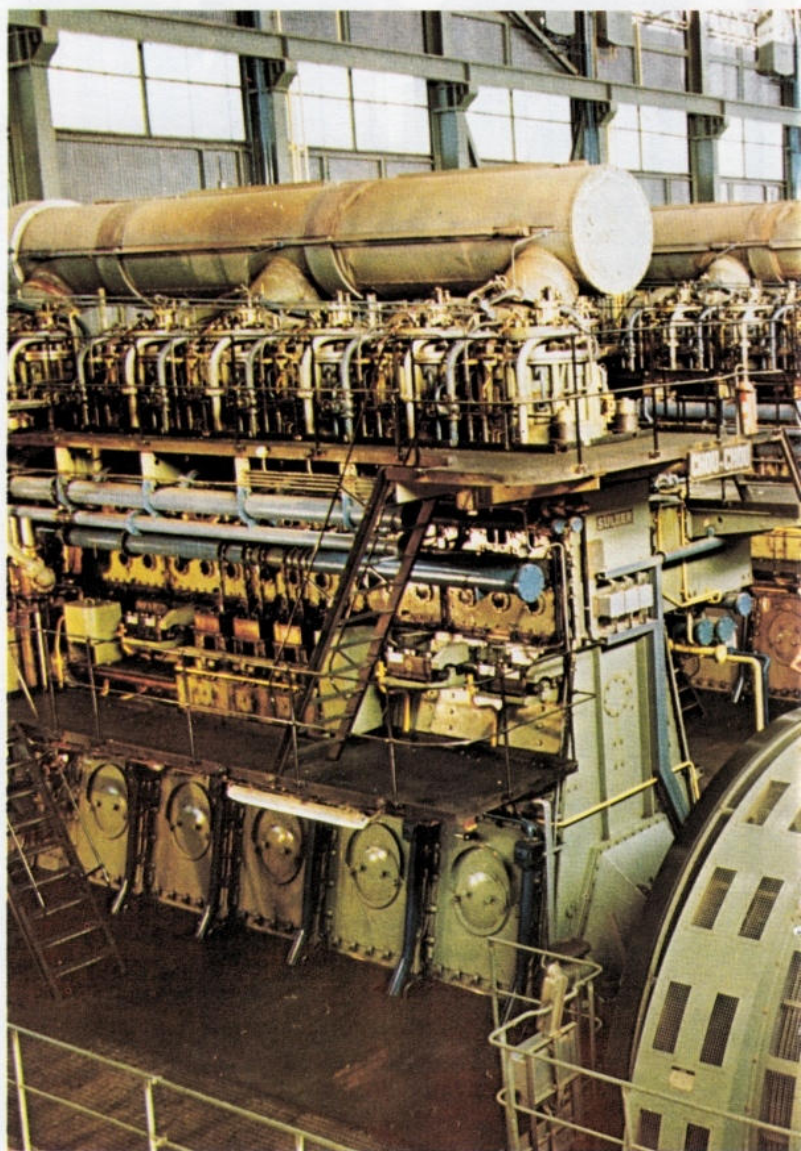
Bei anderen Konstruktionen werden *Wirbelkammern* oder *Vorkammern* verwendet, um eine verbesserte Verbrennung zu erzielen. Eine Wirbelkammer ist ein kleiner kugelförmiger Raum oberhalb oder seitlich des Hauptbrennraumes, mit dem er durch einen Kanal verbunden ist. Beim Verdichten der Luft im Zylinder wird ein Teil davon in die Wirbelkammer übergeschoben, wo — bedingt durch die Form der Kammer — die Luft verwirbelt wird. Der Kraftstoff wird in die Wirbelkammer eingespritzt; es erfolgt eine Vorverbrennung. Durch die Drucksteigerung bei der Verbrennung entsteht eine Ausströmgeschwindigkeit, die die unverbrannten Anteile in den Hauptbrennraum drückt, wo die Verbrennung vollendet wird.

Die Vorkammer ist über mehrere kleine Öffnungen mit dem Hauptbrennraum verbunden. Der Kraftstoff wird in die Vorkammer eingespritzt. Dort entzündet sich ein Teil des Gemisches, und sein Verbrennungsdruck treibt das teilweise verbrannte Gemisch in den Hauptbrennraum, in den es infolge guter Verwirbelung als feiner Nebel eintritt und wo es weich verbrennt.

Zweitakt-Diesel

Viele Dieselmotoren arbeiten nach dem Zweitaktprinzip. Da lediglich Rohluft statt des üblichen Kraftstoff/Luft-Gemisches, das Zweitakt-Ottomotoren benötigen, angesaugt werden muß, haben sie einen höheren Wirkungsgrad als Ottomotoren. Der Eintritt von Rohluft und das Ausschleiben der Abgase ist als 'Spülen' bekannt. Die beiden am weitesten verbreiteten Verfahren bei Dieselmotoren sind die *Querspülung* und die *Gleichstromspülung*. Bei beiden Verfahren wird mit Hilfe eines Gebläses Luft in die Einlaßöffnung gedrückt.

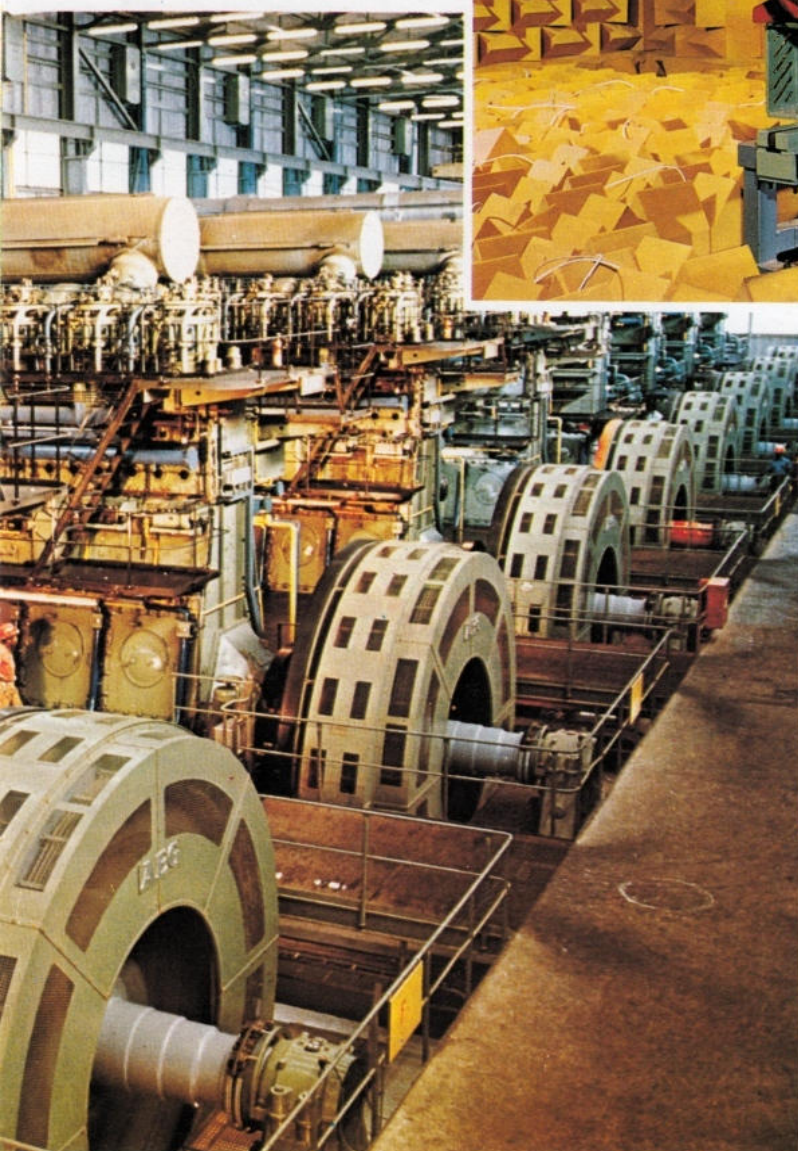
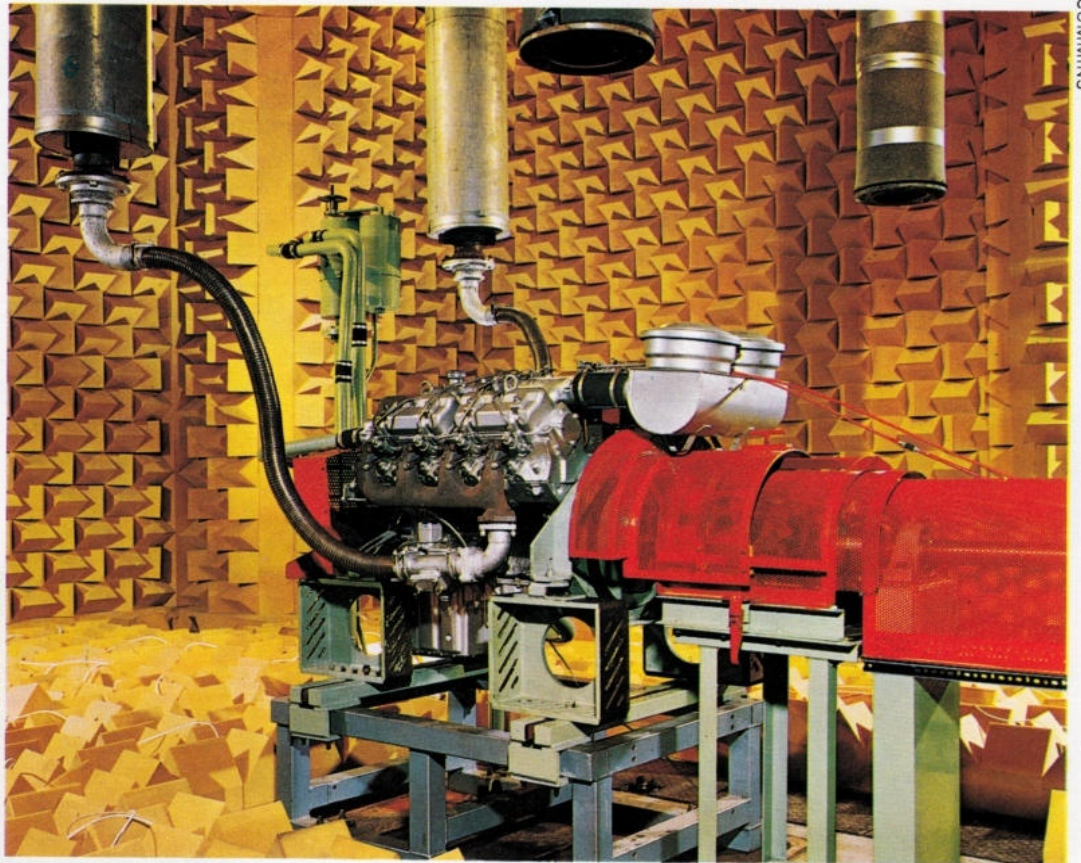
Bei der Querspülung legt der Kolben, während er sich seinem unteren Totpunkt nähert, die Ein- und Auslaßöffnungen frei. Durch die Einlaßöffnung wird Luft vom Gebläse aufwärts in den Zylinder geblasen, wodurch die Abgase nach unten und durch die Abgasöffnung auf der gegenüberliegenden Zylinderseite hinausgedrückt werden. Beim Aufwärtshub verdeckt der Kolben die Öffnungen wieder. Dadurch wird der Zylinder wirksam abgedichtet, und die Rohluft kann vor dem



von oben erfolgen Einspritzen des Kraftstoffes in den Zylinder verdichtet werden.

Bei der Gleichstromspülung befindet sich seitlich am Zylinder, nahe dem Zylinderfuß, ebenfalls eine Einlaßöffnung, aber die Abgase werden durch ein oder mehrere Ventile oben im Brennraum hinausgedrückt. Die Ventile öffnen sich kurz bevor die Einlaßöffnung freigegeben wird. An dieser Stelle haben die Gase noch einen gewissen Druck, wodurch sie aus dem Zylinder ausströmen, während das verbleibende Gas

Rechts: Eine Maschine in einer schallschluckenden Kammer. Sie wurde speziell dazu entwickelt, die Lärmquellen bei Dieselmotoren festzustellen. Der Lärm von Dieselmotoren wirkt auf Anwohner von viel befahrenen Verkehrsstraßen störend und ermüdet den Lastwagenfahrer. Viele Schwerlast- und Busse sind dieselgetrieben. In der Testkammer können die Geräusche von verschiedenen Teilen der Maschine erfaßt werden. Die Maschine kann mit Hilfe der ermittelten Daten auf minimalen Lärm ausgelegt werden.



Links: Das Kraftwerk 'Bong Range' (Liberia) ist mit elf langsam laufenden (150 U/min) Sulzer 2-Hub-Dieselmotoren ausgerüstet. Die Gesamtleistung beträgt über 100 MW. Dies bedeutet, daß Bong Range das größte dieselbetriebene Kraftwerk der Welt ist. Die großen Räder im Vordergrund sind die Wechselstromgeneratoren, die den elektrischen Strom erzeugen. Ähnlich anderen 2-Hub-Maschinen haben diese Dieselmotoren keine Ventile, wodurch sie wartungsfreundlich sind. Diese Maschinen sind sehr zuverlässig; sie können in Schiffe für veränderliche Geschwindigkeitssteuerung und Bootswendegetriebe eingebaut werden.

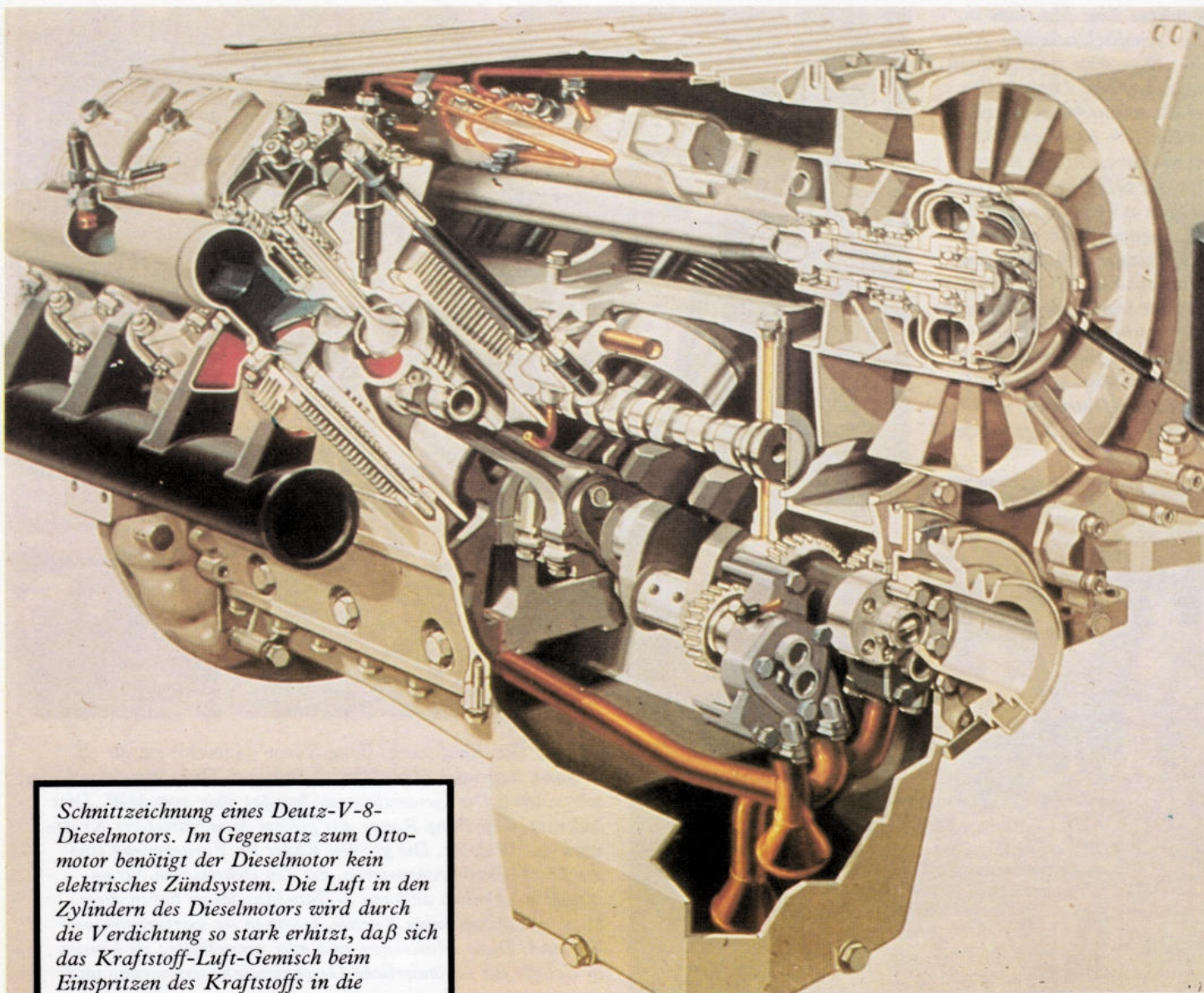
Auslaßöffnungen befinden sich in der Nähe der Kurbelgehäuse an einander gegenüberliegenden Zylinderenden. Die Einspritzdüse liegt in der Mitte. Am Zündpunkt stehen die Kolben dicht beieinander, Boden an Boden, und die Kraft der Verbrennung drückt sie in entgegengesetzte Richtungen in den Zylinder. Kurz vor Freigabe der Einlaßöffnungen durch den einen Kolben gibt der andere die Auslaßöffnungen frei, so daß der größte Teil des Abgases unter Druck entweicht, während die eintretende Rohluft den Rest herausschiebt, nachdem die Einlaßöffnung freigegeben ist.

