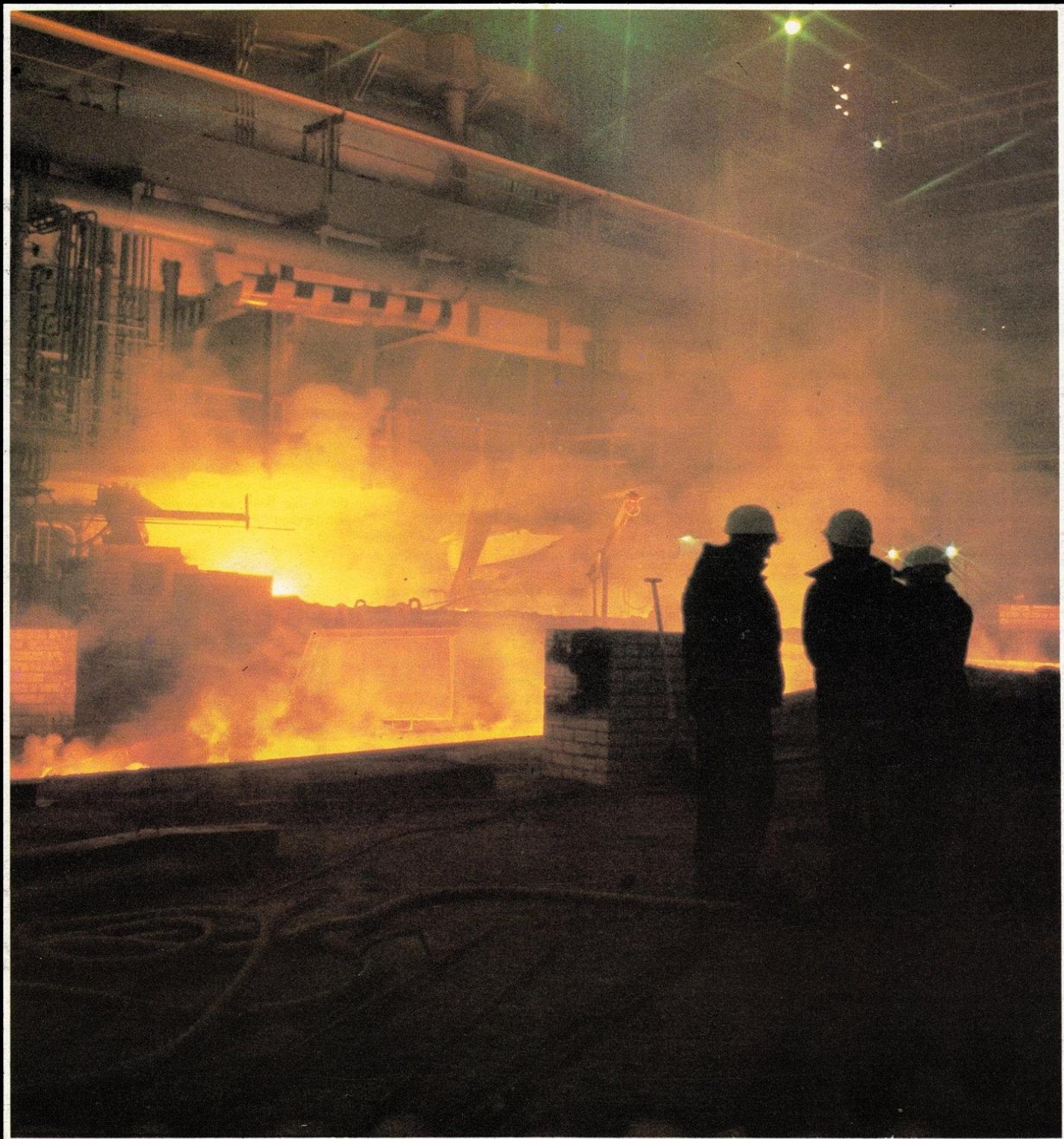


HEFT 54 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Spritzpistole	1485
Stacheldraht	1487
Stahlerzeugung	1489
Stahlkern- und Stahlmantelgeschosse	1495
Starkstromkabel	1497
Staubsauger	1502
Steinbruch	1503
Steinkohleteer	1505
Stereoradio	1507
Stereo- und Quadrofonie	1509

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDOCH WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

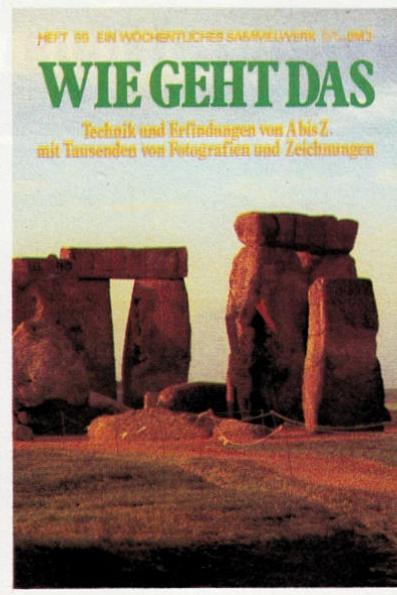
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr. 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

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

INHALTSVERZEICHNIS

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

In Heft 55 von Wie Geht Das



Über den Ursprung und Zweck der im Nordwesten Europas weitverbreiteten Gesteinskreise werden heute noch diskutiert. Von der neuesten Forschung ist jedoch ersichtlich, daß sie nicht nur — wie bisher angenommen — als Tempel benutzt wurden. Finden auch Sie heraus warum und wie diese imposanten Kreise gebaut wurden — in Heft 55 von WIE GEHT DAS.

Ein leistungsfähiges Straßennetz ist für hochindustrielle Länder unentbehrlich. Wie werden Straßen und Autobahnen geplant und gebaut? Wir erklären es im nächsten Heft.

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

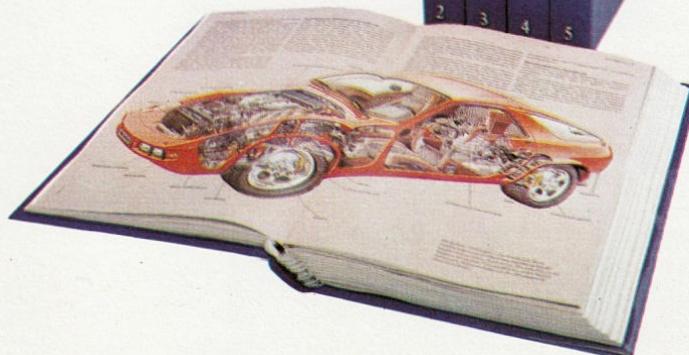
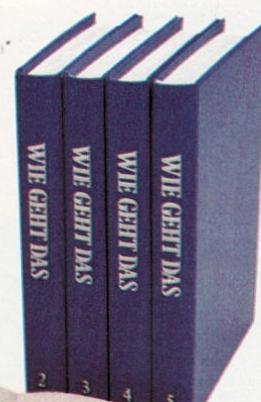
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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

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



SPRITZPISTOLE

Mit einer Spritzpistole können Farben, Lacke und andere Überzugsstoffe auf Oberflächen gespritzt werden, so daß diese vor Rost geschützt werden bzw. ein besseres Aussehen erhalten.

Als Erfinder der Spritzpistole kann Dr. De Vilbiss, ein praktischer Arzt aus Toledo, Ohio, USA, angesehen werden. Er suchte zu Beginn des 18. Jahrhunderts nach einer idealen Methode, um Medikamente auf die Schleimhautflächen von Mundraum und Nasengängen aufzutragen. Der ursprünglich als Alternative zum Betupfen verwendete Zerstäuber wurde zur Farbspritzpistole weiterentwickelt, die heute in der Industrie weit verbreitet ist. Die Spritzpistole wird zum Auftragen von Farben, Lacken und Glasurmitteln auf jeden nur denkbaren Massenartikel, der eine abschließende Oberflächenbehandlung zur Verzierung oder zum Schutz benötigt, benutzt.