Aufladung

Die Leistung von Verbrennungsmotoren läßt sich durch Aufladung bedeutend steigern. Vor allem der Dieselmotor ist dazu geeignet, da im Unterschied zu dem von Ottomotoren benötigten Benzin/Luft-Gemisch lediglich Luft eingeblasen werden muß. Der Lader drückt mehr Luft in die Zylinder, als sie allein durch den Abwärtshub der Kolben ansaugen können (natürliche Ansaugung). Auf diese Weise kann in einem bestimmten Zylindervolumen ein größeres Kraftstoff/Luft-Gemisch verbrannt werden als in einem nichtaufgeladenen Motor. Dadurch ergibt sich mehr Leistung, ohne den Motor vergrößern zu müssen. Der Lader ist eine Art vom Motor angetriebener KOMPRESSOR (Luftpresser). Es finden verschiedene Arten Verwendung, einschließlich Pumpen-, Schrauben-

durch die Aufwärtsströmung der vom Gebläse zugeführten Rohluft ausgeschoben wird.

Einige Zweitakt-Dieselmotoren arbeiten nach dem Gegenkolbenprinzip, wobei zwei Kolben in demselben Zylinder gegenläufig zueinander arbeiten und sich von den gegenüberliegenden Seiten zum Mittelpunkt des Zylinders hin bewegen. Die Kolben können über Kurbelzapfen auf derselben Kurbelwelle laufen oder aber getrennte Kurbelwellen haben, die durch eine Steuereinrichtung verbunden sind. Einlaß- und



Schnittzeichnung eines Deutz-V-8-Dieselmotors. Im Gegensatz zum Ottomotor benötigt der Dieselmotor kein elektrisches Zündsystem. Die Luft in den Zylindern des Dieselmotors wird durch die Verdichtung so stark erhitzt, daß sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch beim Einspritzen des Kraftstoffs in die Zylinder spontan entzündet.

und Zentrifugalausführungen, und zwar sowohl bei Zweitakt- als auch bei Viertakt-Dieselmotoren.

Anlassen

Beim Kaltstart bieten Dieselmotoren, bei denen der Kraftstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird, keine besonderen Schwierigkeiten. Allerdings sind für größere Motoren besonders kräftige Anlassermotoren erforderlich. Bei Vor- oder Wirbelkammermotoren kann der Anlaßvorgang jedoch schwierig sein, so daß sie gewöhnlich mit elektrisch beheizten Glühkerzen oder Glühwendeln arbeiten, die sich im allgemeinen neben den Einspritzdüsen befinden. Dadurch wird die Luft im Brennraum vorgewärmt und das Verdampfen des Kraftstoffes bis zum Erreichen der Betriebstemperatur erleichtert. Kleinere Motoren lassen sich leicht von Hand anlassen, bei größeren Industriemotoren ist dies unter Zuhilfenahme einer Energiespeicher-Einrichtung ebenfalls möglich. So kann z.B. ein großes Schwungrad in Umdrehung versetzt und bei hinreichender Drehzahl mit dem Motor verbunden werden. Man kann aber auch mit Hilfe einer Handpumpe in einem Hydraulikzylinder Druck aufbauen, dessen Energie eine Zahnstange treibt, die wiederum ein Ritzel auf der Motorkurbelwelle angreifen läßt. In anderen Fällen kann ein kleiner, leicht anzulassender Motor als Anlasser für einen großen Motor dienen.

Einsatz von Dieselmotoren

Der Dieselmotor ist eine sehr vielseitige Kraftquelle; er wird auf der ganzen Welt in den unterschiedlichsten Ausführungen hergestellt. Man findet luft- oder wassergekühlte, Zwei- oder Viertakt-, aufgeladene und Saugmotoren. Sie alle können mit den verschiedensten Kraftstoffen betrieben werden. Auf festem Land werden sie fast überall zum Antrieb von Baumaschinen und Lastfahrzeugen verwendet. Sie werden überwiegend in Taxen, aber auch in zunehmendem Maße in Pkw mit hoher Fahrleistung oder für den Stadtverkehr bestimmten Pkw eingesetzt. Zahlreiche Eisenbahnlokomotiven, wie auch die meisten landwirtschaftlichen Maschinen, beispielsweise Schlepper und Erntemaschinen, werden von Dieselmotoren unmittelbar oder mittelbar (DIESELELEKTRISCHER ANTRIEB) angetrieben.

Ortsfeste Motoren finden sich in der Industrie. Sie liefern zum Beispiel den Antrieb für Kompressoren und Generatoren. Schiffsdiesel sind die Antriebsaggregate für Barkassen, Jachten, Fischereischiffe, einige Marine-Schnellboote, Schlepper, Rennboote und viele andere kleine Wasserfahrzeuge.

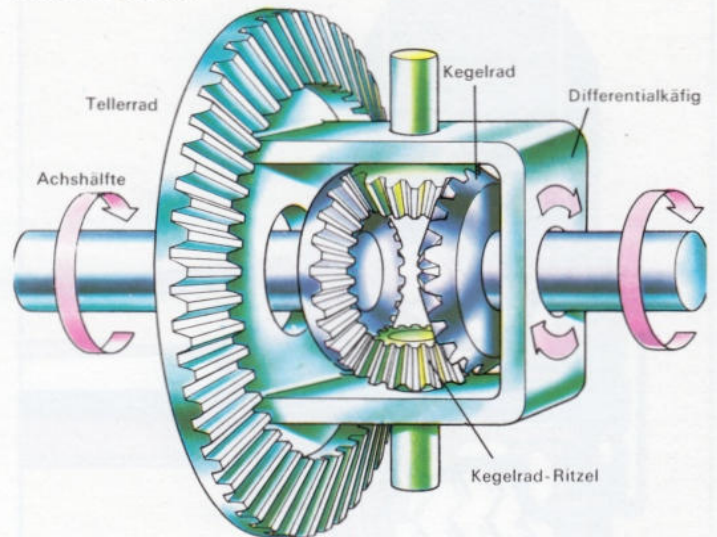
In Zukunft könnte dem Dieselmotor zunehmend von kleinen und leichten Gasturbinen Konkurrenz erwachsen. Außerdem wird die Übertragung des Wankel-Prinzips auf Dieselmotoren untersucht. Dies würde den weichen Lauf und die kompakte Bauweise der Turbine mit der Vielseitigkeit des Dieselmotors verbinden.

DIFFERENTIAL

Wenn ein Wagen um die Ecke fährt, müssen die äußeren Räder eine größere Strecke zurücklegen und sich daher schneller drehen als die inneren. Das Differential ist eine Anordnung von Zahnrädern, die es möglich macht, daß sich die äußeren Räder drehen, ohne zu rutschen.

Wenn ein Fahrzeug eine Kurve beschreibt, legt das kurveninnere Rad eine kürzere Strecke zurück als das kurvenäußere Rad. Es muß sich daher aus Sicherheitsgründen und um den Reifenabrieb auf ein Mindestmaß zu begrenzen langsamer drehen. Fahrzeuge mit Allradantrieb, wie der Unimog von Mercedes-Benz oder der Jeep, haben zwei Differenziale. Zum Erreichen maximaler Zugkraft hat man ein allradgetriebenes Fahrzeug mit drei Differentialen konstruiert, bei dem die

GERADEAUSFAHRT

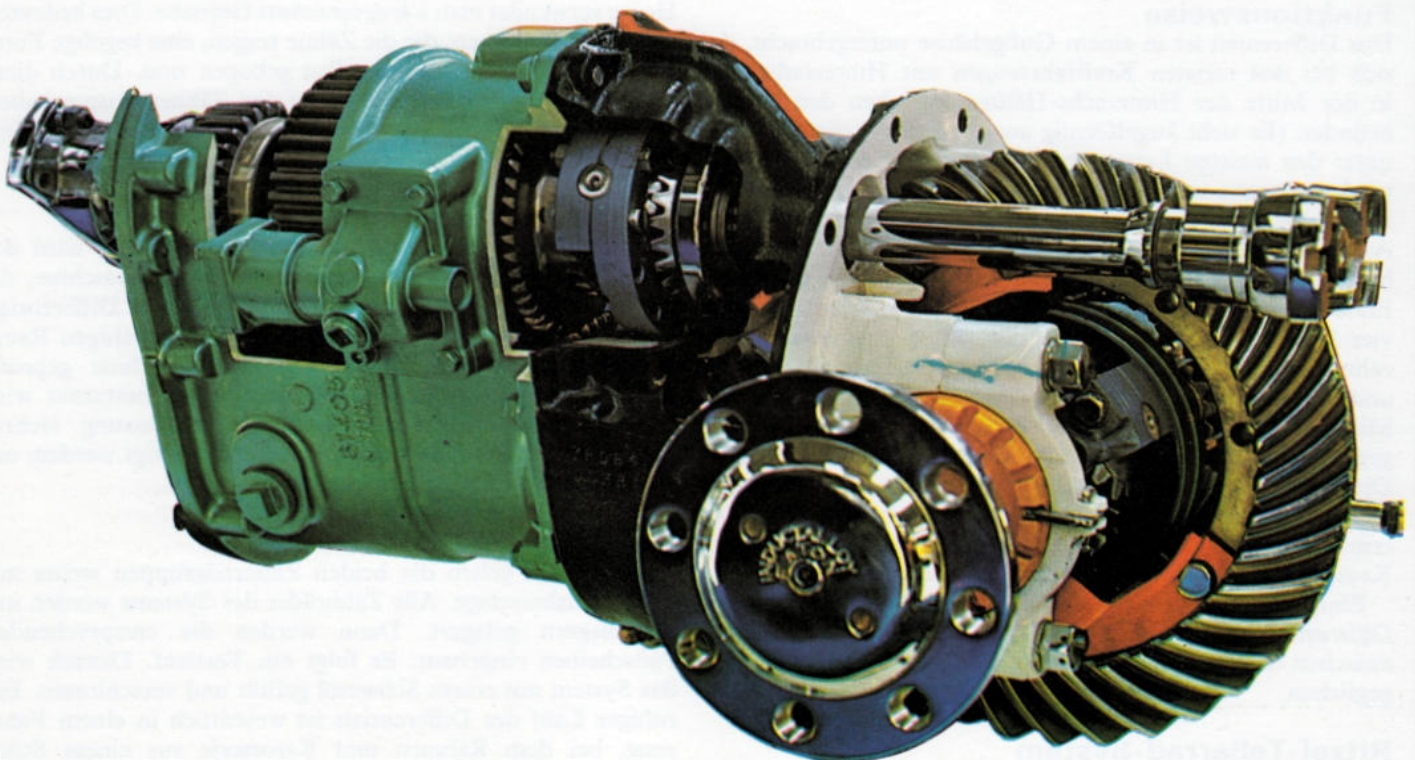
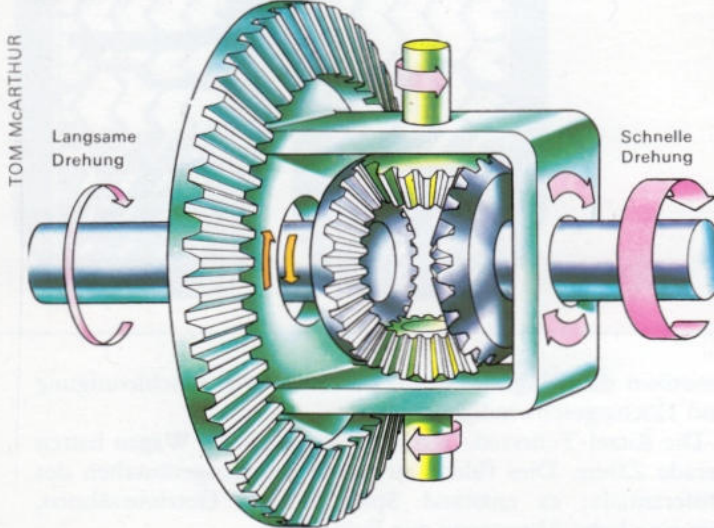


Oben: Auf einer geraden Straße drehen sich die Achshälften mit derselben Geschwindigkeit, während die Kegelrad-Ritzel sich mit dem Käfig drehen. Bezogen auf ihre eigenen Achsen stehen sie jedoch still.

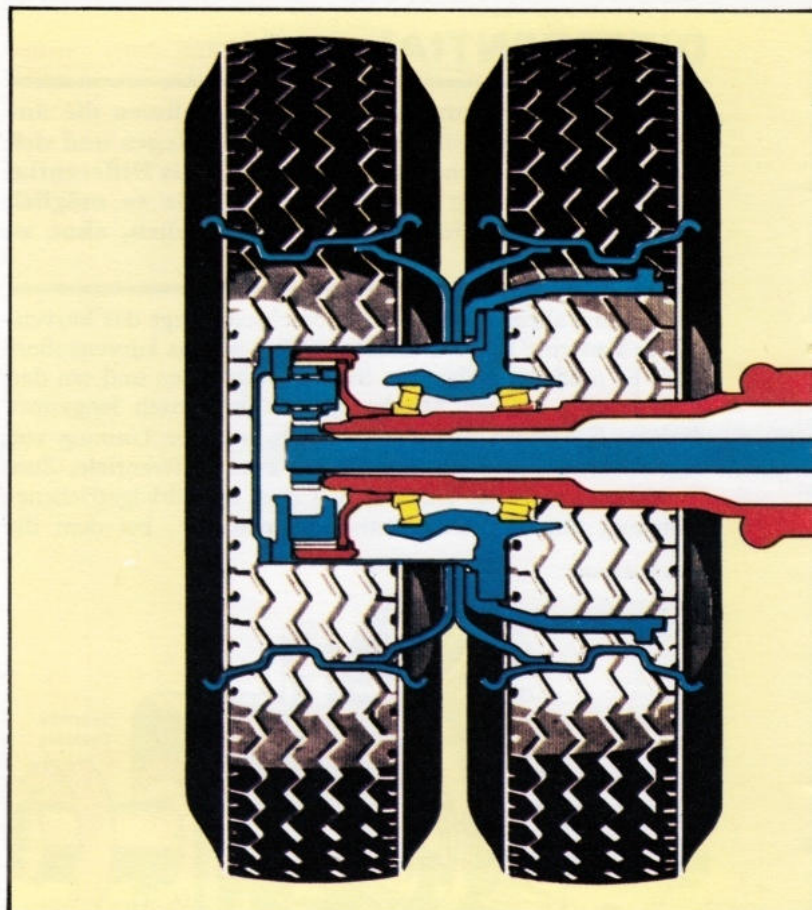
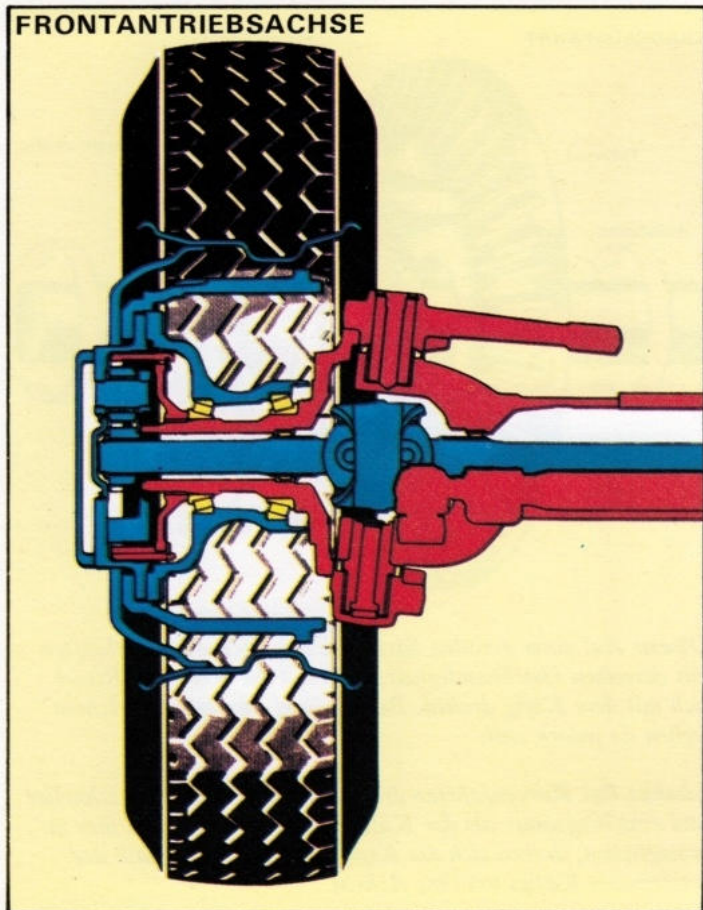
Links: Bei Kurvenfahrten dreht sich eine Achshälfte schneller und eine langsamer als der Käfig (orange Pfeile). Um dies zu ermöglichen, drehen sich die Kegelrad-Ritzel innerhalb des rotierenden Käfigs um ihre Achsen.

Unten: Eine Hochleistungs-Lkw-Achse. Das große Zahnrad rechts ist das Tellerrad des Differentials. Das Rad des Lkw wird auf den vorne sichtbaren Flansch montiert. Die Kraftübertragung vom Motor erfolgt über die Antriebswelle, die aus dem Getriebe über dem Tellerrad herausragt. Bei dem System im grünen Gehäuse handelt es sich um ein elektrisch betriebenes Zweigang-Getriebe.

KURVENFAHRT



FRONTANTRIEBSACHSE



Vorderräder, die Hinterräder und die Vorder- von den Hinterrädern getrennt sind, so daß sich jedes Rad, wenn es angetrieben wird, mit seiner eigenen Geschwindigkeit drehen kann. (Das einzige Auto ohne Differential war der DAF, der in den Niederlanden gebaut wurde. Er verfügte über ein Riemenantriebssystem, bei dem der Riemen auf den Riemenscheiben rutschen kann.)