Eine Spritzpistole ist ein Präzisionswerkzeug, zu dessen Betrieb Druckluft erforderlich ist. Der zu verarbeitende Lack und die Druckluft werden getrennt in die Spritzpistole eingeführt. Durch Luftkanäle wird die Druckluft am Luftkopf in den Lackstrom eingeleitet. Durch die eindringende Druckluft wird die Bewegung des zu verarbeitenden Lacks zusätzlich beschleunigt. Da jedes Spritzgut eine kritische Geschwindigkeit besitzt, bei der es sich in einzelne Teilchen auflöst oder zerstäubt, wird auch der Lack in kleine Kugelchen oder Tröpfchen verteilt bzw. zerstäubt.

Die durch die Druckluft einwirkende Kraft erfüllt zwei Aufgaben: Erstens wird die Farbe zerstäubt und zweitens werden die im Lack enthaltenen Lösungsmittel verdunstet. Durch richtige Einstellung der in die Spritzpistole eingeleiteten Druckluft- und Lackmenge kann der Zerstäubungsgrad genau gesteuert werden, wodurch ein Höchstmaß an Zerstäubung

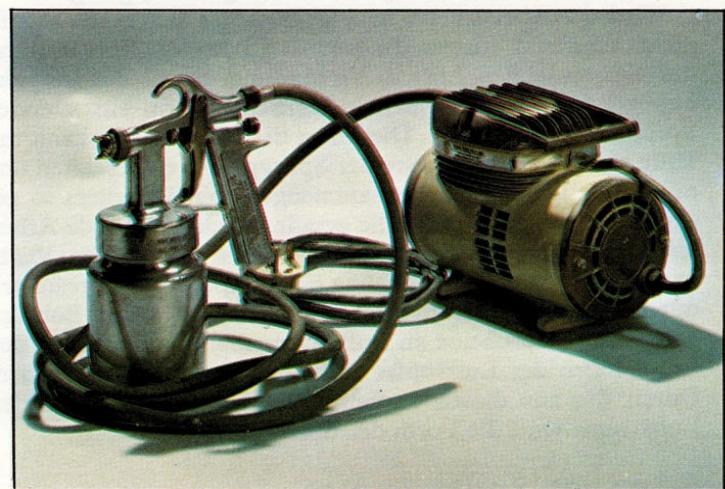
Oben rechts: Eine von einem elektrisch betriebenen Kompressor mit Druckluft versorgte Lackspritzpistole.

Rechts: Schnitzzeichnung einer Spritzpistole. Die zugeführte Druckluft tritt durch den Lufteinlaß am unteren Ende des Handgriffs ein und dringt durch das untere federbelastete Ventil, das durch den Abzugshebel betätigt wird, nach oben und weiter bis zur Flüssigkeitsdüse, wo sie mit dem Lack zusammentrifft. Dieser verläßt die Spritzpistole infolge der Betätigung des ebenfalls durch den Abzugshebel bewegten und durch das obere federbelastete Ventil eingestellte Nadelventil. Der Luftstrom und der nach außen dringende Lack verlassen die Düse im Luftkopf als konisch geformter Sprühstrahl. Dessen Form kann durch entsprechende Steuerung zu einem waagerecht verlaufenden, fächerförmigen 'Muster' verbreitert werden.

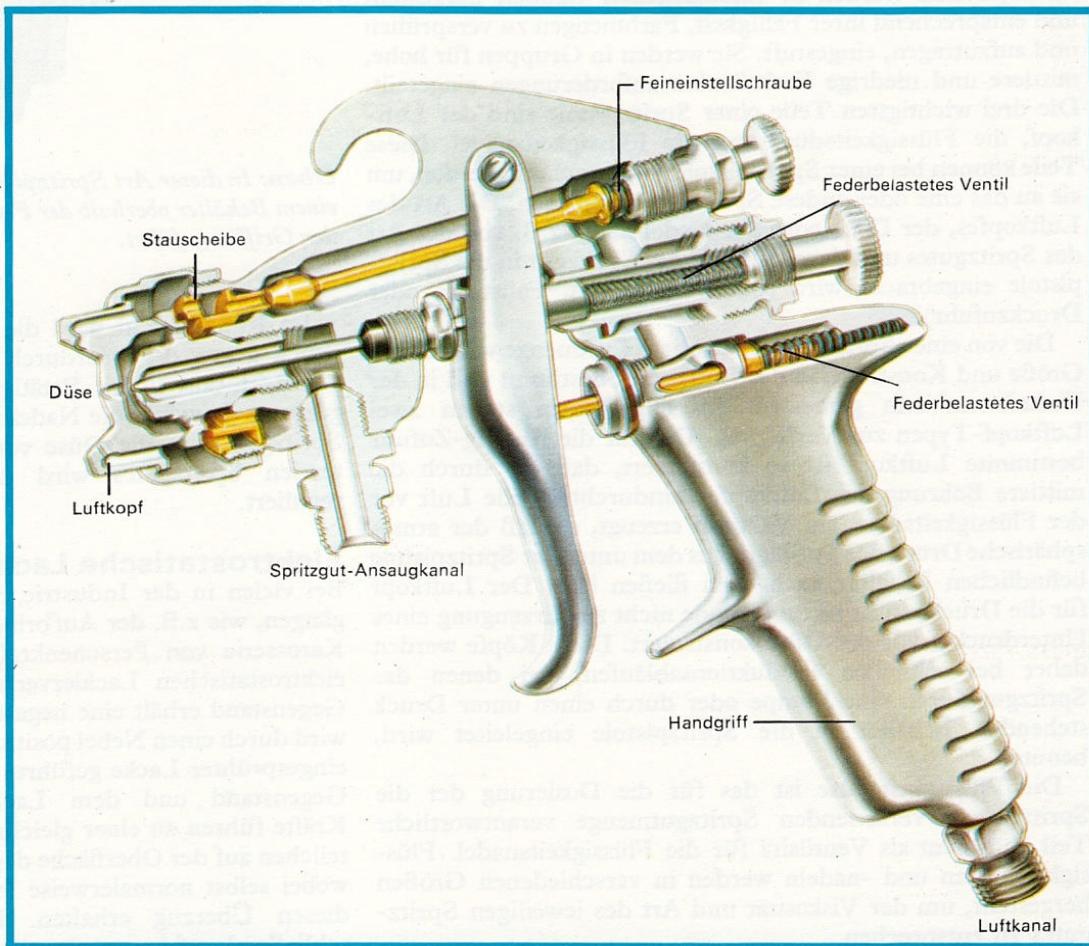
unter möglichst geringer Verdunstung der Lösungsmittel erreicht wird.