Funktionsweise

Das Differential ist in einem Gußgehäuse untergebracht, das sich bei den meisten Kraftfahrzeugen mit Hinterradantrieb in der Mitte der Hinterachs-Hälften zwischen den Rädern befindet. (Es sieht kugelförmig aus, und man kann es hinten unter den meisten Lastwagen entdecken.) Die Antriebswelle wird von vorne und je eine Achshälfte an den beiden Seiten in das Gehäuse geführt. Ein Ritzel ist mit dem Ende der Antriebswelle verkeilt und mit genau passenden Keilnuten befestigt. Dieses Ritzel dreht ein großes *Kegelzahnrad*, das am Ende einer der Achshälften befestigt ist. Eine Anordnung von vier kleinen Kegelzahnradern (zwei Ritzel und zwei Sternzahnradern) ist mit dem großen Kegelzahnrad verschraubt und dreht sich mit ihm (siehe Bild). Die andere Achshälfte wird von dem kleinen Ritzel angetrieben, das sich gegenüber dem großen Kegelzahnrad ("Tellerrad") befindet. Diese Anordnung treibt beide Achshälften mit derselben Geschwindigkeit an, wenn das Fahrzeug geradeaus fährt. Sie ermöglicht, daß sich die Halbachse gegenüber dem großen Kegelzahnrad gegebenenfalls langsamer oder schneller dreht.

Einige Konstruktionen sind so ausgelegt, daß sie mit einer *Differentialsperre* arbeiten. Dadurch wird die Antriebskraft zwischen den Rädern auf rutschiger oder weicher Straße ausgeglichen.

Ritzel-Tellerrad-System

Das *Übersetzungsverhältnis* (das Verhältnis der Zahnanzahl des einen Zahnrades zu der des anderen) zwischen Tellerrad und Ritzel ist einer der Faktoren, der die Leistungscharak-

teristiken des Wagens ebenso bestimmt wie Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit.

Die Ritzel-Tellerrad-Getriebesysteme älterer Wagen hatten gerade Zähne. Dies führte zu lauten Betriebsgeräuschen des Differentials; es entstand Spiel in den Getriebezähnen, was eine hohe Abnutzung zur Folge hatte.

Schrägverzahnung

Heute verwendet man *schrägverzahnte* Getriebe. Dies bedeutet, daß die Oberflächen, die die Zähne tragen, eine kegelige Form haben und daß die Zähne selbst gebogen sind. Durch diese Konstruktion wird Spiel zwischen den Zähnen ausgeschaltet, da sich beim Drehen der Zahnräder ein Zahn in vollem Eingriff befindet, bevor sich der vorherige Zahn löst.

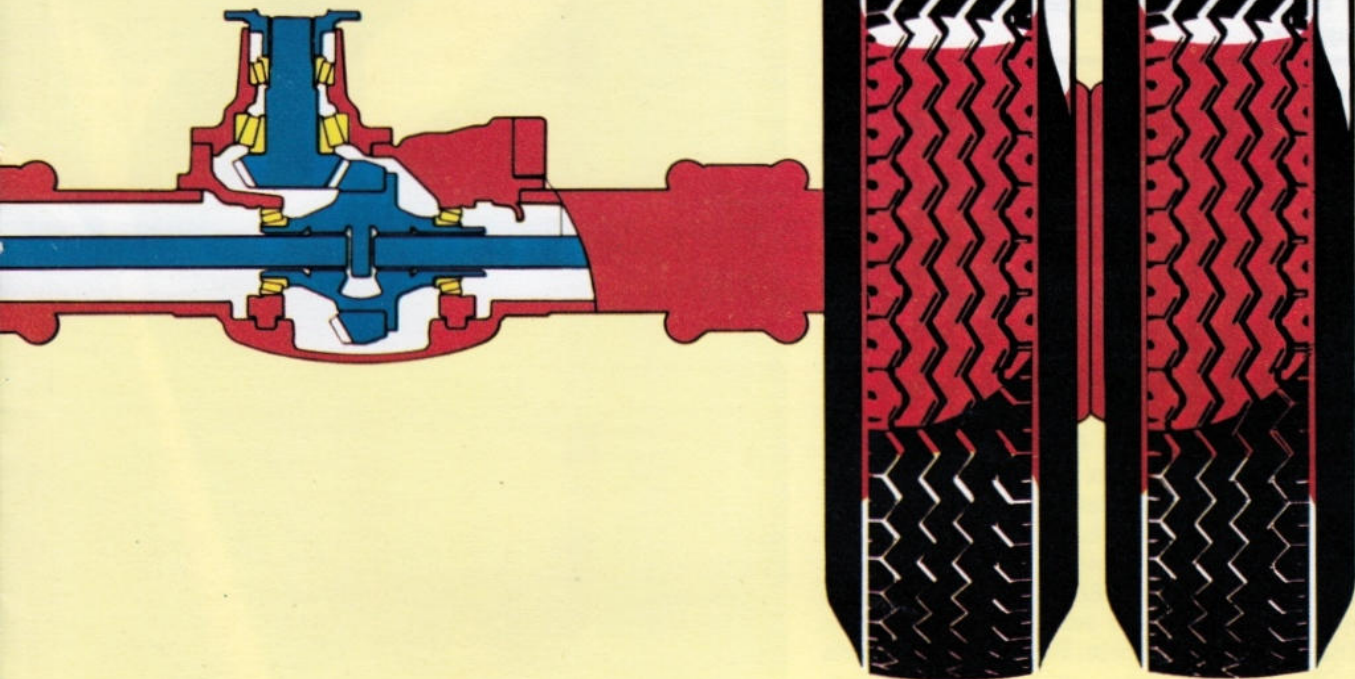
Geräuschreduzierung

Um ein ruhig laufendes Differential zu erhalten, wird das Ritzel-Tellerrad-Getriebesystem in einer Läppmaschine, die die Betriebsbedingungen des zusammengebauten Differentials simuliert, aufeinander abgestimmt. In einem ruhigen Raum werden die Zahnradgruppen in einer Maschine geprüft, mit der die genaue Stärke von Paßscheiben bestimmt wird (Blechscheiben, mit denen eine genaue Passung sichergestellt wird), die in dem jeweiligen Satz benötigt werden, um einen ruhigen Lauf zu erreichen.

Montage

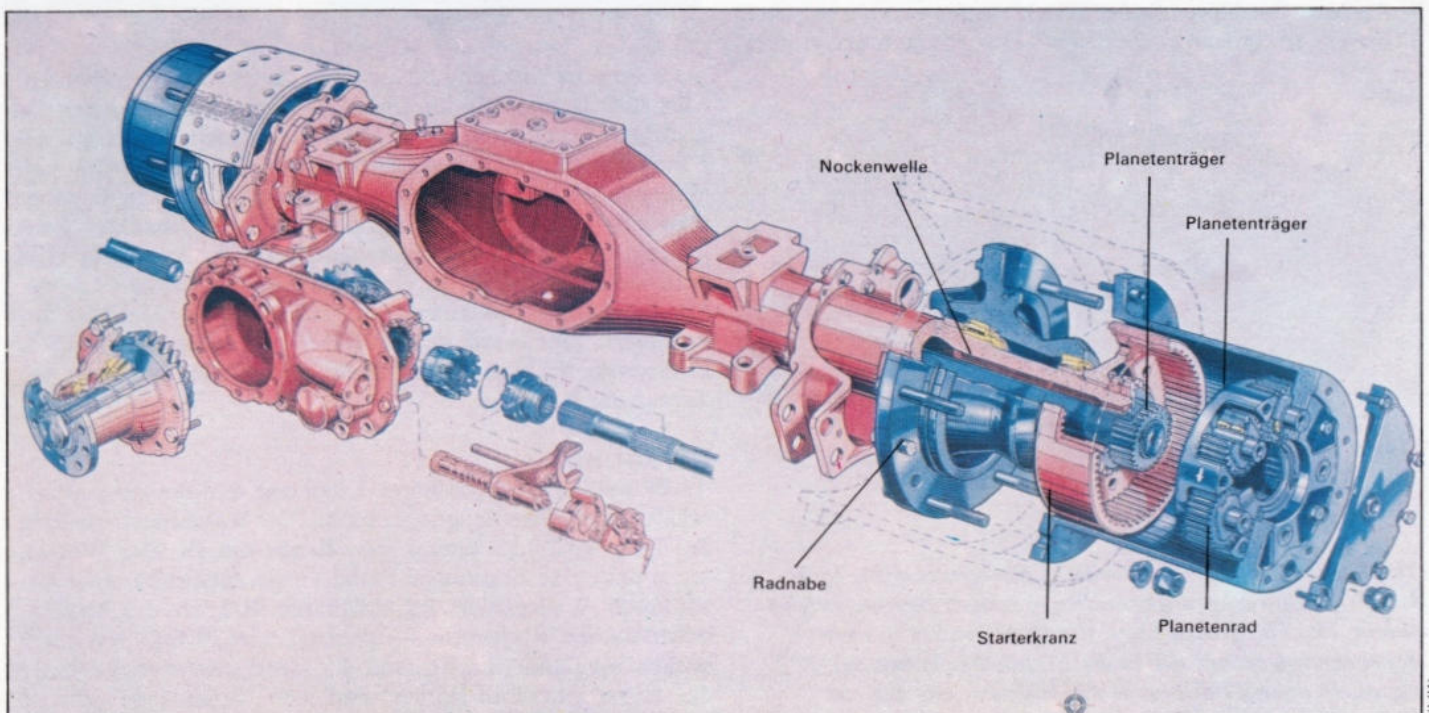
Anschließend gehen die beiden Zahnradgruppen weiter zur Differentialmontage. Alle Zahnräder des Systems werden mit Kugellagern gelagert. Dann werden die entsprechenden Paßscheiben eingebaut. Es folgt ein Testlauf. Danach wird das System mit einem Schweröl gefüllt und verschlossen. Ein ruhiger Lauf des Differentials ist wesentlich in einem Fahrzeug, bei dem Rahmen und Karosserie aus einem Stück konstruiert sind (im Gegensatz zu einer Karosserie, die an den Rahmen geschraubt wird), weil Geräusche aus dem Differential durch die Karosserie übertragen werden.

DIFFERENTIAL DER HINTERACHSE



Oben: Antrieb bei einer typischen Antriebsachse für einen Lastkraftwagen. Eine Antriebsachse enthält die Antriebswelle, die die Räder antreibt, ein Differential und das Reduktionsgetriebe. Bei üblichen Hinterachsantrieben liegt die Transmissionswelle unverrückbar auf der Längsachse des Wagens. Die Übertragung des Antriebes erfolgt im rechten Winkel durch ein Kegelrad oder Schneckenrad. Im wesentlichen besteht die Antriebsachse aus einem Gehäuse, das das Reduktionsgetriebe enthält, dem Differential, der Antriebswelle, den Radnaben und den Rädern.

Unten: Auseinandergezogene Darstellung eines Planetengetriebes eines Schwerlasters. Auf einer Planetenantriebsachse wie dieser wird die Kraft auf die Räder über die Kardanwelle, das Differentialgetriebe und das Planetengetriebe übertragen. Der Radantrieb befindet sich in der Radnabe. Das Sonnenrad treibt die 5 Planetenzahnräder an. Die Planetenzahnräder greifen in den Zahnkranz ein, der mit dem Achsgehäuse fest verbunden ist. Die Räder werden durch den Planetenradträger, der mit der Radnabe verbunden ist, angetrieben.



DIFFRAKTION

Trifft Licht auf die Kanten eines lichtundurchlässigen Körpers oder geht es durch einen engen Spalt, wird es von seiner geradlinigen Bewegung abgelenkt. Diese physikalische Erscheinung bezeichnet man als Diffraction oder Beugung.

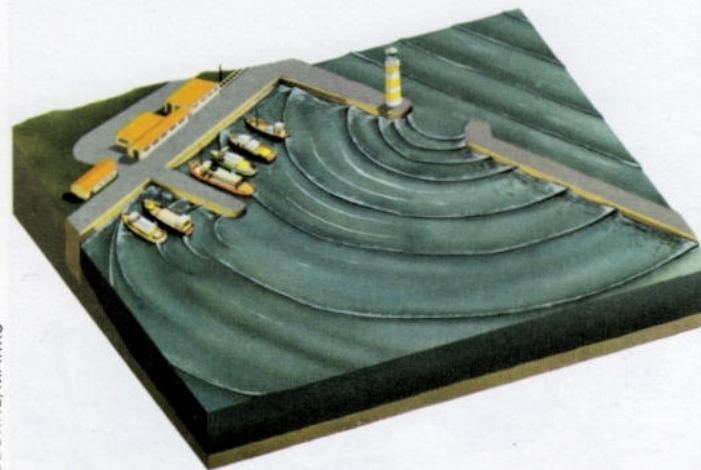
Francesco Grimaldi (1618 bis 1663), ein italienischer Jesuit, hat als erster beobachtet, daß Licht sich nicht völlig geradlinig bewegt, sondern daß es sich an Hindernissen geringfügig ablenken läßt. Grimaldi nannte diese Beobachtung 'Diffraction'. In der Praxis kann man mit diesem Effekt Licht und den Aufbau von Kristallen analysieren.

Grimaldi entdeckte, daß die Schatten dünner Stäbchen, die von gebündelten Lichtstrahlen beleuchtet werden, nicht scharf sind, wie zu erwarten wäre. Es bilden sich an der Schattenkante helle Linien aus. Diese Erscheinung wird normalerweise nicht beobachtet, außer man verwendet sehr helle Lichtquellen oder feine Gitter.

Betrachtet man beispielsweise den Glühfaden einer durchsichtigen Glühbirne oder einer Kerze durch ein feines Netz, sieht man ein aufgerastertes Bild, das mit wachsendem Abstand vom Zentrum immer lichtschwächer wird. Das Bild, das man sieht, kann farbig sein; beispielsweise an einem Rand rot und am anderen blau. Der gleiche Effekt ist zu beobachten, wenn Licht von einer Schallplatte reflektiert wird — man sieht Farben. Die Kameramänner beim Fernsehen schalten ein Gitter vor das Objektiv der Kamera, um bei hellerleuchteten Szenen ein sternähnliches Funkeln zu erzielen. Ebenso beruht die unscharfe Abbildung von Sternen auf dem Beugungseffekt, da im Innern des Fernrohres, mit dem die Sterne erfaßt werden, Beugungserscheinungen auftreten.

Schall- und Lichtquellen

Die Beugung tritt bei allen Wellenbewegungen auf, gleichgültig, ob es sich um Schallwellen, Wasserwellen, Wellen des sichtbaren Lichtes, Funkwellen oder Röntgenstrahlen handelt. Aufgrund der Beugung kann man Töne um 'Ecken herum' hören. Hierbei läßt sich folgendes feststellen: Lange Wellen (tiefe Töne) sind hinter einer Ecke besser zu hören als kurze Wellen (hohe Töne). Bei einer sich nähernden Musikkapelle fällt beispielsweise auf, daß man zuerst die Töne der großen Pauke hört. Die Flöten (hohe Töne) hört man erst, wenn sie in Sichtweite sind; dann aber scheinen sie sogar lauter zu klingen.



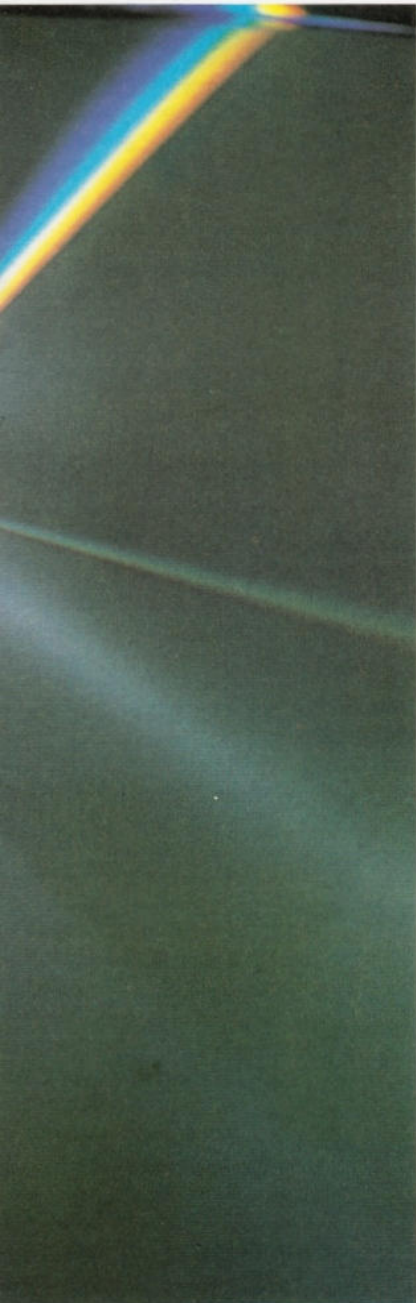
Oben: Alle Wellentypen — seien es Röntgenstrahlen, Licht-, Schall-, Radio- oder Wasserwellen — zeigen Beugungserscheinungen. Das Gipsmodell zeigt, wie Wasserwellen in einen Hafen eindringen und sich in die Schutzzone hinein ausbreiten. In diesem Falle wirkt der Hafeneingang wie eine zweite Quelle für die Wellenerzeugung.



Die gleiche Erscheinung kann man beim Licht beobachten. Man sieht farbige Ränder. Ebenso wie beim Schall werden die niedrigen Frequenzen (rotes Licht) am stärksten gebeugt, die hohen Frequenzen (blaues Licht) hingegen am schwächsten. Will man sich diese Erscheinung zunutze machen, benötigt man eine große Anzahl von 'Ecken'. Ein sogenanntes Beugungsgitter besteht aus einer gleichmäßigen Anzahl in Glas geritzter feiner Rillen, die entweder lichtdurchlässig sind oder das Licht aufgrund einer entsprechenden Beschichtung reflektieren. Der Abstand der Rillen ist unterschiedlich; in hochwertigen Gittern kann deren Anzahl bis zu 12 000 pro Zentimeter betragen.