Arbeitsweise

Die mechanische Funktion der Spritzpistole kann wie folgt beschrieben werden: Das zu versprühende Spritzgut tritt in das unmittelbar unter dem Sprühkopf der Spritzpistole befindliche Saugrohr in die Spritzpistole ein und wird an einem Nadelventil (Flüssigkeitsnadel) vorbei und in Form eines Spritz- oder Sprühstrahles durch die Flüssigkeitsdüse hindurchgepreßt. Der zur Bewegung des Spritzgutes erforderliche Druck kann entweder durch Fallstrom (indem der Flüssigkeitsbehälter von oben auf die Spritzpistole montiert wird), durch Ansaugen des Luftstromes durch die Spritzpistole oder durch Benutzung einer Pumpe oder eines Behälters, in dem das Spritzgut bereits unter Druck steht, erzeugt werden. Ein durch den Abzugshebel der Spritzpistole betätigtes



HART ASSOCIATES



FRANK KENNARD

Rechts: Spritzpistole zum elektrostatischen Lackieren. Durch entgegengesetzte elektrische Ladung des zu spritzenden Gegenstandes und des Lacks entstehen elektrostatische Kräfte, die einen gleichmäßigen Lacküberzug gewährleisten.

federbelastetes Ventil steuert die Zufuhr der durch den an der Unterseite des Pistolengriffs befindlichen Schlauchanschluß eintretenden Druckluft. Die Druckluft wird durch in der Spritzpistole vorgesehene Kanäle und durch eine Reihe kleiner Bohrungen in einer Stauscheibe hinter dem die Flüssigkeitsdüse umgebenden Luftkopf geleitet. Die Luftzufuhr wird durch ein weiteres federbelastetes Ventil, das ebenfalls durch den Abzugshebel betätigt wird, geregelt.

Wird der Abzugshebel betätigt, bewegen sich beide Ventile gleichzeitig und bringen das angesaugte flüssige Spritzgut mit der einströmenden Luft in Verbindung, wobei die Luft das bewegte Spritzgut in einen in konischer Form austretenden Sprühnebel verwandelt. Die Form des Sprühnebels kann mit Hilfe eines in die Rückseite der Spritzpistole eingesetzten und mit einem Einstellventil zusammengefaßten Verteilers so geändert werden, wie es für die gerade durchzuführende Arbeit erforderlich ist. Mit dem zum Verteiler gehörenden Ventil wird die Stellung einer Öffnung in der Spritzpistole geändert, durch die der Luftstrom über eine zweite Reihe von Bohrungen in der Stauscheibe zu Luftaustrittsbohrungen, die in den Erhöhungen des Luftkopfes enthalten sind, umgeleitet wird. Durch die aus diesen Luftaustrittsbohrungen austretenden Luftströme wird die Form des Sprühnebels verändert.

Arten von Spritzpistolen

Spritzpistolen werden in verschiedenen Größen hergestellt und entsprechend ihrer Fähigkeit, Farbmengen zu versprühen und aufzutragen, eingestuft. Sie werden in Gruppen für hohe, mittlere und niedrige Farbrikationsanforderungen eingeteilt. Die drei wichtigsten Teile einer Spritzpistole sind der Luftkopf, die Flüssigkeitsdüse und die Flüssigkeitsnadel. Diese Teile können bei einer Spritzpistole ausgewechselt werden, um sie an das eine oder andere Spritzgut anzupassen. Die Art des Luftkopfes, der Düse oder der Nadel hängt z.B. von der Art des Spritzgutes und davon ab, wie das Spritzgut in die Spritzpistole eingebracht wird (durch Ansaugen, Fallstrom oder Druckzufuhr).

Die von einer Spritzpistole benötigte Luftmenge wird durch Größe und Konstruktion des Luftkopfes bestimmt und in der Einheit cm^3/min gemessen. Im allgemeinen stehen zwei Luftkopf-Typen zur Verfügung. Der für die Ansaug-Zufuhr bestimmte Luftkopf ist so konstruiert, daß die durch die mittlere Bohrung des Luftkopfes hindurchtretende Luft vor der Flüssigkeitsdüse ein Vakuum erzeugt, so daß der atmosphärische Druck das Spritzgut aus dem unter der Spritzpistole befindlichen Behälter nach oben fließen läßt. Der Luftkopf für die Druckzufuhr ist im Grunde nicht zur Erzeugung eines Unterdruckes vor der Düse konstruiert. Diese Köpfe werden daher bei schnellen Produktionsabläufen, bei denen das Spritzgut durch eine Pumpe oder durch einen unter Druck stehenden Behälter in die Spritzpistole eingeleitet wird, benutzt.

Die Flüssigkeitsdüse ist das für die Dosierung der die Spritzpistole verlassenden Spritzgutmenge verantwortliche Teil und dient als Ventilsitz für die Flüssigkeitsnadel. Flüssigkeitsdüsen und -nadeln werden in verschiedenen Größen hergestellt, um der Viskosität und Art des jeweiligen Spritzgutes zu entsprechen.



DEVILBISS

Oben: In dieser Art Spritzpistole befindet sich der Lack in einem Behälter oberhalb der Pistole. Der Luftdruck wird über den Griff zugeführt.

Im Ruhezustand wird die Flüssigkeitsnadel durch Federdruck gegen die (hierdurch verschlossene) Flüssigkeitsdüse gedrückt und durch Betätigung des Abzugshebels zurückgezogen. Je weiter die Nadel zurückgezogen wird, desto mehr Spritzgut kann die Düse verlassen. Die Menge des austretenden Spritzgutes wird durch die Feineinstellschraube reguliert.

Elektrostatische Lackierung

Bei vielen in der Industrie durchgeführten Lackierungsvorgängen, wie z.B. der Aufbringung einer Grundierung auf die Karosserie von Personenkraftwagen, geht man heute nach elektrostatischen Lackierverfahren vor. Der zu lackierende Gegenstand erhält eine negative elektrostatische Ladung und wird durch einen Nebel positiv geladener, in die Spritzkammer eingesprührter Lacke geführt. Die zwischen dem betreffenden Gegenstand und dem Lack wirkenden elektrostatischen Kräfte führen zu einer gleichmäßigen Anlagerung von Lackteilchen auf der Oberfläche des zu lackierenden Gegenstandes, wobei selbst normalerweise freibleibende 'versteckte' Stellen diesen Überzug erhalten. Die Endlackierung kann anschließend auf konventionellem Wege durchgeführt werden.

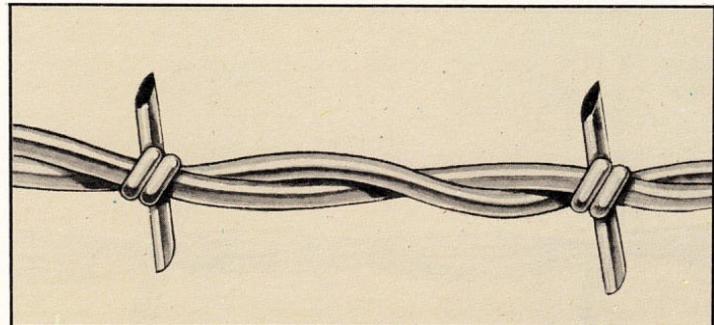
STACHELDRAHT

Stacheldraht spielte bei der Entwicklung der amerikanischen Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. Er ermöglichte es den Siedlern, wirksame Zäune um ihr Land zu errichten und so die Rinder am Eindringen in die bebauten Flächen zu hindern.

Die Verwendung von Stacheldraht beim Bau von Zäunen hatte einen enormen Einfluß auf die nordamerikanische Viehzucht. Die Rinderherden konnten die großen Ebenen nicht mehr ungehindert abgrasen, was zu beträchtlichen Streitigkeiten zwischen Landwirten und Rinderzüchtern führte. Bevor der Stacheldraht allgemein in Gebrauch kam, wurden die Zäune häufig aus gezacktem Draht hergestellt, dessen Benutzung nicht zufriedenstellen konnte, weil er durch Belastung und bei kalter Witterung leicht zerriß.