Streuung

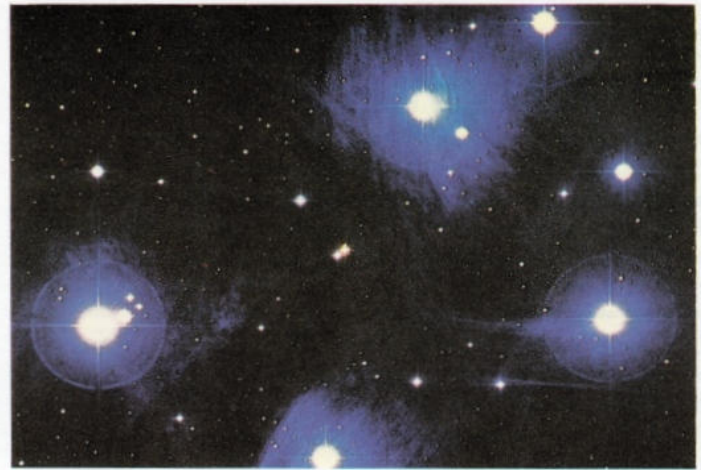
Trifft weißes, ungebündeltes Licht auf ein Beugungsgitter, erhält man farbige Beugungsstreifen. Die Intensitätsverteilung des Beugungsbildes nimmt zum Rande hin ab. Der Winkel, unter dem eine bestimmte Farbe — sie entspricht einer bestimmten Wellenlänge im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums — gebeugt wird, hängt von ihrer Wellenlänge und vom Abstand der Gitterstriche ab. Je feiner das Gitter ist, desto stärker wird jede Wellenlänge gebeugt und umso größer ist daher die Streuung. Ein Gitter zur



ZEFA

Rechts: Die Zacken um die Sterne dieses Fotos — es zeigt das Siebengestirn der Plejaden — werden von den Beugungserscheinungen im Teleskop verursacht. Die Ringe sind rein fotografische Effekte. Viele Untersuchungen über die Beugung wurden von dem deutschen Physiker Joseph von Fraunhofer (1787 bis 1826) vorgenommen. Bei seinen Untersuchungen verwendete er ein auf Unendlich eingestelltes Teleskop. (Der Name Fraunhofer ist untrennbar mit den dunklen Spektrallinien verbunden, die man bei der Sonne oder bei dem vom Mond oder den Planeten reflektierten Sonnenlicht beobachtet.)

Links: Im 17. Jahrhundert entdeckte Isaac Newton, daß sich weißes Licht in Farben zerlegen läßt. Durchdringt ein schmaler Lichtstrahl ein Prisma, tritt ein komplettes Farbspektrum aus (Lichtanalyse durch Prisma). Die Farbskala reicht von Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo bis Violett. Sonnenlicht ist die Farbquelle. Alle Objekte absorbieren oder reflektieren einige Farben des Spektrums. Weiße Oberflächen reflektieren das gesamte Farbspektrum.



HALE OBSERVATORIES

Beugung von Mikrowellen — sie haben Wellenlängen, die etwa eine Million mal länger sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes — hat Abstände von Zentimetern und nicht von tausendstel Zentimetern.

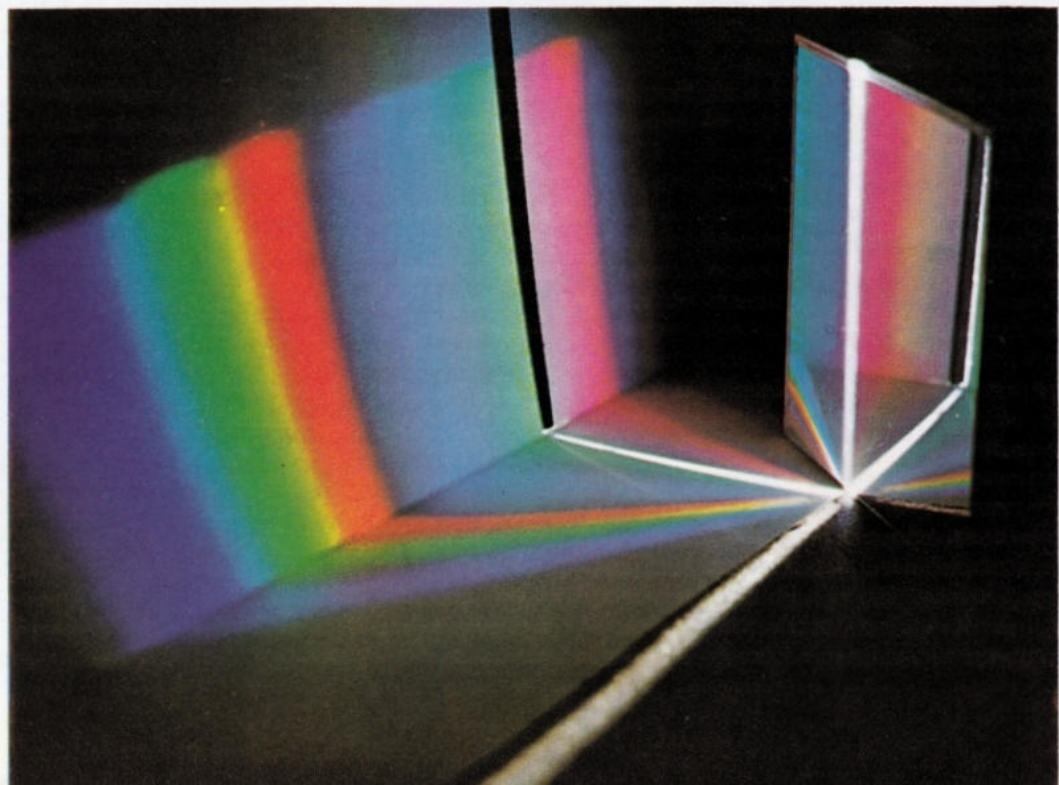
Bei Röntgenstrahlen benötigt man dagegen viel kleinere Abstände — ihre Wellenlängen sind mehrere tausendmal kürzer als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Durch die regelmäßige Anordnung von Atomen oder Ionen in Kristallgittern können auch Röntgenstrahlen gebeugt werden.

Anwendungen

Will man Aufschluß über die Eigenschaften von Kristallgittern haben — man nennt die technische Disziplin Kristallographie — beugt man Röntgenstrahlen an den Kristallgittern ab. Neben Röntgenstrahlen kann man auch Elektronen oder Neutronen an Kristallgittern beugen.

Beugungsgitter sind auch in der SPEKTROSKOPIE zur Analyse des Lichtes weit verbreitet. Die Gitter bringen im Gegensatz zu Prismen regelmäßige Abstände der Wellenlängen hervor. Ein Prisma spaltet sichtbares Licht durch Brechung in verschiedene Wellenlängen auf. Hierbei werden die kurzen Wellenlängen (blaue Farbe) stärker gebrochen als die langen Wellenlängen (rote Farbe). Mit Hilfe der Beugung lassen sich auch Infrarot- oder Ultraviolettstrahlen untersuchen, da die elektromagnetischen Strahlen kein Medium (z.B. Glas) benötigen, das die Strahlen absorbiert. Beugungsgitter können auch aus Kunststoff hergestellt werden.

Rechts: Ein Beugungsgitter fächert das durch einen Spalt dringende weiße Licht auf. Das Gitter ist mit Aluminium überzogen, damit es reflektiert. Ein Teil des durch den Spalt dringenden Lichtes wird wie von einem gewöhnlichen Spiegel reflektiert, ein anderer Teil wird in verschiedene Wellenlängen (Farben) abgelenkt. Das Gitter hat etwa 1 200 Striche pro Millimeter. Man kann eine Beugung erster Ordnung sehen und eine zweite Ordnung, die lichtschwächer ist. Die Striche sind unter solch einem Winkel eingeschnitten, daß das gebeugte Licht nur an einem Rand des weißen Lichtes erscheint.



MICHAEL HOLFORD

DIGITAL ANZEIGENDE INSTRUMENTE

Digital anzeigende Instrumente geben im Gegensatz zu analog anzeigenden Instrumenten, bei denen sich Zeiger über eine geeichte Skala bewegen, zu messende Größen oder Rechenergebnisse als eine Kombination von Ziffern aus.

Die Ausgabe von Informationen kann auf elektromechanischem, elektrischem oder elektronischem Wege erfolgen. Die Anzeigetafeln auf Bahnhöfen, auf Busbahnhöfen und auf Flughäfen sind Beispiele für digitale Anzeigen. Sie arbeiten elektromechanisch.

Die darzustellende Information liegt im allgemeinen als elektrisches Signal vor, das beispielsweise von einem Meßinstrument kommt. Das elektrische Signal muß decodiert und in eine für die Anzeigeeinheit entsprechende Form aufbereitet werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als Anpassung.

Drei Faktoren entscheiden darüber, welcher Anzeigentyp für eine spezifische Anwendung am besten geeignet ist: Die Art der Anpassung, die Steuerschaltung für die Anzeige und



Oben: Ein älterer Taschenrechner, bei dem die Digitalanzeige durch kleine Glasröhren (Nixie-Röhren) beleuchtet wird. Jede Röhre besteht aus acht Segmenten, womit die Ziffern 0 bis 9 dargestellt werden können. Heute sind Flüssigkeiten und LEDs gebräuchlicher als Nixie-Röhren, die aber noch in größeren Rechnern zu finden sind.

Rechts: Die Anzeigetafel für den Abflug von Flugzeugen am Düsseldorfer Flughafen. Viele der Anzeigetafeln in Flughäfen, Bus- und Eisenbahnhöfen arbeiten mechanisch, indem sich eine Rolle mit entsprechenden Anzeigen dreht. Erscheint die richtige Anzeige, stoppt die Rolle.

ihre Montage sowie das Einsatzgebiet der Anzeige. In Taschenrechnern werden Anzeigen von 2,5 mm Höhe und auf Bahnhöfen oder Flughäfen Anzeigen von 15,2 cm Höhe eingesetzt.

Der Anzeigentyp kann in drei Hauptgruppen unterteilt werden. Es gibt die elektromechanische Anzeige (hier erfolgt die Anzeige über bewegliche mechanische Teile), die elektrische Anzeige (hier werden Glühlampen oder Gasentladungsanzeigen eingesetzt) und die elektronische Anzeige (sie nutzt in der Leuchtdiode (LED) und bei Flüssigkristallen (LCD) Halbleitereffekte aus).

Mechanische Anzeigen

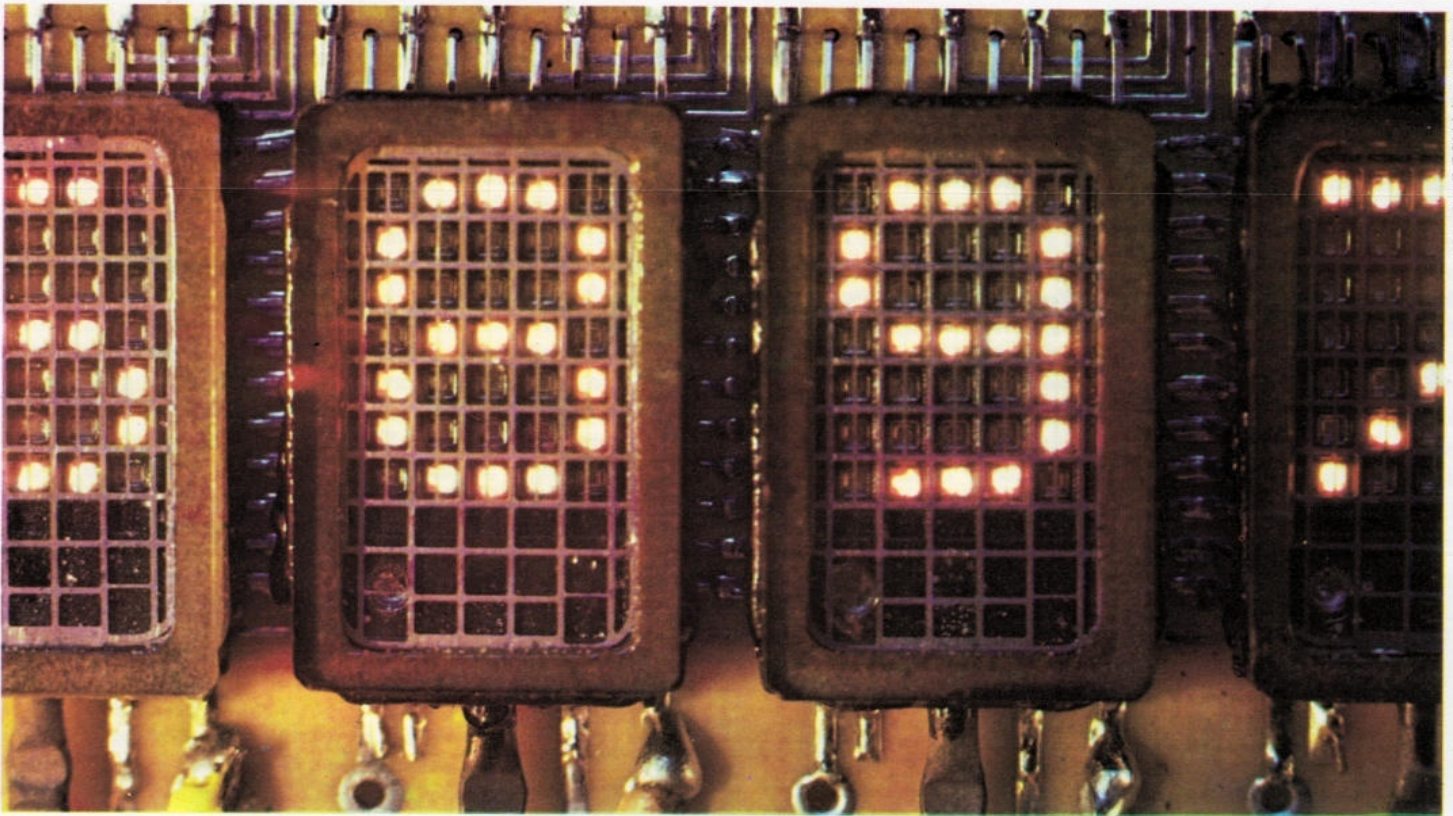
Der wesentliche Vorteil mechanischer Anzeigen liegt in der Variabilität von Zeichengröße und der Art ihrer Gestaltung. Dies ist wichtig, wenn es auf gutes Ablesen über größere Entfernungen ankommt. Eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit ist die Ansteuerung einer solchen Anzeige. Im allgemeinen wird ein Satz Ziffern oder Buchstaben, die auf Trommeln, Scheiben und kleinen Tafeln aufgedruckt sind, so lange gedreht, bis die geforderte Information erscheint. Das Drehen der Vorrichtung erfolgt durch Elektromagnete, Relais oder elektrisch angetriebene Stellmotoren. Die Anpassung vom steuernden System auf die Anzeigen kann zu Problemen in der Zuverlässigkeit und bei Wartungsarbeiten führen. Sie haben außerdem ziemlich große Abmessungen und sind in der Herstellung teuer. Die begrenzte Geschwindigkeit mechanischer Anzeigen schränkt ihre Einsatzfähigkeit in Verbindung mit logischen Systemen oder Büromaschinen ein. Deshalb setzt man sie in relativ langsamen Geräten wie Digitaluhren oder bei Anwendungen ein, in denen die Information eine Zeitlang ansteht (Anzeigetafeln auf Flughäfen oder Bahnhöfen).

Elektrische Anzeigen

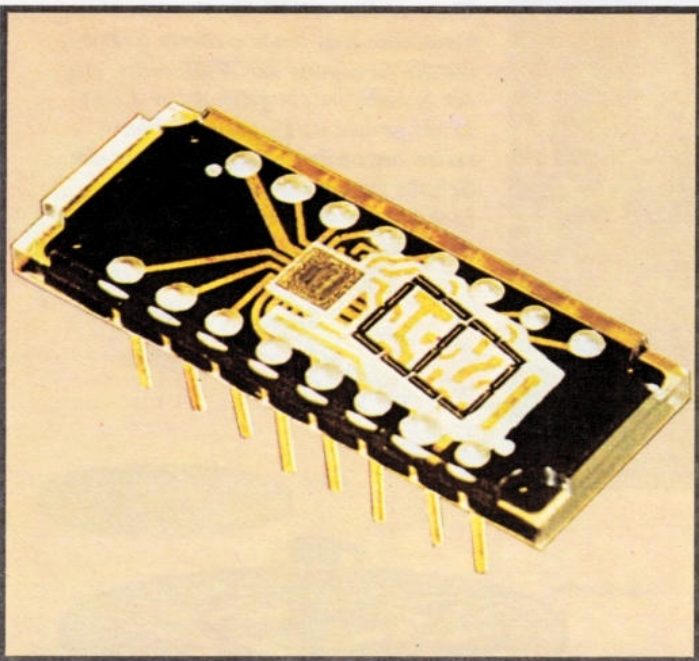
Die ersten Anzeigen dieses Typs bestanden aus elektrischen Glühlampen, die in Matrixform angeordnet waren. Bei auszugebenden Zeichen leuchteten in der Matrix nur diejenigen Lampen auf, die dem Zeichenmuster entsprachen. Anzeigevorrichtungen mit Glühlampen sind voluminös und teuer. Außerdem halten Glühlampen, insbesondere bei Erschütterung, nicht sehr lange. Ein anderes Problem war die große Hitzeentwicklung. Dies führte zur Entwicklung der gasgefüllten Lampe (Neonröhre), die weniger Verlustwärme entwickelt. Elektrische Anzeigen kennt man auch heute noch bei Reklamelichtbändern an Kaufhäusern.