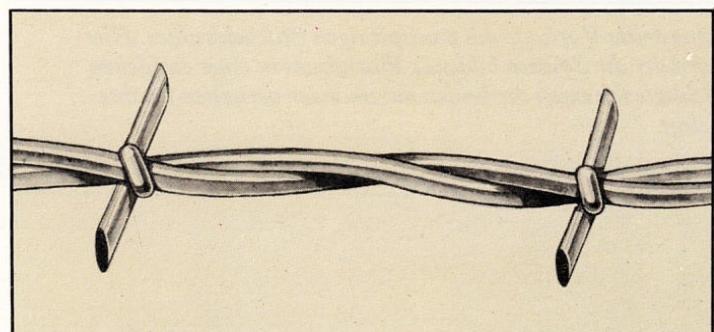
Der Stacheldraht wurde im Jahre 1867 in den USA patentiert. Die erste zur Herstellung von Stacheldraht (der damals auch unter der Bezeichnung 'Rinderdraht' oder 'Teufelsseil' bekannt war) verwendbare Maschine wurde im Jahre 1874 von dem Landwirt Joseph Glidden aus Illinois erfunden. Bis Ende des 19. Jahrhunderts wurden etwa 400 verschiedene Stacheldraht-Typen entwickelt, von denen nur etwa ein Dutzend jemals praktisch eingesetzt wurde.

Unten: Stacheldraht aus hochfestem Stahl (Einzeldraht) wird mit Maschinen hergestellt, die jährlich Tausende von Kilometern Stacheldraht produzieren. Der aus hochfestem Stahl angefertigte Stacheldraht rostet nicht so leicht wie doppelt verseilter, aus Flußstahl hergestellter Stacheldraht.



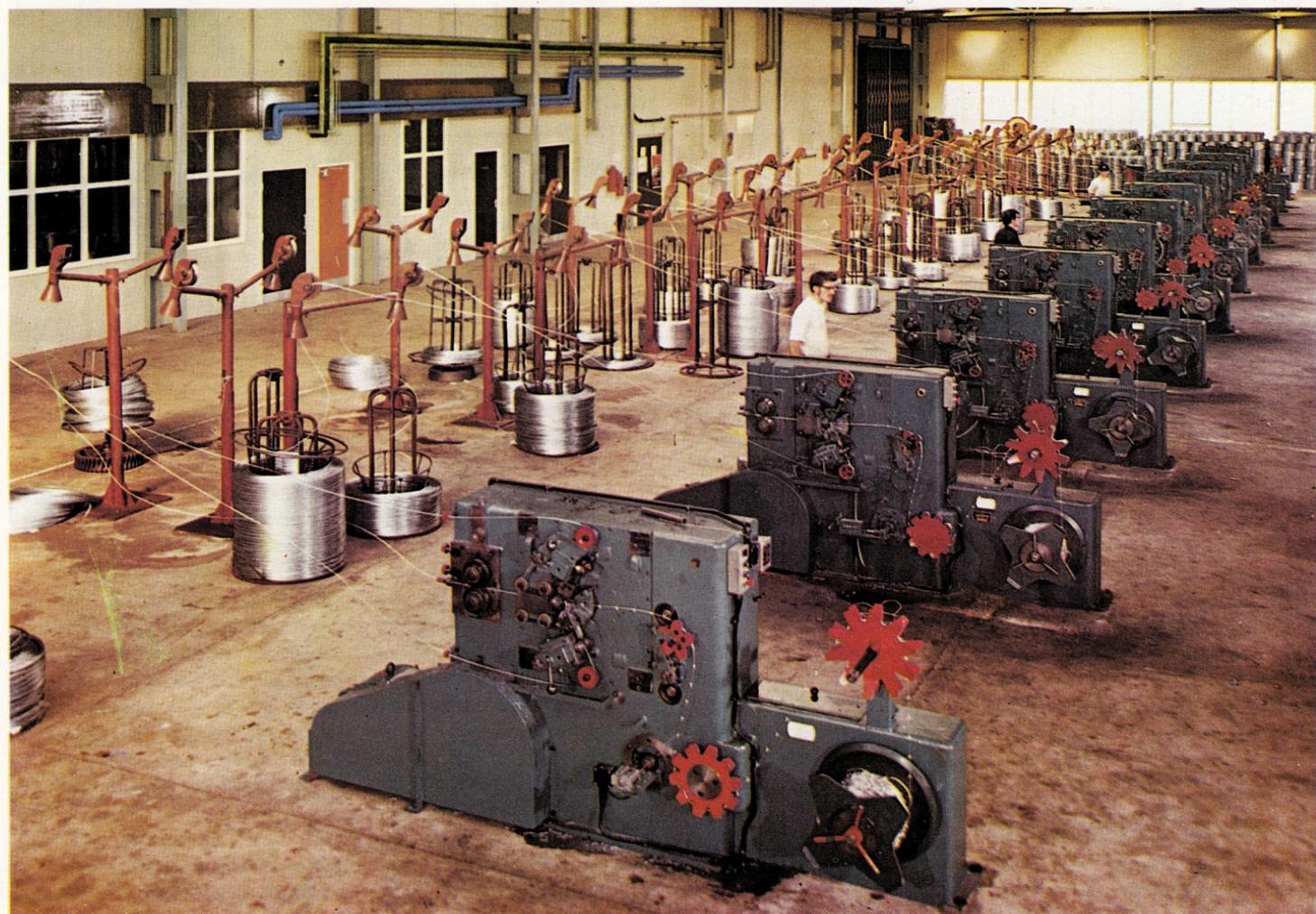
ERIC JEWELL

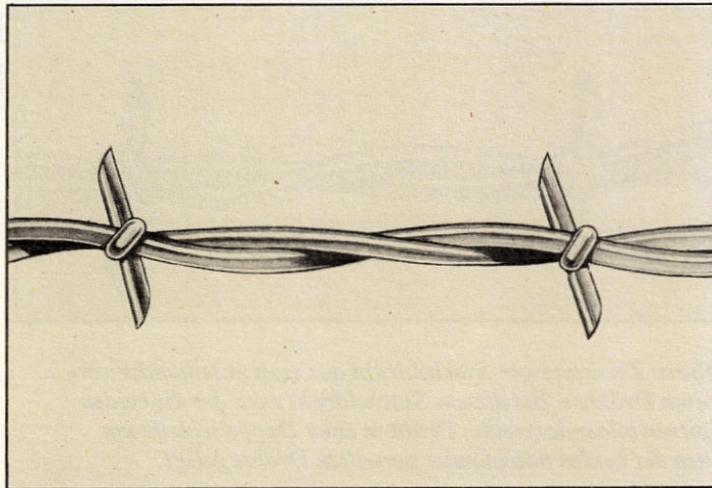
Oben: Zweispitzer Stacheldraht aus zwei miteinander verseilten Drähten. Bei diesem Stacheldraht wird der die beiden Spitzen bildende (runde) Draht in einer Doppelschleife um einen der beiden miteinander verseilten Drähte gelegt.



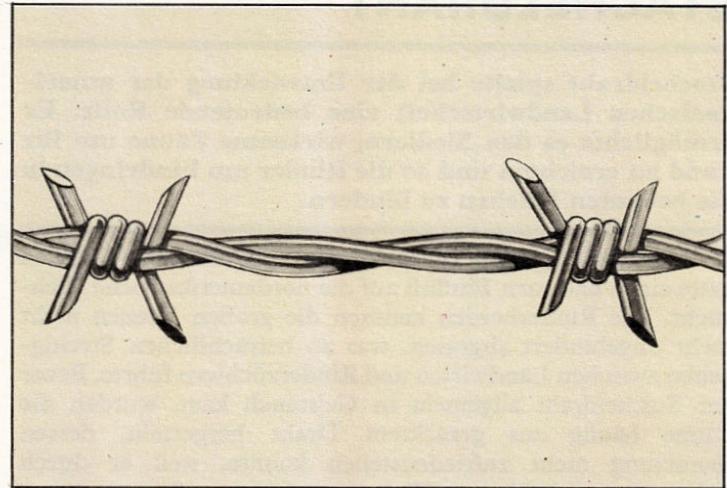
FIRTH CLEVELAND

Oben: Zweispitzer Stacheldraht aus zwei miteinander verseilten Drähten. Hier ist die 'Bestachelung' insofern anders, als der die Spitzen bildende (halbrunde) Draht in einer einfachen Schleife um beide Drähte gelegt wird.

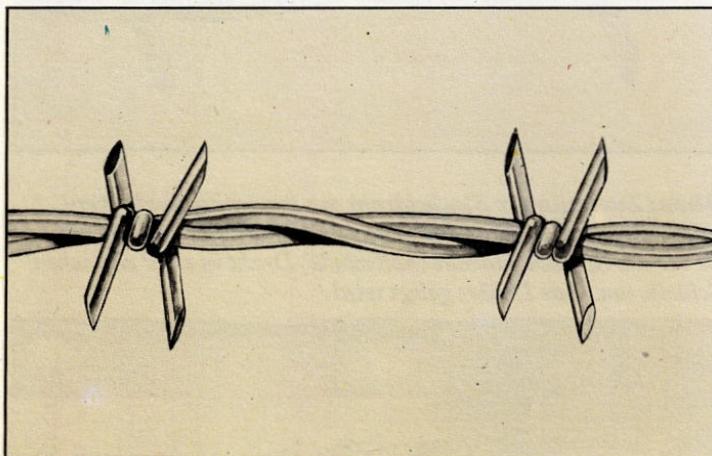




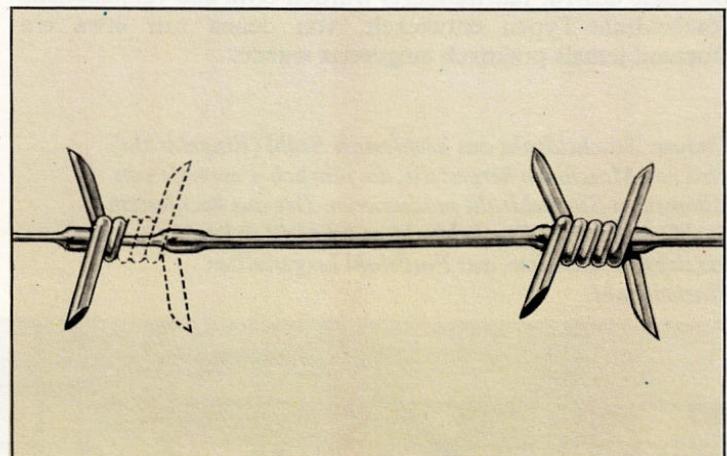
Eine dritte Variante des zweispitzigen Stacheldrahtes. Hier wird der die Spalten bildende Flachdraht in einer einfachen Schleife um einen der beiden miteinander verseilten Drähte gelegt.



Bei diesem vierpunktigen Stacheldraht wurde Einspitzendraht um einen der beiden miteinander verseilten Drähte gelegt, während der andere um den ersten Spitzendraht und um die miteinander verseilten Drähte gelegt wurde.



Vierspitziger Stacheldraht aus zwei miteinander verseilten Drähten. Im Gegensatz zu der oben rechts abgebildeten Herstellungsmethode wurde der die vier Spalten bildende Draht um beide miteinander verseilten Drähte gelegt.



Vierspitziger Stacheldraht aus ovalem Spanndraht. Der die vier Spalten bildende Draht wird zwischen zwei an den vorgesehenen Stellen am Spanndraht angebrachten 'Schultern' um den Spanndraht gelegt, um ein Wegrutschen zu verhindern.

Stacheldraht-Arten

Der moderne Stacheldraht wird aus weichem Stahl (Flußstahl), hochfestem Stahl oder Aluminium hergestellt. Aus Flußstahl oder Aluminium hergestellter Stacheldraht besteht aus zwei miteinander verseilten Drähten, die eine Art Drahtseil bilden, das stärker als ein einzelner Draht ist und in geringerem Maße von Temperaturänderungen beeinflußt wird. Aus hochfestem Stahl hergestellter Stacheldraht besteht aus einem einzelnen Draht mit rundem oder ovalem Querschnitt, dessen Stacheln (Spitzen) entweder um den Spanndraht herumgequetscht oder an ihm angeschweißt sind. Ein typischer, aus Flußstahl hergestellter Stacheldraht besteht aus zwei miteinander verseilten Einzeldrähten mit einem Durchmesser von 2,5 mm, um die zwei- oder vierzackige, aus 2,0 mm dickem Draht hergestellte Spitzen von 12,7 mm Länge im Abstand von jeweils 8,5 cm herumgelegt sind. Die benutzten Stahldrähte sind zum Schutz gegen Korrosion und Rost verzinkt.

Herstellungsverfahren

Die zwei zu verseilenden Einzeldrähte werden auf einer Seite in die Fertigungsmaschine eingeführt. Auf der anderen Seite kommen sie verseilt, mit Spitzen versehen und auf eine Rolle

gewickelt heraus. Der zur Herstellung der Spitzen verwendete Draht wird von den Seiten her in die Maschine eingeführt. Zur Herstellung von Stacheldraht mit zwei Spitzen wird der hierzu verwendete Draht von einer Seite und zur Herstellung von Stacheldraht mit vier Spitzen von beiden Seiten der Maschine aus eingeführt. Während die verseilten Drähte in der Maschine festgehalten werden, drehen Wickelköpfe die zur Herstellung der Spitzen benötigten Drähte um den verseilten oder einzelnen Spanndraht (je nach Art des herzustellenden Stacheldrahtes). Anschließend werden die Spitzen von Messern, die zur Herstellung einer scharfen Spitze diagonal durch den Draht geführt werden, auf die richtige Länge zugeschnitten. Danach wird der Spanndraht um die erforderliche Länge weitergeführt, damit das nächste Spitzenpaar um ihn herumgedreht werden kann. Bei diesem automatisch verlaufenden Vorgang wird der fertige Stacheldraht auch gleichzeitig in Längen von 400 m oder nach Gewicht bis zu 50 kg auf (normalerweise aus Stahldraht hergestellte) Rollen gewickelt.

Stacheldraht wird nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch zur Herstellung von Sicherheitszäunen und für militärische Zwecke — in lang auseinandergezogenen Rollen als Hindernis oder 'Verhau' — benutzt.

STAHLERZEUGUNG

Mehr als 1 Million Tonnen Stahl wird pro Tag weltweit produziert und zu einer Vielzahl von Produkten — von Nähnadeln und rostfreien Messerklingen bis hin zu Weltraumraketen — weiterverarbeitet.