Auf der Vakuumröhre basiert die viel verwendete Nixie-Röhre. Sie beruht auf dem Prinzip der lokalen Ionisierung





MULLARD/PAUL BRIERLEY



TEXAS INSTRUMENTE

Oben: Mit Galliumarsenidphosphid kann man rotleuchtende LEDs herstellen. Grünleuchtende LEDs werden aus Galliumphosphid hergestellt, dem man noch etwas Stickstoff als Verunreinigung hinzufügt, um den erwünschten Energieübergang zu erzielen. Beide LED-Typen werden in Taschenrechnern verwendet.

eines Gases um eine Elektrode, die die Form des gewünschten Zeichens hat. Durch die Ionisierung wird das Gas zum Leuchten gebracht. Die Elektroden sind, ähnlich wie in einer Röhre, in einer gasgefüllten Röhre untergebracht. Die Röhre kann für jedes auszugebende Zeichen (es sind im allgemeinen die Ziffern 0 bis 9) eine Elektrode enthalten. Die zur Steuerung notwendigen logischen Schaltungen sind entsprechend einfach aufgebaut. Da für jede anzusteuernde Elektrode eine eigene Spannungsversorgung zur Verfügung steht, benötigt man keine Decodierschaltungen. Von Nachteil ist,

Oben: Eine Neuentwicklung ist die selbsttätig abtastende Gasentladungs-Schriftzeichentafel. Sie hat den Vorteil, daß hochverdichtete, mehrstellige Ziffern auf einer Schriftzeichentafel untergebracht werden können. Sie sind in 5×7 Punktmatrizen spaltenweise angeordnet. Diese werden Spalte für Spalte von links nach rechts abgetastet. Nachdem das letzte Schriftzeichen aufgeleuchtet hat, wird in der Schaltlogik ein Rückstellimpuls erzeugt, der eine neue Abtastung einleitet.

daß in einer Nixie-Röhre die Elektroden für die Ziffern hintereinander angeordnet werden und deshalb nur jeweils eine Ziffer ausgegeben werden kann. Außerdem benötigen sie Versorgungsspannungen von etwa 170 V. Wegen der hohen Spannungen können Nixie-Röhren nicht in tragbaren, batteriebetriebenen Geräten eingesetzt werden.

Um diesen Nachteilen zu begegnen, wurden Glühfadenröhren entwickelt. Sie haben in sieben Segmenten Glühfäden, die sich in einer Ebene befinden. Hierdurch wird die Anzeige gegenüber der Nixie-Röhre eindeutiger.

Festkörperanzeigen

Lichtemittierende Halbleiterbauteile stellen eine wichtige Neuentwicklung in der Anzeigentechnik dar. Bei diesen Bauteilen wird der Effekt ausgenutzt, daß Halbleiter, die mit III/V-Verbindungen (z.B. Galliumarsenid) oder II/VI-Verbindungen dotiert sind, Licht abstrahlen, wenn sie von elektrischem Strom durchflossen werden. Diese Leuchtdioden (auch LED = Light Emitting Diode) sind in den Farben Rot, Orange, Gelb, Grün und neuerdings Blau erhältlich. LEDs werden zur Darstellung eines Zeichens in Matrixform angeordnet. Das entsprechende Zeichen wird angezeigt, indem man nur die Dioden zum Leuchten bringt, die das Muster des Zeichens haben.

Unter Ausnützung der integrierten Schaltungstechnik können Leuchtdiodenanordnungen auf einem Chip (Plättchen) eines Halbleitermaterials untergebracht werden. Leuchtdioden ersetzen wegen ihrer Zuverlässigkeit und des geringen Stromverbrauches in zunehmendem Maße ältere Anzeigesysteme.

DIGITALE UMWANDLUNGEN

In einem verfahrenstechnischen Prozeß treten viele Meßgrößen (z.B. Temperatur, Druck, elektrischer Strom und Spannung) als analoge Signale auf. Sollen die Daten aus dem Prozeß in einem Computer verarbeitet werden, muß man die Analogsignale mit Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers (kurz ADW) in Digitalsignale umwandeln. Soll der Computer den Prozeßablauf steuern, müssen die errechneten Daten über einen Digital/Analog-Wandler (kurz: DAW) wieder in Analogsignale zurückverwandelt werden.

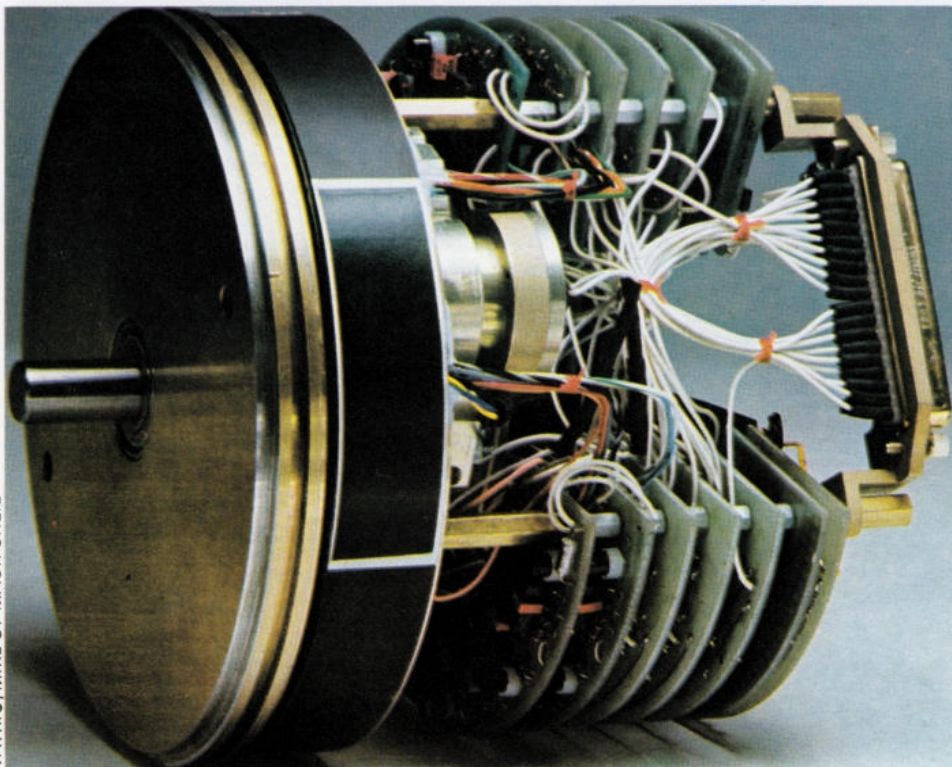
Ein analoges Signal ist ein kontinuierliches Signal, d.h. zu jedem Zeitpunkt hat man einen definierten Wert des Signales. Digitale Signale sind hingegen diskrete diskontinuierliche (gequantelte) Signale. Um sich den Unterschied der Begriffe 'analog' und 'digital' zu verdeutlichen, sei eine konventionelle

Umsetzung muß das Digitalsignal in einem Code angeboten werden, dessen Elementen feste Wertigkeiten zugeordnet sind. Als Beispiel sei der Dualcode genannt. Im Dualcode kennt man nur die beiden Ziffern 0 und 1. Ebenso wie im Dezimalsystem die Ziffern 0 bis 9 mit den Wertigkeiten 1 (10^0), 10 (10^1), 100 (10^2), 1000 (10^3) usw. belegt werden können, können die Dualziffern 0 und 1 mit den Wertigkeiten 1 (2^0), 2 (2^1), 4 (2^2), 8 (2^3) usw. belegt werden. Wird beispielsweise dem DAW eine Dualzahl 1011 angeboten, entspricht dies in anderer Schreibweise: $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. Am Ausgang des Wandlers tritt als analoge Größe die Dezimalzahl 11 auf, die sich aus der Summe der einzelnen bewerteten Dualstellen ergibt. Man spricht auch davon, daß ein DAW digitalisierte Signale decodiert, d.h. ein digitaler Code (hier der Dualcode) wird in einen anderen Code (hier Dezimalcode) umgesetzt.

Um ein analoges Signal in ein digitales umzuwandeln, muß das analoge Signal in vorgegebenen Zeitabständen abgetastet werden. Man spricht auch von Quantisierung. Man teilt hierzu

Links: ADW für Drehbewegungen. Er informiert über die jeweilige Stellung einer sich drehenden Welle in Form von Digitalsignalen. In dem abgeschlossenen Gehäuse (links) befindet sich eine äußerst genau arbeitende Codierscheibe. Sie wird mit Hilfe eines optischen Gerätes ausgelesen.

Unten: Ein ADW für Rotationsbewegung verwendet eine binär codierte Scheibe, die die Bewegung der Welle mißt. Auf die Scheibe ist ein gebündelter Lichtstrahl gerichtet. Unten sind Fotozellen angeordnet. Jeder Stellung der Scheibe entspricht ein spezielles Lichtmuster der Fotozellen, die ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugen.

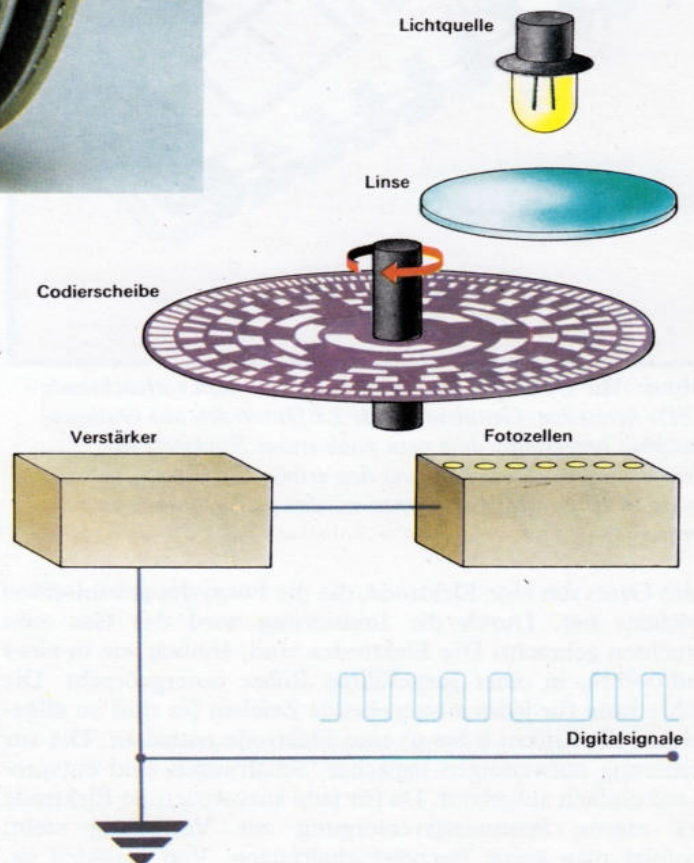


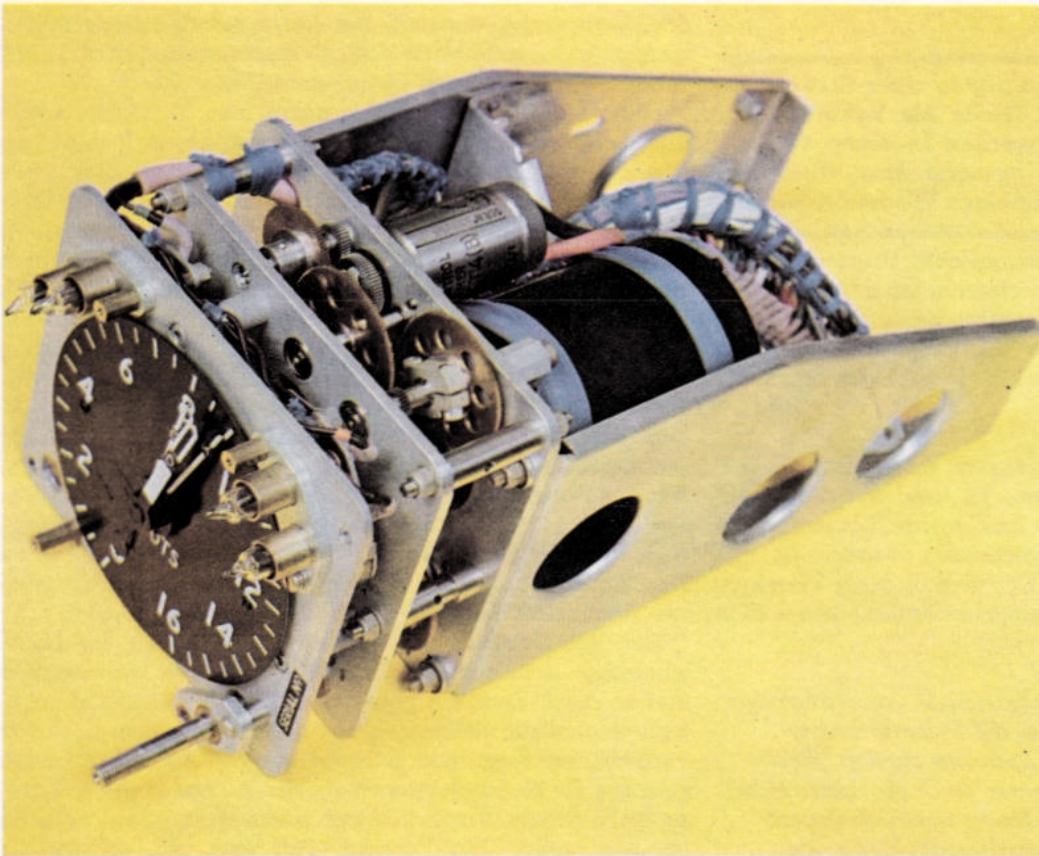
ARMBANDUHR mit einer Bahnhofsuhr verglichen. Bei einer konventionellen Armbanduhr läuft der Minutenzeiger stetig über das Zifferblatt. In jedem Augenblick kann auf dem Zeiger jede beliebige Zeit abgelesen werden (analoge Darstellung). Anders verhält es sich bei der Bahnhofsuhr. Hier springt der Minutenzeiger nach 60 Sekunden um eine Einheit weiter. Eine Auskunft über das Zeitverhalten zwischen den beiden Teilstrichen wird nicht gegeben (digitale Darstellung).

Digital/Analog-Wandler

In dem DAW werden am Eingang anliegende digitale Daten — sie liegen in codierter Form vor — in analoge Ausgangsdaten wie elektrische Spannung oder Strom, Temperatur oder Druckwerte umgewandelt. Da der Mensch hauptsächlich in einer analogen Welt lebt, aber viele Daten digital verarbeitet oder digital angezeigt werden sollen, benötigt man einen ADW. Es ist zu beachten, daß die meisten ADW intern die Hilfe eines DAWs in Anspruch nehmen. Der DAW hat den Vorteil geringerer Anfälligkeit gegen Störungen, die aus seiner Umwelt kommen. Das Störsignal muß genau den gleichen Pegel wie das Digitalsignal haben, um 'stören' zu können.

Das Funktionsprinzip eines DAWs ist sehr einfach. Zur





Links: Der schwarze Zylinder, den man in der Mitte des Flugzeug-Geschwindigkeitsmessers sieht, ist ein ADW. Er spürt die Position des Schaftstabes auf, der den Geschwindigkeitszeiger antreibt, und erzeugt ein digitales Signal, das an den Navigationscomputer weitergeleitet wird und diesem damit die Geschwindigkeit angibt.

Unten: In einem ADW wird das analoge Signal zuerst quantisiert, wodurch man sich treppenförmig dem Signal anpaßt. Anschließend werden die Werte abgetastet, wodurch diskrete Pulse entstehen, die z.B. im Dualcode codiert sein können.

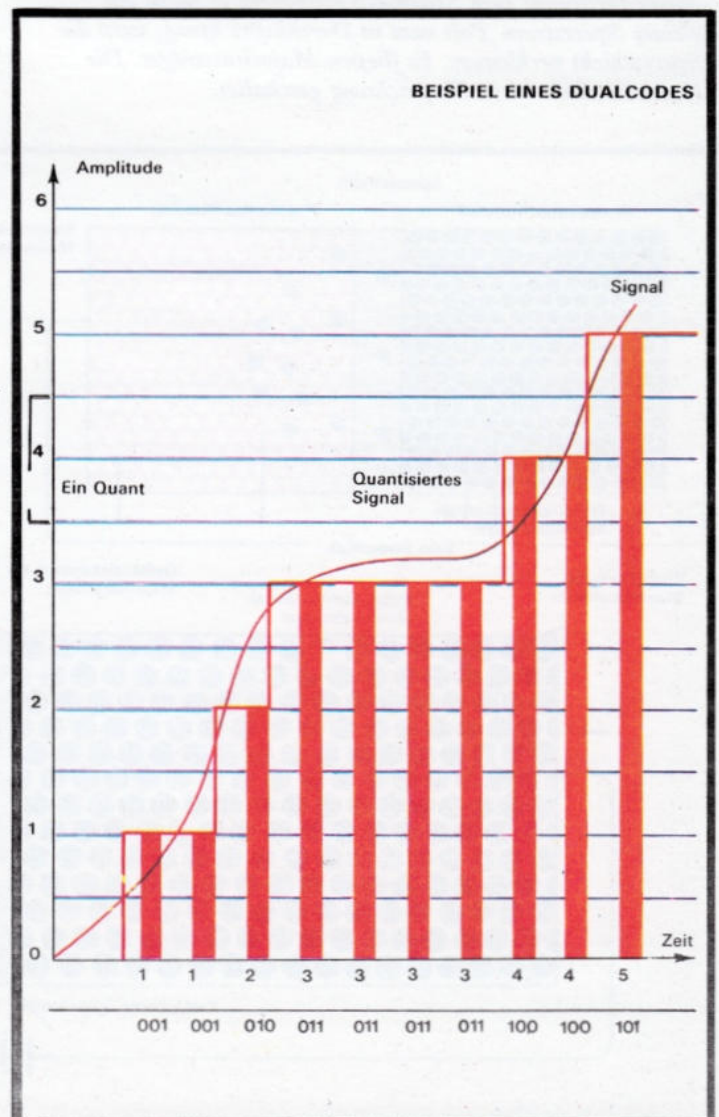
den Wertebereich in (meist) gleichgroße Quantisierungsintervalle ein. Jedem Quantisierungsintervall wird ein fester Wert zugeordnet. Von der 'Feinheit' der Quantisierungsintervalle hängt es ab, wie weit der Informationsgehalt des analogen Signales in digitaler Form erhalten bleibt. Ein Fernsehbild z.B. muß pro Sekunde mehrere Millionen Male abgetastet werden. Sind die Quantisierungsintervalle zu 'breit', zeigt das Fernsehbild nur Schwarz und Weiß, aber keine Schattierungen. Nachdem die Signale quantisiert sind, muß ihnen ein Code (z.B. der Dualcode) zugeordnet werden. Der DAW decodiert nur ein Signal, während der ADW es auch noch quantisiert.