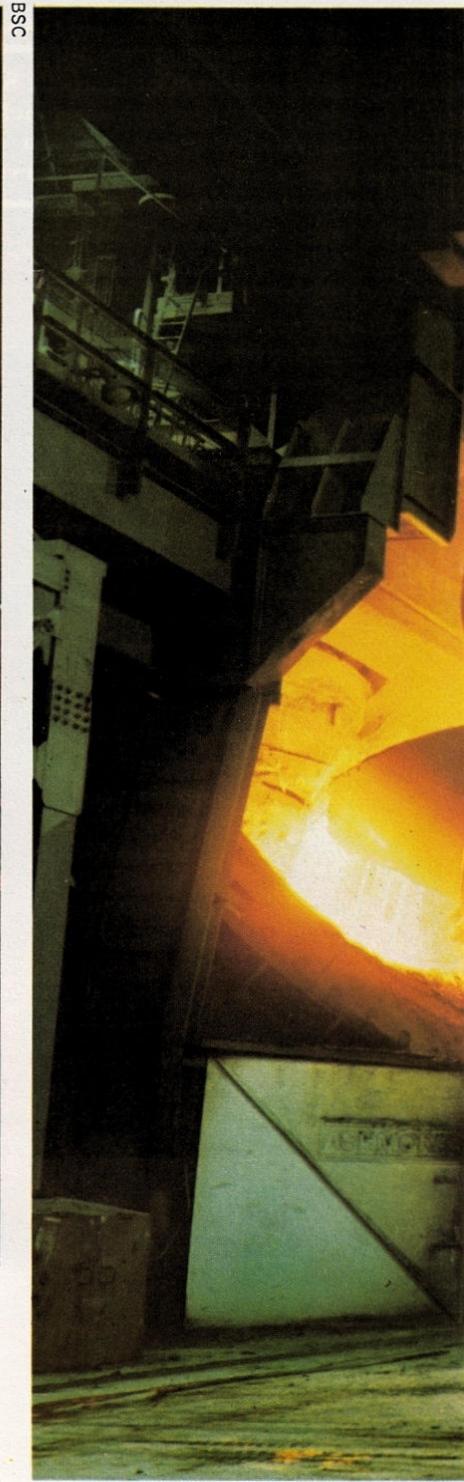
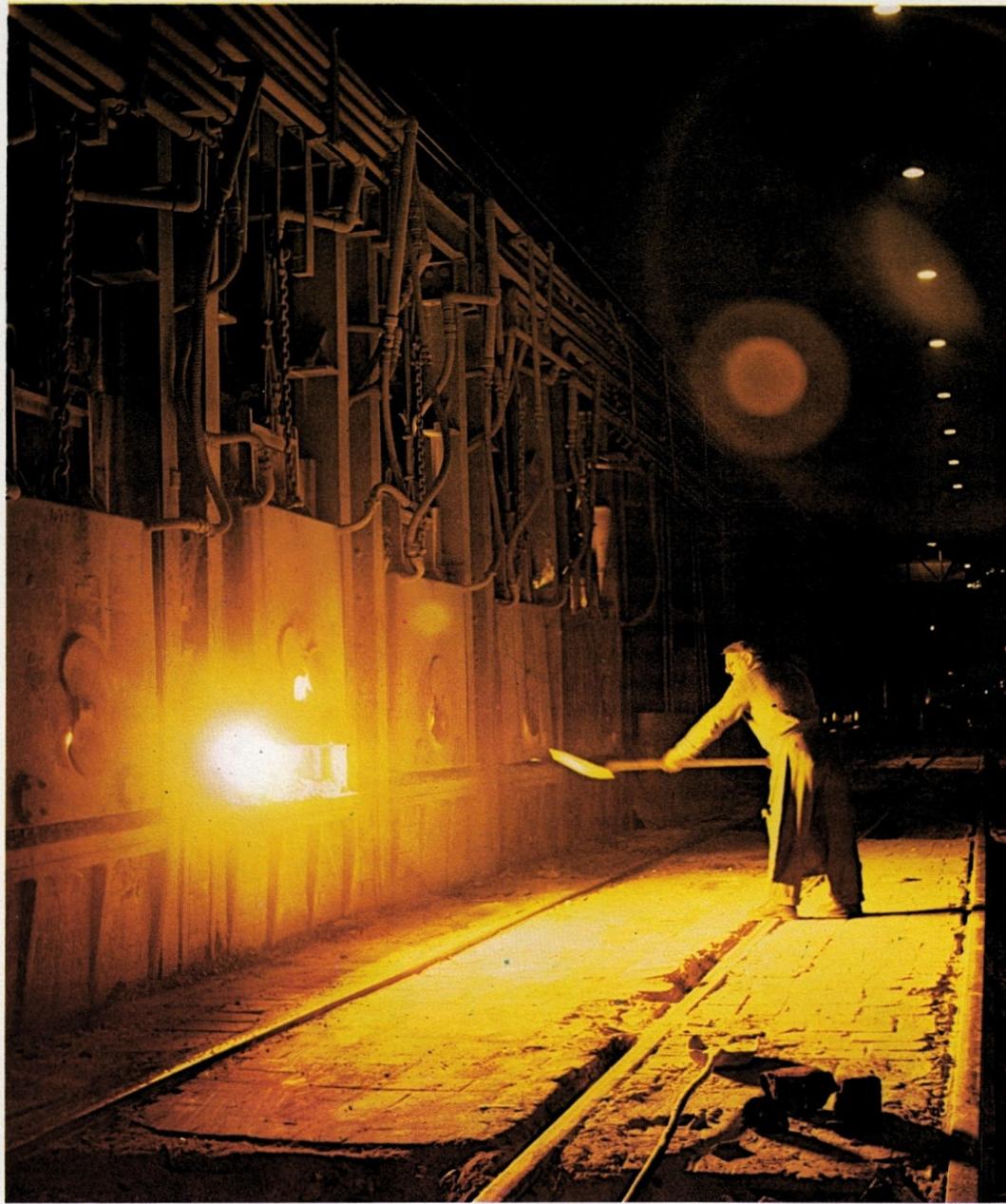


Stahl ist nicht ganz einfach zu definieren, da es viele verschiedene Sorten mit unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlichen Eigenschaften gibt. Grob gesagt handelt es sich bei Stahl um eine LEGIERUNG aus EISEN und KOHLENSTOFF, wobei der Kohlenstoffgehalt 1,7% nicht überschreiten darf und in der Regel nur etwa 0,2% bis 0,3% beträgt. Der Kohlenstoff verleiht dem Stahl seine Härte. Andere Zusätze dienen der Erzielung spezieller Eigenschaften wie leichter Bearbeitbarkeit, Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Wärme, Korrosion oder Chemikalien.

In einem modernen Stahlwerk wird geschmolzenes Eisen direkt aus dem Hochofen zu den Konvertern befördert.

Geschichte

Daß Kohlenstoff Härtbarkeit verleiht, wußte man schon vor Jahrtausenden, doch bis Mitte des 18. Jahrhunderts gab es kein dem Stahl vergleichbares Material. Im Jahre 1740 erfand der englische Uhrmacher Benjamin Huntsman (1704 bis 1776) ein Verfahren zum Schmelzen von kohlenstoffhaltigem



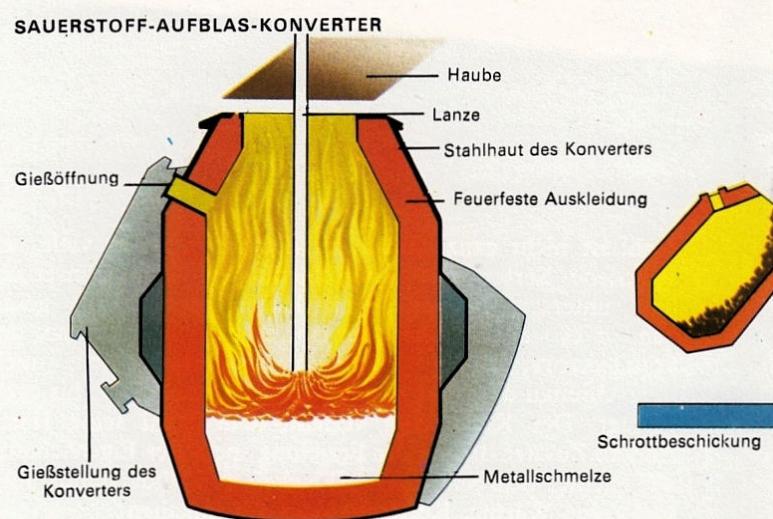
Oben: Siemens-Martin-Ofen. Der muldenförmige Herd wird mit Schrott und Kalk und zusätzlich mit geschmolzenem Eisen beschickt. Anschließend wird die Chargenoberfläche mit Flammen aus einem Gas- oder Ölbrenner beblasen.

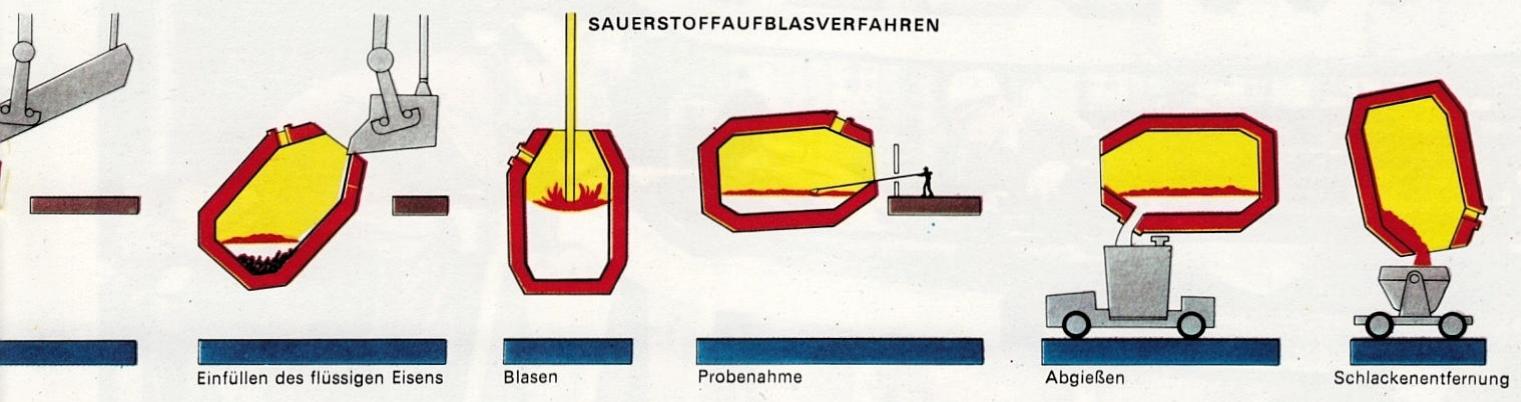
Rechts: Geschmolzenes Eisen wird in einen Sauerstoff-Aufblas-Konverter gegossen, der eine Kapazität von 300 t hat und in der Stahlerzeugung führt.

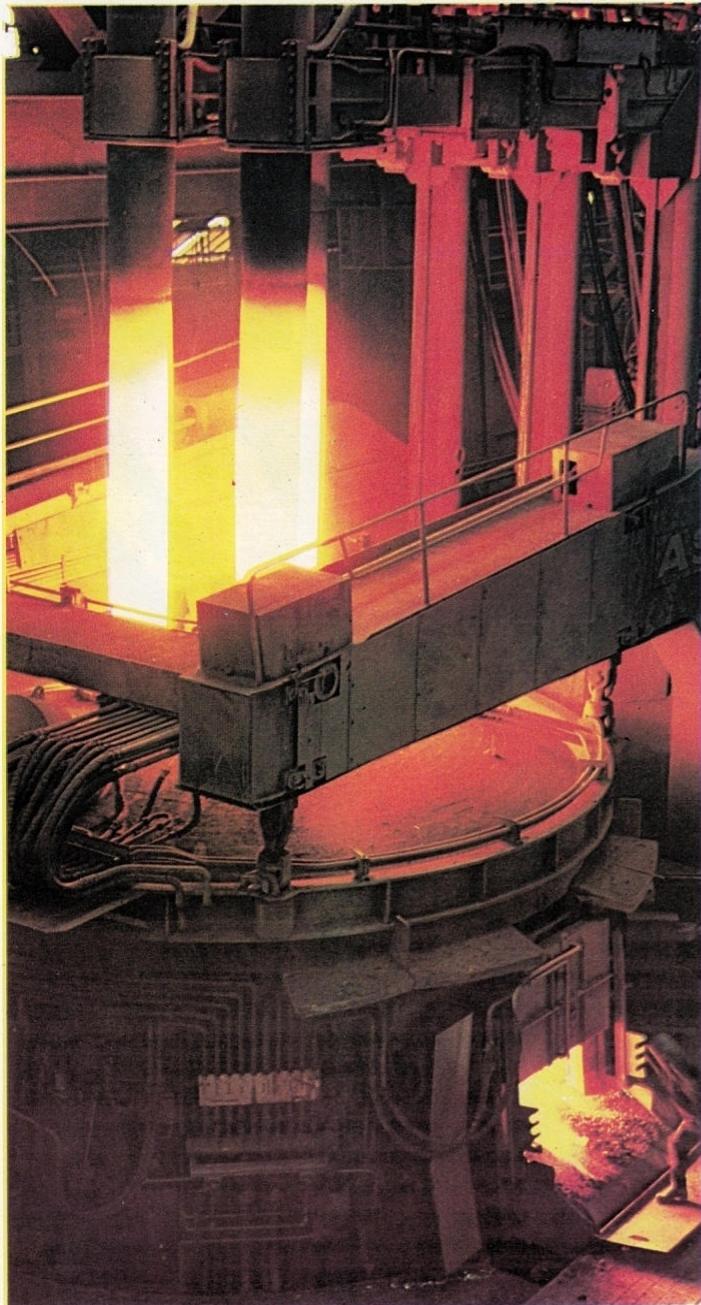
Rechts unten: Die Hauptstadien des Sauerstoffaufblasverfahrens. Der Sauerstoff-Aufblas-Konverter wird mit Schrott und daran anschließend mit Flüssigeisen beschickt und zum Aufblasen des Sauerstoffs aufgerichtet. Nach dem Abgießen der fertigen Schmelze in eine Gießpfanne kippt man den Konverter mit seiner Hauptöffnung nach unten, um die Schlacke zu entfernen. Stahl wird heute überwiegend auf diese Weise erzeugt.

Schweißeisen und erzielte damit einen in seiner Zusammensetzung relativ gleichmäßigen Stahl. Dieser erste flüssige Stahl (Tiegelstahl) konnte jedoch nur in kleinen Mengen hergestellt werden, weshalb sein Einsatzbereich begrenzt war.