Um Sprache für Übertragungszwecke in digitale Signale umzusetzen, benötigt man ein Mikrofon und einen ADW. Das Mikrofon wandelt Schallwellen in Abhängigkeit des Schalldruckes in elektrische Spannungswerte um. Die elektrischen Spannungswerte werden dann vom ADW in codierte Pulsfolgen umgesetzt.

Der ADW vergleicht die Spannungswerte der analogen Eingangssignale mit einer linear ansteigenden Vergleichsspannung (Rampenspannung). Mit der Rampenspannung ist ein Digitalzähler gekoppelt, der von einem Taktgenerator angesteuert wird.

Der Digitalzähler zählt so lange, bis die Rampenspannung gleich dem zu bestimmenden Spannungswert ist. Bezogen auf das Beispiel mit den Schallwellen bedeutet dies, daß der Digitalzähler den Wert des Schalldruckes digital anzeigt.

Um LANDKARTEN auf dem neuesten Stand zu halten, werden ADW zur Abbildung von Flächen verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Zeichenbrett, in das waagrecht, senkrecht und diagonal Drähte eingelassen sind. Da die Drähte gitterförmig angeordnet sind, definieren ihre Kreuzungspunkte spezielle Koordinaten in den Ebenen. Ein Fühler, der mit der Hand bedient wird, kann beliebig über die zu digitalisierende Fläche geführt werden. In dem Fühler befindet sich eine Spule, die an einer vorbestimmten Koordinate auf der Drahtmatrix ein Signal induziert. Sowohl die Drahtmatrix als auch der Fühler sind an einen COMPUTER angeschlossen.



DIODE

In einer Diode kann der Strom nur in einer Stromrichtung fließen. Man kennt die Diode als Vakuumröhre oder als Halbleiter. Dioden werden in einer Vielzahl elektronischer Schaltungen eingesetzt. Ihre wichtigste Aufgabe ist die Gleichrichtung eines Wechselstromes.

Die Diode ist ein wichtiges elektronisches Bauelement, um einen Wechselstrom in einen Gleichstrom umzuwandeln. Bis zur Entdeckung des Halbleiters verwandte man zur Gleichrichtung von Wechselströmen die Röhrendiode. Sie wurde in den letzten Jahren weitgehend von Halbleiterdioden abgelöst.

Halbleiterdiode

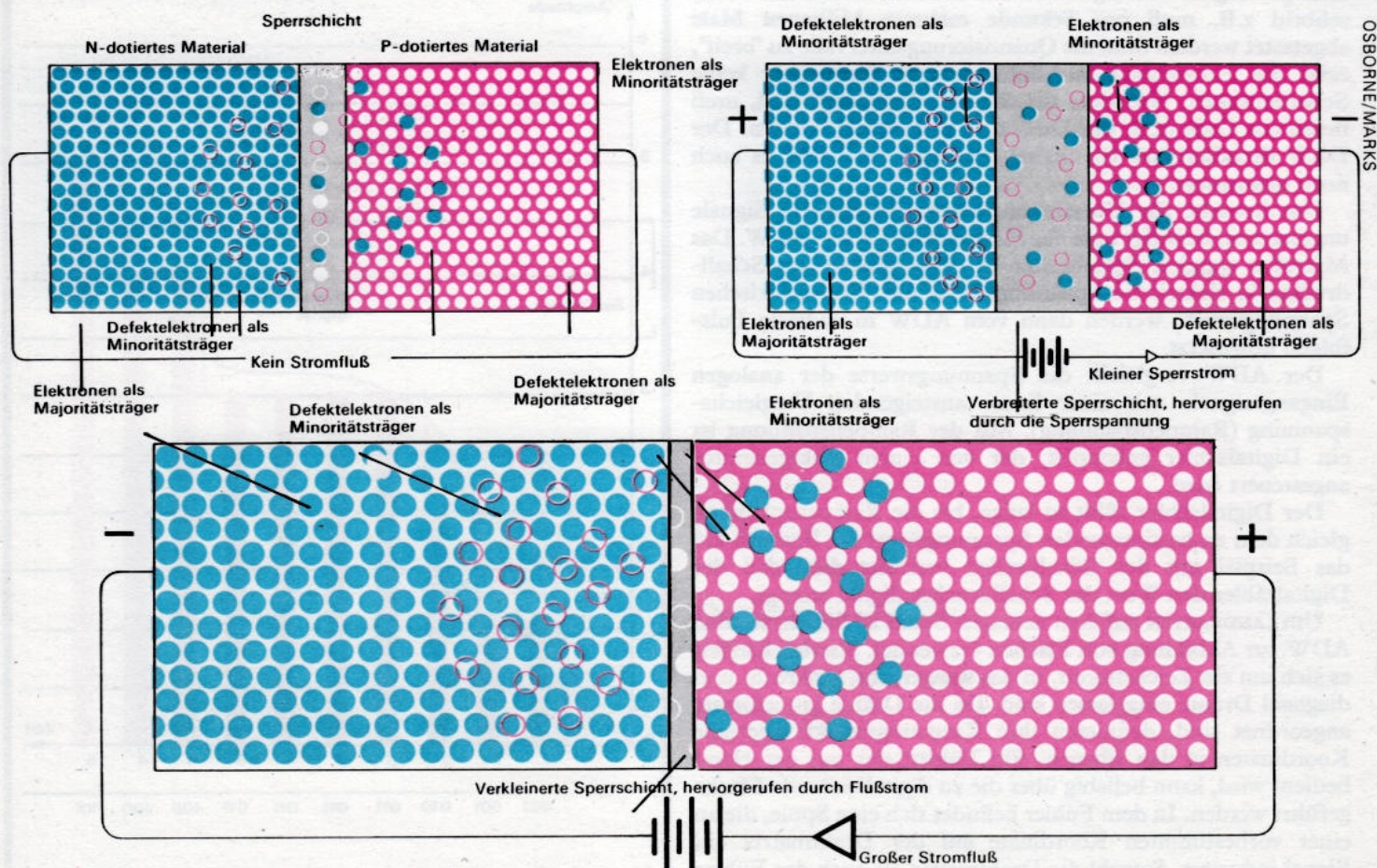
Als *Substrat* (Grundsubstanz) verwendet man bei Halbleiterdioden Germanium oder Silicium. Es handelt sich um ein dünnes Halbleiterplättchen, das aus einem Silicium- oder Germanium-Einkristall herausgeschnitten wurde. In das Halbleiterplättchen werden mit Hilfe verschiedener Verfahren drei- und fünfwertige Elemente eingebracht (man nennt es in

Unten: Funktionsweise einer Halbleiterdiode. Minoritätsträger können die Sperrschicht überwinden, die Majoritätsträger dagegen nicht. Wird keine externe Spannung angelegt, fließen ebenso Elektronen wie Defektelektronen durch die Sperrschicht. Von außen betrachtet ist das Bauelement elektrisch neutral. Polt man die Halbleiterdiode in Sperrichtung, können nur Minoritätsträger zum Stromfluß beitragen; es fließt ein kleiner Sperrstrom. Polt man in Durchlaßrichtung, wird die Sperrschicht verkleinert. Es fließen Majoritätsträger. Die Halbleiterdiode ist in Flußrichtung geschaltet.

der Fachsprache 'dotiert'). Bei einem mit dreiwertigen Elementen dotierten Substrat 'fehlen', gegenüber den vierwertigen Elementen Silicium und Germanium, Elektronen.

Diese fehlenden Elektronen nennt man Defektelektronen und die Art der Dotierung P-Dotierung. Da in P-dotiertem Material die Defektelektronen gegenüber den Elektronen überwiegen, nennt man die Defektelektronen Majoritätsträger und die Elektronen Minoritätsträger. Wird mit fünfwertigen Elementen dotiert, ist gegenüber den vierwertigen Elementen ein Elektronenüberschuß vorhanden; man spricht von N-Dotierung. Majoritätsträger sind hier die Elektronen, Minoritätsträger die Defektelektronen. Nach der Dotierung bilden sich N-dotierte und P-dotierte Zonen aus, die aneinander grenzen. Man bezeichnet diesen Zustand als PN-Übergang. Aus der N-dotierten Zone fließen Elektronen in die P-dotierte Zone und vereinigen sich dort mit Defektelektronen. Aus der P-dotierten Zone wandern umgekehrt Defektelektronen in die N-dotierte Schicht und vereinigen sich mit Elektronen. An der Grenzschicht zwischen der N- und P-dotierten Zone findet man kaum noch Elektronen oder Defektelektronen vor. Man nennt diesen Bereich den Verarmungsbereich.

Der Verarmungsbereich ist für das Verhalten der Halbleiterdiode bestimmend. Wird an die N-Zone ein negatives und an die P-Zone ein positives elektrisches Potential angelegt, werden die Elektronen aus der N-Zone vom positiven Potential angezogen und gelangen in die P-Zone. Umgekehrt gelangen die Defektelektronen aus der P-Zone in die N-Zone. Es fließt Strom. Verglichen mit einem elektrischen Schalter hat man einen 'Ein'-Zustand. Polt man um, werden die Elektronen der N-Zone in Richtung des positiven Potentials und die Defektelektronen der P-Zone in Richtung des negativen Potentials bewegt. Der Verarmungsbereich dehnt sich aus. Bis auf einen kleinen Reststrom fließt kein Strom.



DOPPLEREFFEKT

Ein typisches Beispiel für die Beobachtung des Dopplereffektes ist der Pfeifton eines schnell vorüberfahrenden Zuges. Bei seinem Herannahen scheint der Ton sehr hoch zu sein. Beim Wegfahren wird der Eindruck erweckt, als ob der Ton tiefer läge. Das Prinzip dieses Effektes wird bei Navigationssystemen in der Luftfahrt, bei Geschwindigkeitskontrollen mit Hilfe von Radar und bei Alarmanlagen angewendet.

Unten: Der Dopplereffekt. Eine Welle wird gleichzeitig in alle Richtungen ausgestrahlt. Wird die nächste Wellenfront ausgestrahlt, hat sich das Flugzeug bereits weiterbewegt. Daraus folgt, daß die Wellen vor dem Flugzeug zusammengedrängt werden und somit eine höhere Frequenz (entspricht höherem Ton in der Akustik) haben. Hinter dem Flugzeug werden die Wellen auseinandergezogen (niedrige Frequenz).

Ganz unten: Den Dopplereffekt kennt man auch bei Licht, das von Sternen abgestrahlt wird.

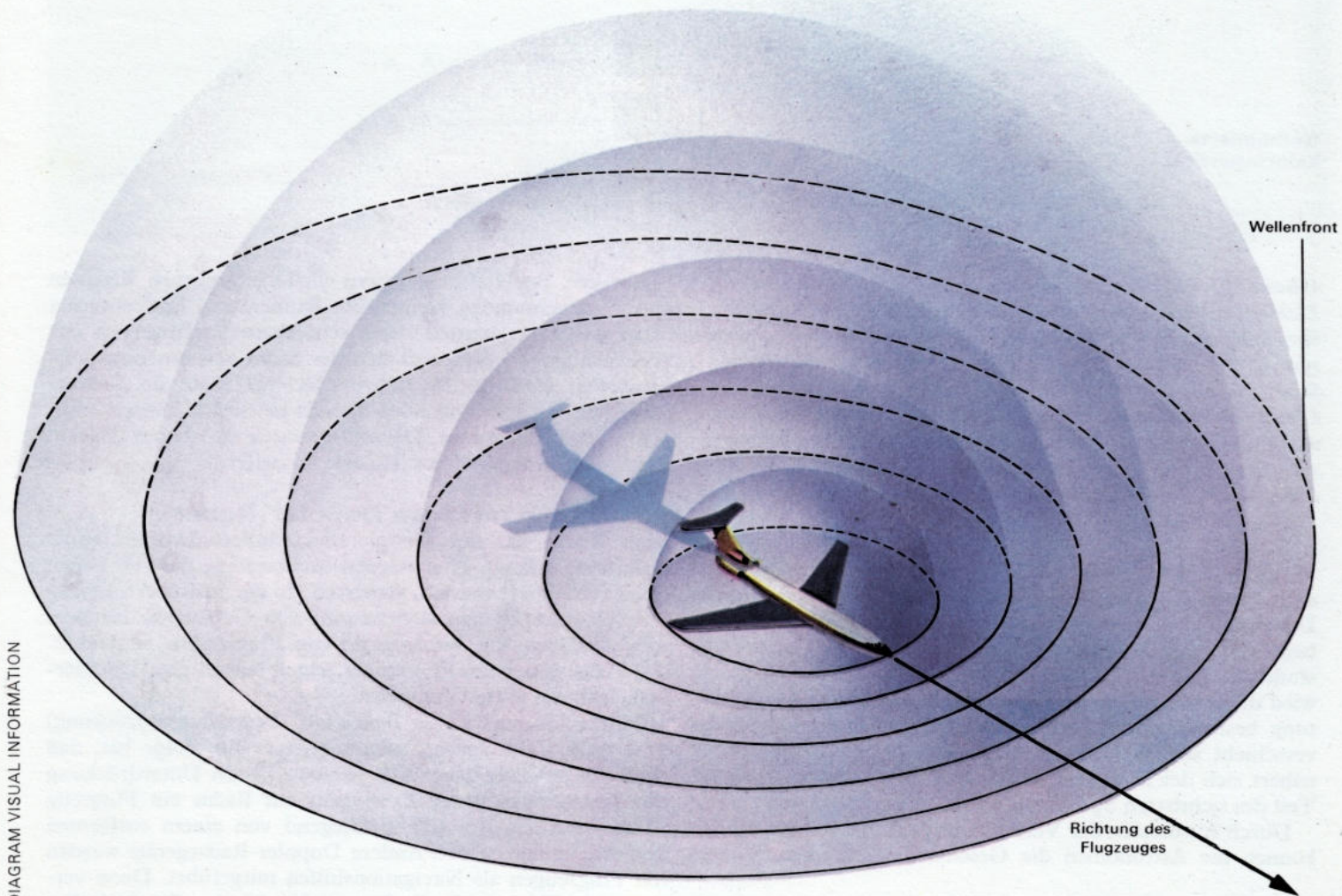
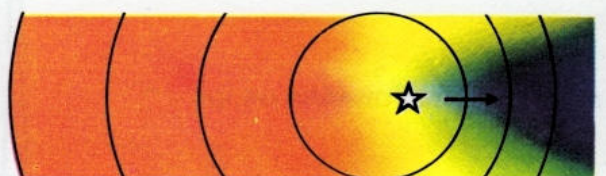
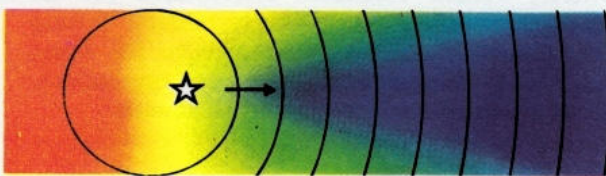


DIAGRAM VISUAL INFORMATION

Der Erde sich nähernder Stern

Beobachter (Erde)

Von der Erde sich entfernender Stern

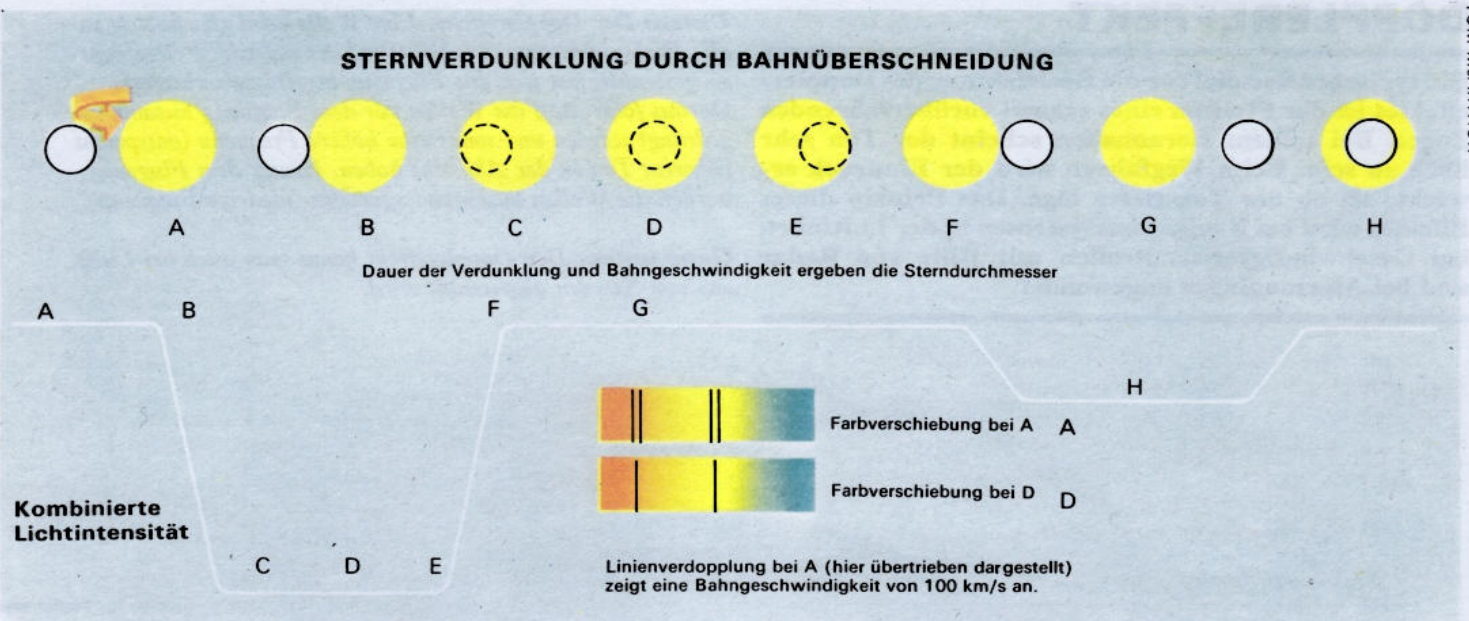


Der österreichische Physiker Christian Johannes Doppler (1803 bis 1853) war der erste, der diesen Effekt untersuchte. Ein Objekt nähert sich mit einem hoch erscheinenden Ton und entfernt sich mit einem plötzlich viel tieferen Ton. Die wirkliche Tonhöhe zwischen Tonquelle und Empfänger wird erreicht, wenn sich beide nicht relativ zueinander bewegen. Die sich für den Beobachter ändernde Tonhöhe ist nur ein Beispiel für den Dopplereffekt. Bei jeder Wellenbewegung ist die scheinbare Frequenz, die Höhe eines Tones oder die Farbe des

Lichtes durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit welcher die Wellen den Beobachter passieren. Die Frequenz der eintreffenden Welle erhöht sich, wenn Quelle und Beobachter sich aufeinander zubewegen und verringert sich, wenn sie sich voneinander entfernen.

Dopplereffekt und Astronomie

In der Akustik kennt man nur wenige Anwendungen des Dopplereffektes. In Verbindung mit elektromagnetischen



Oben: Die Dopplerverschiebung und die Veränderungen des Lichtes bei Verdunklung eines Sternensystems geben Aufschluß über Durchmesser und Masse der beiden Sterne im Doppelsternsystem. Bei Punkt A nähert sich ein Stern und der andere entfernt sich. Die charakteristischen Absorptionslinien (schwarze Linien) wurden wegen der Blauverschiebung des sich nähernden und wegen der Rotverschiebung des sich entfernenden Sternes aufgespalten. Bei Punkt D bewegen sich beide Sterne in einem Blickfeld, in dem keine Dopplerverschiebung auftritt.

Wellen wird der Dopplereffekt häufig ausgenutzt. Bald nachdem Fizeau (1819 bis 1896) im Jahre 1848 die Gültigkeit des Dopplereffektes für den sichtbaren Bereich bewiesen hatte, begannen die Astronomen die Spektren der Sterne zu studieren. Die Farbe, unter der ein Himmelskörper erscheint, wird durch seine Geschwindigkeit und seine Bewegungsrichtung bestimmt. Das Licht eines sich entfernenden Sternes verschiebt sich zum roten Ende des sichtbaren Spektrums; nähert sich der Stern, verschiebt sich das Licht zum blauen Teil des sichtbaren Spektrums.

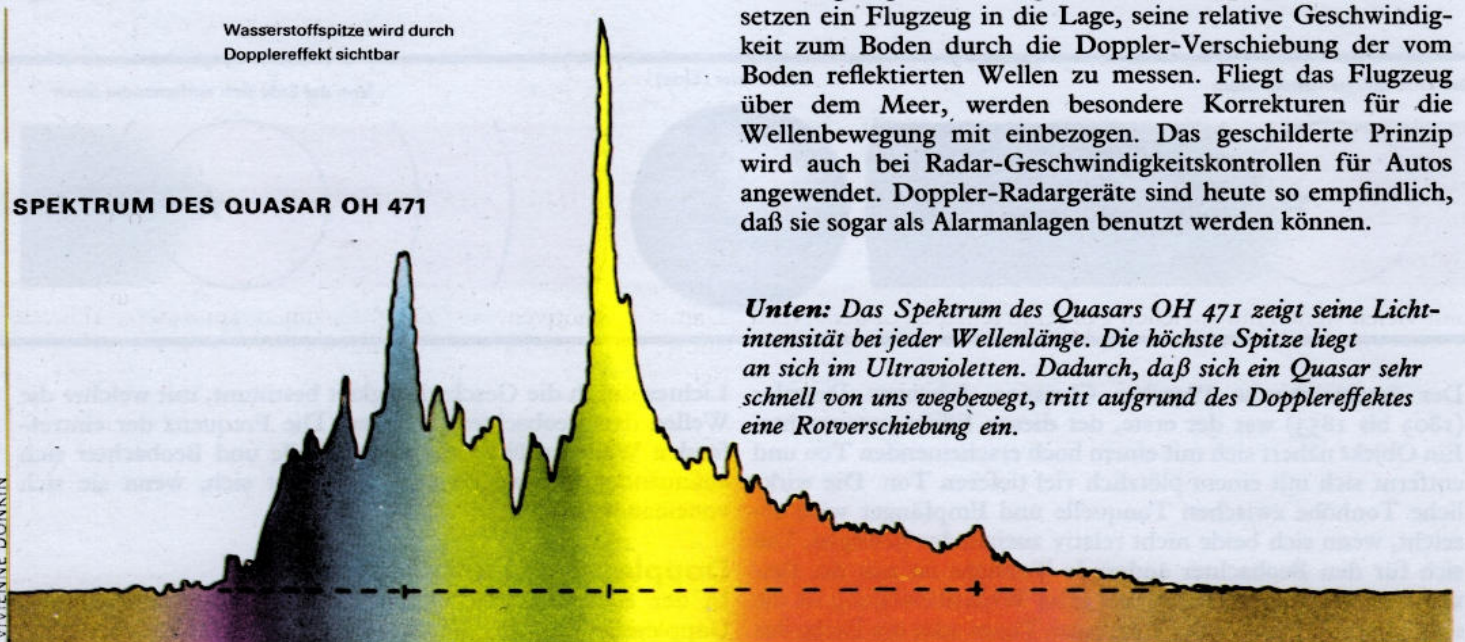
Durch Ausmessen der Verschiebung der Lichtwellenlängen können die Astronomen die Geschwindigkeit eines Sternes

bestimmen. Bei Himmelskörpern wie Doppelsternen, Planeten und Planetenmonden können die Bahnen und Entfernungen näher bestimmt werden. Eine scheinbare Verlängerung der Wellenlänge bedeutet, daß sich der Stern von unserem Sonnensystem entfernt. Im Jahre 1940 hat man die Rotverschiebung als überzeugenden Beweis eines sich expandierenden Weltalls anerkannt. Die entferntesten sichtbaren Objekte verschwinden nach dieser Theorie schneller.

Die Ortung mit dem Doppler-Radar

Beim Radar hat der Dopplereffekt außerordentlich große Bedeutung erlangt. Hier werden Radiowellen, die von einem Objekt reflektiert werden, gemessen. In der Luftüberwachung beispielsweise können Reflektionen von Gebäuden, Häusern oder Anhöhen die Funksignale von Flugzeugen verdecken. Die Reflektionen des Flugzeuges zeigen jedoch eine Dopplerverschiebung in der Frequenz.

Bei der 'Moving Target Indication' (Festzielunterdrückung) wird diese Verschiebung angezeigt, was zur Folge hat, daß nur bewegte Ziele dargestellt werden. Durch Unterdrückung von Reflektionen fester Ziele kann mit Radar ein Flugzeug erkannt werden, das sich tieffliegend von einem entfernten Bergabhang her nähert. Andere Doppler-Radargeräte werden von Flugzeugen als Navigationshilfen mitgeführt. Diese versetzen ein Flugzeug in die Lage, seine relative Geschwindigkeit zum Boden durch die Doppler-Verschiebung der vom Boden reflektierten Wellen zu messen. Fliegt das Flugzeug über dem Meer, werden besondere Korrekturen für die Wellenbewegung mit einbezogen. Das geschilderte Prinzip wird auch bei Radar-Geschwindigkeitskontrollen für Autos angewendet. Doppler-Radargeräte sind heute so empfindlich, daß sie sogar als Alarmanlagen benutzt werden können.



DRAHTSEILBAHN

Drahtseilbahnen werden als Transportmittel immer mehr in Bergregionen eingesetzt, die von Touristen und Skifahrern besucht werden.

Wie man noch heute in zahlreichen Industriegebieten sehen kann, wurden im 18. und 19. Jahrhundert die zum Transport von Kohle, Felsgestein und Erzen von den Minen zu den Fluß- oder Seehäfen verwendeten Förderwagen mittels Seilen auf geneigten Fahrbahnen hinauf- und hinabgezogen. Die Seile wurden von in der Nähe des höchsten Punktes einer solchen schiefen Ebene ortsfest installierten DAMPFMASCHINEN angetrieben. Sie wurden um eine mit der Dampfmaschine verbundene Seiltrommel geführt und liefen auf Rollen längs der Fahrspur. Gelegentlich arbeiteten seilbetriebene Förderwagen sogar kontinuierlich, indem die beladenen, bergab fahrenden Wagen die leichteren leeren bergauf zogen. Selbst

Winkel zwischen der variablen vertikalen Linie und der konstanten Horizontalen beziehen.

Normalerweise handelt es sich um eine doppelspurige Bahn mit jeweils einem Wagen pro Spur. Die Wagen sind durch ein Drahtseil verbunden und halten sich gegenseitig im Gleichgewicht. Die Kabinen sehen wie kleine Eisenbahnwagen aus, haben jedoch ein dreieckiges Untergestell, so daß sie waagrecht bleiben, obwohl ihre Räder auf einer steil geneigten Fahrspur laufen. Immer wenn ein Wagen oben ist, ist der andere unten. An der Kopfstation läuft das Seil auf eine Seiltrommel, die gleichermaßen als Antriebs- und Bremsenelement dient. Einige frühe Klippenbahnen verfügten über eine billige Energiequelle, wenn an der Kopfstation Wasser zur Verfügung stand. Jeder Wagen hatte an seiner Unterseite einen Wassertank. Dieser wurde an der Kopfstation gefüllt und an der unteren Station geleert. Auf diese Weise war der mit einem vollen Tank von oben kommende Wagen schwerer und zog den unteren nach oben. Diese Antriebsart ist auch

HABEGGER THUN



Oben: Winkelträger an einem Skilift mit Änderung der Laufrichtung der Seile. Dieser Schlepplift kann 1 000 Personen pro Stunde befördern.

Rechts: Skilift in Form eines Sesselliftes. Er bietet größere Bequemlichkeit für die Fahrgäste und benötigt kein sanft ansteigendes Gelände.



HABEGGER THUN

nachdem die Dampflokomotive durch George Stephenson zur Zugmaschine der frühen Personenzüge perfektioniert worden war, wurden teilweise noch Seilhilfen eingesetzt, wenn die Züge größere Steigungen zu überwinden hatten. Während des gesamten 19. Jahrhunderts war die seilbetriebene Förderung auf vielen steilen industriellen Förderstrecken zu finden. Auch heute noch werden Steigungen und Gefälle mit Hilfe von Drahtseilen überwunden, nicht nur in der Industrie, sondern auch beispielsweise bei der Straßenbahn von San Francisco. Andere Formen der Seilförderung sind heute im wesentlichen auf die Beförderung von Touristen beschränkt.

Klippenbahnen

In manchen englischen Seebädern sorgen sogenannte Klippenbahnen an Steigungen von etwa 50% für den schnellen Transport der Badegäste von den Klippen zum Strand. Die Steigung wird in Prozenten ausgedrückt, die sich auf den

heute noch vereinzelt anzutreffen; die meisten Klippenbahnen sind jedoch inzwischen elektrifiziert.

Standseilbahnen

Die ersten echten schienenengebundenen Bergbahnen mit Dampflokomotiven, als Zahnradbahnen konzipiert, führten auf den Mount Washington in den USA und auf den Rigi in der Schweiz. Die Rigi-Bahn war der Vorläufer des heute weitläufigsten Bergbahnnetzes der Welt. Weite Teile der Schweiz bestehen aus hohen Bergen, von denen einige über 4 250 m Höhe erreichen. Diese frühen Bergbahnen waren Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen. Die meisten Standseilbahnen arbeiten nach dem Prinzip der Klippenbahnen mit zwei untereinander durch Seile verbundenen Kabinen. Aufgrund der Streckenlänge, die in einzelnen Fällen 1,6 km und mehr beträgt, verläuft eine solche Bahn in der Regel über den größten Teil der Strecke einspurig. Lediglich in der Mitte, wo

sich die Wagen begegnen, gibt es einen kurzen zweispurigen Abschnitt. Die Wagen werden automatisch über Weichen durch den doppelgleisigen Streckenabschnitt geführt, da jeder Wagen auf der einen Seite jeweils Räder mit doppeltem Spurkranz und auf der anderen Seite spurkranzlose Räder hat, so daß ein Wagen rechts und der andere links in der Spur gehalten wird. Das Seil läuft durch kleine Zwischenräume in den Schienen, ohne daß dadurch die Räder behindert werden.

Je nach Gelände verlaufen Standseilbahnen unterschiedlich steil und eventuell in leichten Kurven. Ihre Steighöhe reicht von 10% bis maximal 88%. Auf den weniger steilen Strecken ähneln die Kabinen normalen Eisenbahnwagen, sind jedoch etwas kleiner. Auf den steileren Strecken haben die Wagen stufenförmig voneinander getrennte Abteile, so daß bei stets ebener Bodenfläche und waagerechten Sitzen innerhalb der einzelnen Abteile das oberste Abteil 3 m bis 4 m über dem untersten liegen kann. Die größeren Wagen fassen bis zu 100 Fahrgäste, meist jedoch weniger.

Die Kapazität der Standseilbahnen ist auf jeweils zwei Wagen beschränkt, die in der Regel etwa 8 km/h bis 16 km/h zurücklegen. Auf manchen Gebirgsstrecken ist deshalb die Gesamtlänge der Bahn in Einzelabschnitte unterteilt, und die Teilstrecken werden von 2 oder 3 Wagenpaaren bedient.

Sicherheitsprüfungen

Brems- und allgemeine technische Sicherheit sind auf steilen Bergstrecken von lebenswichtiger Bedeutung. Ein Losreißen der Wagen muß verhindert werden. Die Seile werden regelmäßig überprüft und, wenn erforderlich, erneuert. Für den Fall eines Seilbruchs gibt es eine Reihe von Bremsvorrichtungen, die den Wagen schnell zum Stehen bringen. Auf sehr steilen Strecken würden die üblichen Radbremsen keinerlei Wirkung haben. Äußerst starke, federbelastete Fangvorrichtungen auf der Wagenunterseite wirken deshalb bei einem Nachlassen des Seiles sofort auf die Schienen. Ist ein Seil



erneuerungsbedürftig, wird bei dieser Gelegenheit das gesamte Bremssystem überprüft. Dazu wird das Seil gekappt und festgestellt, ob die Wagen innerhalb der vorgeschriebenen Wegstrecke zum Stehen kommen. Dieser Probelauf erfolgt natürlich ohne Fahrgäste.

Luftseilbahnen

Im Jahre 1908 bauten die Schweizer die erste Luftseilbahn in der Nähe von Grindelwald im Berner Oberland. Obwohl sie nur 6 Jahre in Betrieb war und 20 Jahre lang keine Nachahmung fand, sind heute überall dort, wo die Berge Sommer-touristen und skibegeisterte Wintersportler anziehen, die Luftseilbahnen das Transportmittel mit der größten Zuwachsrate. In den drei Jahrzehnten vom Ende des Zweiten Weltkrieges bis Mitte der siebziger Jahre stieg allein in der Schweiz die Zahl der Luftseilbahnen aller Typen von ungefähr 20 auf 230. Einer ihrer Hauptvorteile besteht darin, daß sie wesentlich kostengünstiger zu bauen sind als Standseilbahnen. Luftseilbahnen sind im gesamten Alpenraum im Einsatz, wenn auch die Schweiz eine Spitzenstellung einnimmt.

Es gibt drei verschiedene Typen von Luftseilbahnen. Einmal

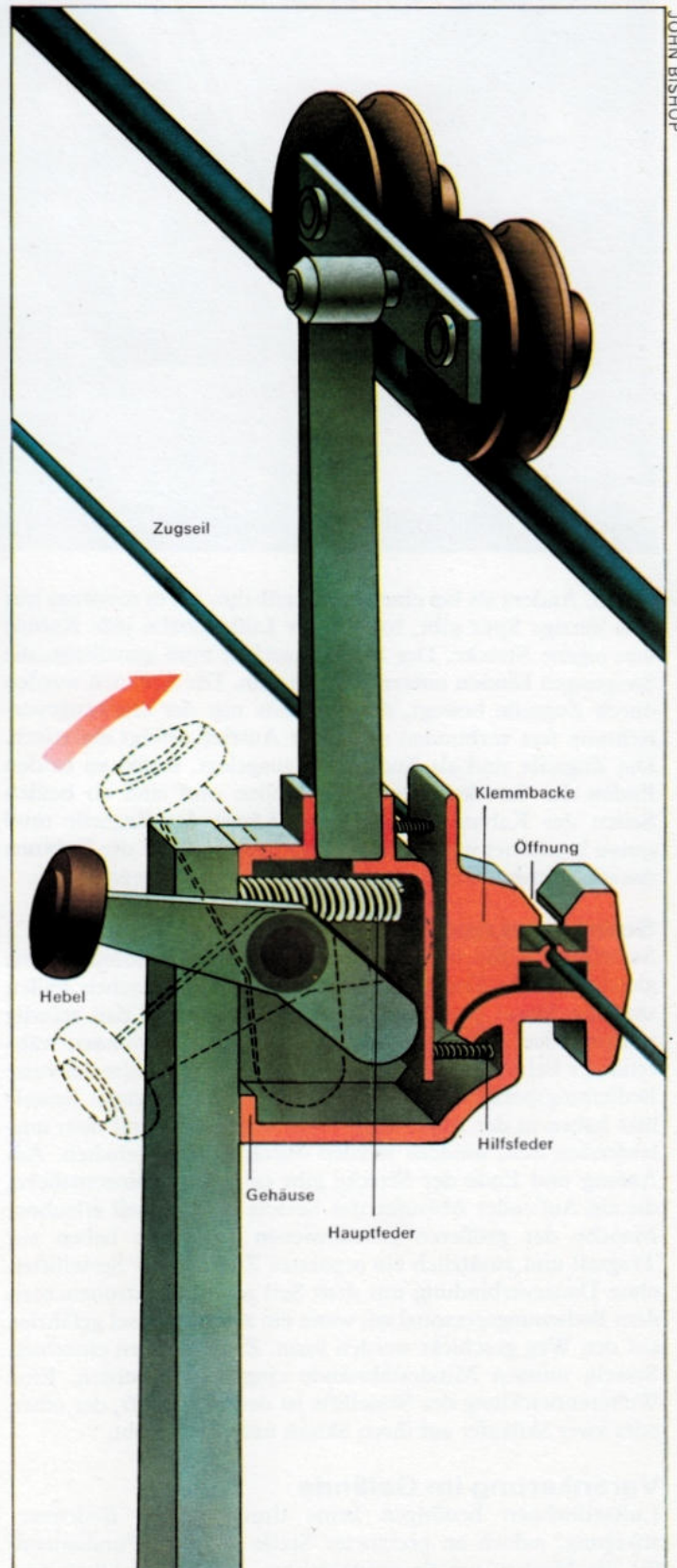


Oben: Viersitzige Seilbahnen vom Gondeltyp in der Endstation in Cry d'Er in den Schweizer Alpen. Die Seiltrommel rechts im Bild wird von Gleichstrom-Elektromotoren angetrieben.



Links: Die spanische Luftseilbahn ist eine beliebte Touristenattraktion. Sie wurde im Jahre 1916 erbaut und überquert den Niagara etwas unterhalb der Niagarafälle.

Unten: Federkupplung am Gehänge einer Personenseilbahn. Die Hauptteile der Kupplung sind starke Federn, die die 'Backen' auf das Zugseil pressen. Die bewegliche Backe wird von einem Hebel betätigt, der das Gehäuse auf die feste Klemmbacke preßt. Hilfsfedern geben das Zugseil frei, wenn der Wagen ausgekuppelt wird.



JOHN BISHOP

große Kabinen, die bis zu 100 oder mehr Fahrgäste fassen, wobei ebenso wie bei einer Standseilbahn in der Regel jeweils zwei Kabinen auf der Strecke sind, deren Länge bis zu 1,6 km oder gar 3,2 km beträgt. Daneben gibt es den Sessellift mit offenen Einzel- oder Doppelsitzen. Die in gleichmäßigen Abständen angeordneten Sessel einer solchen Liftanlage, die eine Gesamtlänge bis zu 3 km erreichen kann, laufen normalerweise nicht mehr als 6 m bis 10 m über dem Boden. Als dritte Variante gibt es dann noch den geschlossenen Sessellift mit im allgemeinen 4 Sitzen. Wie die offenen Sessellifte haben auch die geschlossenen viele Einzelkabinen auf der Strecke, die häufig auf Höhe der Baumspitzen verläuft.

Die großen Seilbahnen haben einen Fahrgastraum mit sehr wenigen Sitz-, jedoch vielen Stehplätzen, da die Fahrt ja nur kurz ist. Sie hängen an einem Fahrgestell mit einer Reihe von Seilscheiben mit Rillenprofil. Die Seilscheiben laufen auf Tragseilen, die ihrerseits an beiden Enden der Strecke verankert sind und unterwegs von Masten gestützt werden, die auf dem Boden oder auch an Bergwänden oder Graten stehen. Einige Strecken mit Großraumkabinen haben zwei Tragseile pro Wagen. Kleinere Kabinen können auch an nur einem Seil



laufen. Anders als bei einer Standseilbahn, wo es meistens nur eine einzige Spur gibt, hat bei der Luftseilbahn jede Kabine ihre eigene Strecke. Der Streckenverlauf muß geradlinig, die Steigungen können unterschiedlich sein. Die Kabinen werden durch Zugseile bewegt, die ihrerseits mit der Aufhängevorrichtung fest verbunden sind. Der Antrieb erfolgt elektrisch. Die Zugseile sind als Endlosseile ausgelegt, laufen an beiden Enden der Strecke über Umlenkrollen und sind an beiden Seiten der Kabine befestigt. Die Länge der Zugseile muß genau berechnet werden, um sicherzustellen, daß die Kabinen das entgegengesetzte Ende der Strecke gleichzeitig erreichen.

Sessellifte und Schlepplifte

Sessellifte laufen im allgemeinen an einem Endlosseil, das gleichzeitig als Trag- und Zugseil dient. In manchen Fällen sind die Sessel über eine Dauerverbindung mit den ständig umlaufenden Seilen verbunden. Die Fahrgäste müssen während der Fahrt zu- und aussteigen, wobei ihnen normalerweise Bedienungspersonal behilflich ist. Die doppelsitzigen Sessellifte haben in der Regel keine feste Verbindung mit dem umlaufenden Seil, sondern werden durch Greifer gehalten. Am Anfang und Ende der Strecke gibt es kurze Schienenstücke, die ein Auf- oder Ablaufen des Sessels vom Zugseil erlauben. Manche der größeren geschlossenen Sessellifte haben ein Tragseil und zusätzlich ein separates Zugseil. Bei Sesselliften ohne Dauerverbindung mit dem Seil zeigen Kontrollleuchten dem Bedienungspersonal an, wann ein zweiter Sessel gefahrlos auf den Weg geschickt werden kann. Zwischen den einzelnen Sesseln müssen Mindestabstände eingehalten werden. Eine Weiterentwicklung des Sessellifts ist der *Schlepplift*, der einen oder zwei Skiläufer auf ihren Skiern nach oben zieht.

Verankerung im Gelände

Luftseilbahnen benötigen keine durchgehende Bodenverankerung, jedoch an geeigneter Stelle platzierte Fundamente für die Masten, um zu gewährleisten, daß die Kabinen und

***Oben:** Nach dem Anbringen und Spannen der Haupttragseile zwischen den Masten werden die Zugseile mit Hilfe eines fahrbaren Schlittens, wie ihn die Abbildung zeigt, montiert. Um zu verhindern, daß die Tragseile unter Belastung durchhängen, sind Spannungen bis zu 100 Tonnen erforderlich.*

Sessel unbehindert an Felskanten und Graten vorbeilaufen können. Bei einigen der großen Doppelkabinenbahnen stehen die Masten mehr als 1,6 km auseinander. Bei Talüberquerungen und beim Überwinden steiler Bergwände können sie 300 m und mehr über dem Boden schweben. Die längste Luftseilbahn der Schweiz führt von Lauterbrunnen im Berner Oberland auf den Gipfel des fast 3 000 m hohen Schilthorns. Sie besteht aus vier Teilstrecken mit einer Gesamtlänge von 7 km. In nur wenig mehr als 30 Minuten bringt sie die Besucher vom Talgrund in die Welt des ewigen Eises der Hochalpen.

Automatische Anlagen

Viele der neueren Seilbahnstrecken sind weitgehend automatisiert. Haben die Fahrleiter nach dem Austausch von Glockenzeichen erst einmal auf den Startknopf gedrückt, werden die Wagen automatisch gesteuert. Über weite Teile der Strecke können sie mit einer Geschwindigkeit bis zu 24 km/h fahren. Lediglich beim Überfahren der Masten, auf besonders steilen Abschnitten und beim Anfahren der Endstation muß die Geschwindigkeit auf 1,5 km/h oder noch weniger reduziert werden, damit die Kabinen nicht ins Schaukeln geraten.

Neben ihrem Einsatz in beliebten Touristenzentren verbinden Seilbahnen mit in der Regel geringer Kapazität jetzt auch viele schweizerische und österreichische Bergdörfer mit den Orten im Tal. Hier tritt eine Fahrt von wenigen Minuten an die Stelle von stundenlangem beschwerlichem Gehen auf Bergpfaden, die auch heute noch unbefahrbar sind.

Erfindungen 6: DAS BOOT

BRITISH MUSEUM/MICHAEL HOLFORD



STAATSBIBLIOTHEK BERLIN

Oben: Höhlenmalerei aus der Bronzezeit um etwa 1000 v.Chr. bei Tanum, Schweden. Sie zeigt ein Boot, das aus einem mit Leder bespannten Holzrahmen besteht.

Links: Einzeldarstellung aus einem Relief, das bei Ninive, Mesopotamien, gefunden wurde. Es beschreibt den Feldzug von König Sanherib gegen Phönizien und stellt eine phönizische Kriegsgaleere etwa um 700 v.Chr. dar.

Im Gegensatz zu vielen frühen Erfindungen des Menschen gab es nicht nur ein einziges Vorbild für das Boot. Boote entwickelten sich aus einer Reihe verschiedener primitiver Wasserfahrzeuge an unterschiedlichen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten. Grundsätzlich sind alle Boote entweder aus Schwimmhilfen, Flößen oder wasserdichten Körben entwickelt worden. Viele dieser einfachen Boote sind auch heute noch bei primitiven Völkern in Gebrauch.

Einbäume

Ein Holz kann als Schwimmhilfe dienen, um einen Fluß zu überqueren. Man setzt sich beispielsweise rittlings auf einen Balken und rudert mit den Händen. Wenn der Balken mit einer Axt oder durch Feuer ausgehöhlt wurde, kann man nicht nur in ihm sitzen und auf diese Weise trocken bleiben, sondern man kann mit ihm auch Lasten befördern. Mit geringfügigen Abweichungen ist der Einbaum in allen Kontinenten zu finden. Hieraus kann man schließen, daß diese Erfindung mehr als einmal gemacht wurde. In Europa und Asien sind Einbäume seit Bekanntwerden der Steinaxt (Neusteinzeit, etwa 6000 v.Chr.) in Gebrauch. Der einfache Einbaum neigt jedoch zur Instabilität und kentert leicht.

Um ein Kentern zu verhindern, wurde entweder ein Ausleger angebracht oder zwei Boote wurden Seite an Seite zusammengebunden. Diese Art von Booten trifft man heute noch im Indischen Ozean, in Südostasien und im Pazifik an. Andere Völker formten den Rumpf so,

daß er eine Art 'Kiel' erhielt. Diese Konstruktion findet man noch heute im tropischen Afrika und in Südamerika vor. Zur Stabilisierung wurden am Boden des Bootes Gewichte angebracht. Man nimmt an, daß diese Methode im vorgeschichtlichen Europa üblich war.

Der Einbaum hat sehr wenig Freibord, d.h. freie Höhe über dem Wasser. Um diesen Nachteil auszugleichen, kann jeweils eine Planke, ein *Waschbord*, an den Seiten angebracht werden. Die Nahtstelle ist mit Harz oder Bitumen gegen Wasser abgedichtet. Zur größeren Festigkeit an der Innenseite können die Planken — eine über die andere — mit einer Reihe von senkrechten Trägern oder Spanten angestückt werden. Frühe Abbildungen kretischer Boote (etwa 2500 v. Chr.) lassen vermuten, daß zur damaligen Zeit die Boote in dieser Art gebaut wurden.

Flöße

In Ägypten, wo es keine hohen Bäume gab, wurden die ersten Boote gebaut, indem man zigarrenförmige Schilfbündel zusammenband. Durch Herausziehen der beiden Enden aus dem Wasser erhielt das Boot eine gewisse Stromlinienform. Es wurden Paddel benutzt, um die Boote durch das Wasser zu bewegen; Steuerriemen hielten sie auf Kurs. Wenn die Ägypter ein robusteres Schiff für den Transport von schweren Steinen bauen wollten, benutzten sie die schon beschriebene Plankenkonstruktion; die Gestalt des Schilfrohrfloßes behielten sie allerdings bei. Im heutigen Afrika sind Schilfrohrflöße

in der Art der ägyptischen Flöße noch in Abessinien und am Tschadsee in Gebrauch. Ähnliche Boote werden auch in Peru benutzt.

In China waren flache Bambusflöße vermutlich von Beginn der Neuzeit an (etwa um 4000 v. Chr.) in Gebrauch. Sie werden heute noch als billiges Transportmittel auf den Flüssen verwendet. Zu einem späteren Zeitpunkt, wahrscheinlich um 1000 v.Chr., begannen die Chinesen mit der Verbesserung des Floßes. Sie legten Bambusrohre über eine Reihe von halbkreisförmigen Holzplanken. Dies ergab ein Schiff, das in der Länge eine Reihe von festen Schotten hatte. Indem die Chinesen die Bambusrohre durch Planken ersetzten, schufen sie schließlich ihr typisches Fluß- und Hafenboot, das Wupan (fünf Planken) und das Sampan (drei Planken). Ein Tonmodell eines solchen Bootes wurde in einer Han-Grabstätte etwa aus der Zeit 100 v.Chr. gefunden. Die chinesische Dschunke wurde aus diesem Schiffstyp entwickelt.

Kajaks und Kanus

Der dritte Bootstyp, ein mit Häuten oder Rinden bespannter Holzrahmen, existiert noch heute. Die Häute bzw. Rinden sind mit Harzen oder Bitumen imprägniert. Die irische Version ist das Curragh, der Eskimo hat den Kajak und der Indianer das Kanu. Wie man von Abbildungen und Modellen weiß, bauten die Bewohner des Deltas von Mesopotamien etwa 3000 v.Chr. ein ähnliches Boot. In Skandinavien zeigen prähistorische Stiche, daß auch dort Boote

mit Holzrahmen üblich waren. Erst im 4. Jahrhundert n.Chr. begann man mit der Entwicklung des Großbootes der Wikinger. Im Grunde war dieses Boot nur eine geschickte Verbesserung der Spanten- und Plankenkonstruktion, die im Mittelmeerraum entworfen wurde.

Primitive Völker ziehen, staken oder paddeln das Boot. Der Riemen, der eine bessere Nutzung der Körperkraft erlaubt, ist wahrscheinlich um 3000 v.Chr. im Mittelmeerraum entwickelt worden. Diese Erfindung wurde bald von den Ägyptern übernommen. In einigen Gebieten, wie etwa im Pazifik, wurde der Riemen erst im 18. Jahrhundert verwendet.

Segel

Segel wurden schon um 4000 v.Chr. auf den ägyptischen Flußbooten benutzt. Diese Rahsegel, die an einer Querstange am Mast angebracht wurden, setzten sich nicht nur

im Mittelmeerraum und im Westen, sondern auch in China allgemein durch. Kurz nach 200 v.Chr. entdeckten die Chinesen, daß man das Segel in eine Linie mit dem Schiff bringen konnte, indem man einige Latten waagrecht in das Segel nähte. Hierdurch konnte man sehr hart gegen den Wind segeln. Vorher bestand die Gefahr, durch den Wind zu kentern. Das dreieckige Längsgesegel, das heute von den meisten Yachtseglern bevorzugt wird, ist eine Erfindung der Ägypter. Es kam während der Kreuzzüge nach Westeuropa.

Ursprünglich erzielte man die Steuerung dadurch, daß man einen Riemen am Heck über eine oder beide Seiten des Bootes hängte. Um 200 n. Chr. erkannten die Chinesen, daß es günstiger ist, das Ruder senkrecht durch einen Schaft im überhängenden Deck ihrer Boote anzubringen. Das Steuerruder wurde in dieser Form bei allen chinesischen Dschun-

ken verwendet. Wahrscheinlich rührt es von einer Begegnung mit den Chinesen her, daß arabische Seeleute irgendwann um 1000 n.Chr. damit begannen, ihr Steuerruder wie eine Klapptür auf den Achtersteven ihrer Schiffe zu hängen.

Im 20. Jahrhundert wurden die Boote weiterentwickelt. Fußbetriebene Tretboote, deren Schaufeln denen eines großen Raddampfers ähneln, sind bei Vergnügungsbooten sehr beliebt, da sie die Hände des Fahrers frei lassen. Schlauchboote — mit oder ohne Außenbordmotor — sind weitverbreitet. Die Motoren werden durch Dampf, Benzin oder Dieselöl angetrieben.

Ruderboote werden gerne als Vergnügungsboote benutzt, da sie weniger Wartung als motorgetriebene Boote benötigen. Zum Bootsbau wird als Material sowohl Beton als auch durch Glasfaser verstärkter Kunststoff verwendet.

Rechts: Ein 'Balsa' auf dem Titicacasee in Bolivien. Es ist aus zusammengebundenen Schilfbündeln hergestellt. Sie ähneln in ihrer Bauart den Schilfbooten in Ägypten.

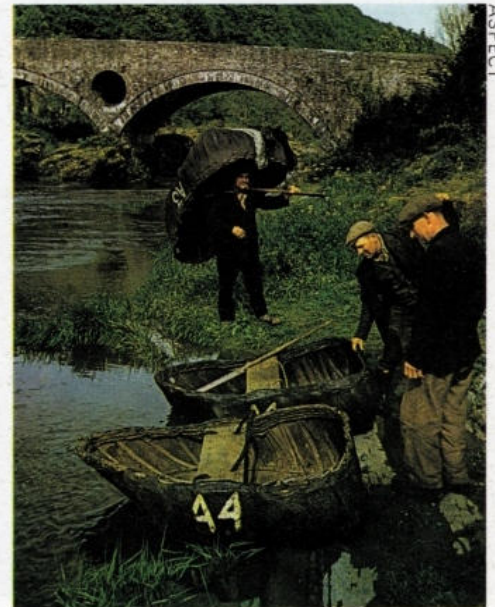
Ganz rechts: Das 'Coracle'. Ein Weidengeflecht wird mit Leder oder geteertem Segeltuch überspannt. Es wurde in der Bretagne gebaut.

Unten: Den einfachen Einbaum kennt man schon seit 8000 Jahren. Hier werden Kanus der Lagunenfischer von Dahome in Afrika gezeigt.

Unten rechts: Diese indischen Fischer benutzen Boote, die aus grob behauenen Planken bestehen.



KEYSTONE



ASPECT



ZEFA



ZEFA