Im Jahre 1856 ermöglichte Sir Henry Bessemer (1813 bis 1898) mit der von ihm erfundenen Bessemerbirne (Konverter) die Massenproduktion von Stahl. Im Jahre 1857 entwickelte Wilhelm von Siemens (1823 bis 1883) zusammen mit den Brüdern Martin ein weiteres Stahlerzeugungsverfahren, das



**SAUERSTOFFAUFBLASVERFAHREN**

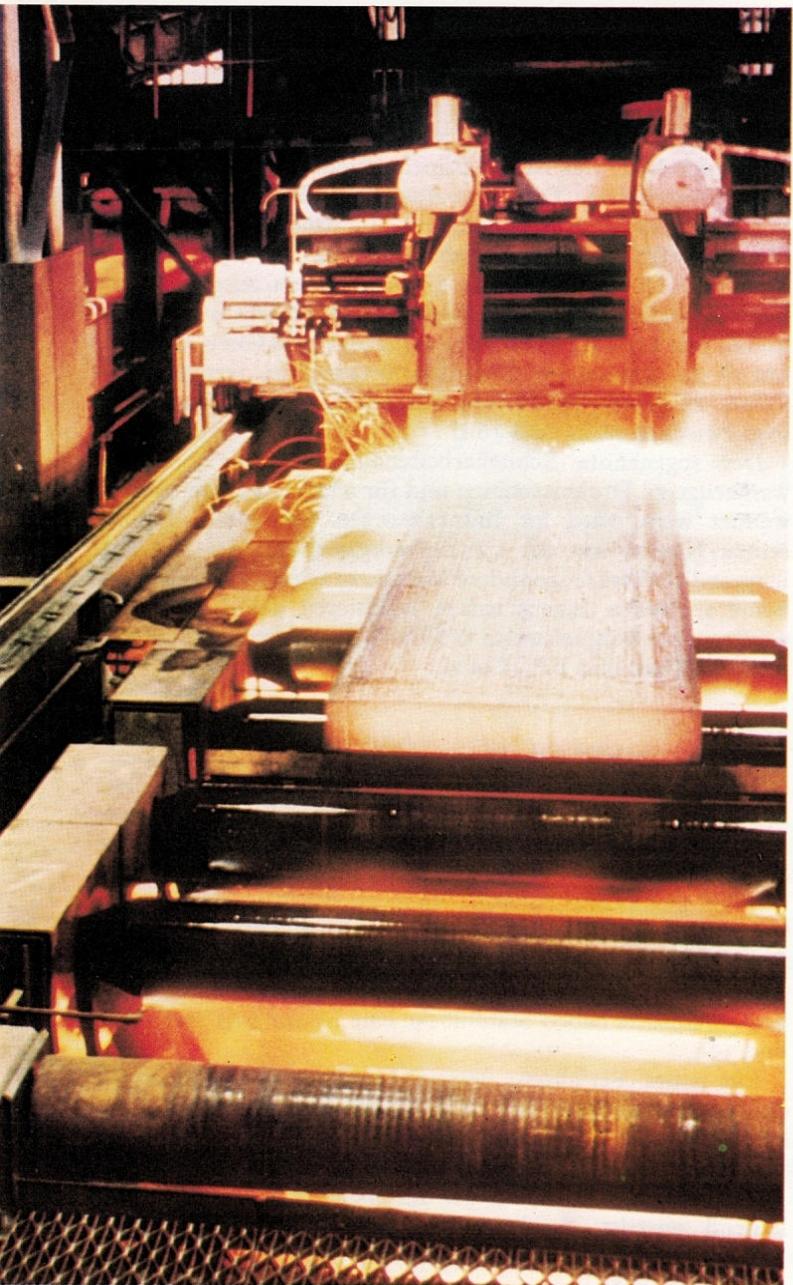


Links: Lichtbogenofen. Der Ofen wird mit kaltem Schrott und Flussmitteln beschickt. Dann wird die Haube geschlossen und die drei Elektroden werden abgesenkt. Der Strom wird eingeschaltet und der entstehende Lichtbogen liefert die zur Stahlerzeugung erforderlichen hohen Temperaturen.

Rechts: Eine Stahlbramme verläßt die Stranggußanlage. Flüssiger Stahl wird einer wasergekühlten, vertikalen Form zugeführt und der nach dem Abkühlen erstarrte Stahl wird durch Walzen abgezogen. Schneidbrenner schneiden den Endlosblock auf die gewünschten Längen zu.

Unten: Die im Stahlverbrauch führenden drei Industriezweige sind das Transportwesen (wie Schiffsbau, Automobilherstellung und Eisenbahnbau), das Bauwesen (z.B. Brückenbau), und der Maschinenbau (z.B. Herstellung von Maschinenwerkzeugen). Die Gesamtproduktion von Stahl auf der Welt ist in diesem Jahrhundert drastisch gestiegen. Die jährliche Gesamtmenge in den siebziger Jahren war etwa sechsmal so hoch wie in den dreißiger Jahren. Die Abbildung zeigt eine 25-Tonnen-Presse (auch aus Stahl hergestellt), die zum Formen von Autounterbauteilen aus Stahlblech verwendet wird.





Siemens-Martin-Verfahren. Diese beiden Verfahren führten zu einer raschen Weiterentwicklung des Stahls auf Kosten des Schweißeisens, das heute nur noch in sehr geringen Mengen produziert wird. Im Jahre 1868 wurde von R. F. Musket (1811 bis 1891) der erste echte legierte Stahl mit einem Wolframgehalt von 7% auf den Markt gebracht.

Das Bessemer-Verfahren wird heute nur noch in geringem Umfang angewendet; auch Siemens-Martin-Öfen trifft man immer seltener an. Heute wird Stahl überwiegend nach den sogenannten Sauerstoffaufblasverfahren oder in Elektroschmelzöfen hergestellt, wobei das zugrundeliegende Prinzip bei allen diesen Verfahren das gleiche ist.

Siemens-Martin-Stahl (SM-Stahl)

Stahl wird aus im Hochofen gewonnenem Roheisen hergestellt, das bis zu 3% oder 4% Kohlenstoff und wesentlich geringere Mengen anderer Begleitelemente wie Schwefel, Phosphor, Silicium und Mangan enthält. Kohlenstoff in größeren als den erwähnten Mengen ist im Stahl unerwünscht. Bei manchen Stahlsorten, wie etwa dem Flußstahl, darf der Kohlenstoffgehalt nur 0,25% betragen. Hauptaufgabe jedes Stahlerzeugungsverfahrens ist es deshalb, den Kohlenstoffgehalt auf den erforderlichen Prozentsatz herabzudrücken.

In der Praxis geschieht dies dadurch, daß man das Roheisen zunächst vollständig entkohlt und dem geschmolzenen Stahl nachträglich wieder Kohlenstoff in der gewünschten Menge zusetzt. Die anderen zuvor genannten Begleitelemente sind im Stahl gewöhnlich nicht erforderlich, können jedoch während des Herstellungsprozesses unter Kontrolle gehalten und durch Zugabe von Flußmitteln wie z.B. Kalk leicht entfernt werden.

Zur Entfernung des Kohlenstoffes bedient man sich einer einfachen chemischen Reaktion. Bringt man das Roheisen mit Sauerstoff in Kontakt, reagiert der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff und bildet Kohlenstoffmonoxid, das aus dem Metall entweicht. Im Siemens-Martin-Ofen wird das Eisen erhitzt und feste, sauerstoffreiche Substanzen, z.B. Eisenerz (Eisen-oxid), werden als Sauerstofflieferanten zugeführt. Je nach Bedarf werden noch Flußmittel zugegeben, die sich mit anderen unerwünschten Elementen verbinden. Auf diese Weise wird das Eisen entkohlt. Die anderen unerwünschten Stoffe bilden mit den Flußmitteln eine schmelzflüssige Schlacke, die entfernt werden kann, wenn der Stahl den Ofen verläßt.

Sauerstoffaufblasstahl

Der Siemens-Martin-Ofen arbeitet sehr wirksam, jedoch langsam. Außerdem ist er aufgrund des hohen Brennstoffverbrauches teuer. Deshalb gewinnen bei der Stahlerzeugung großen Stils die sogenannten Sauerstoffaufblasverfahren zunehmend an technischer Bedeutung. Diese Verfahren sind schnell und zudem exotherm, d.h. sie produzieren Wärme, anstatt sie zu verbrauchen. Der Anteil der Sauerstoffaufblasverfahren an der Stahlerzeugung liegt derzeit weltweit bei über 60% und nimmt ständig zu.

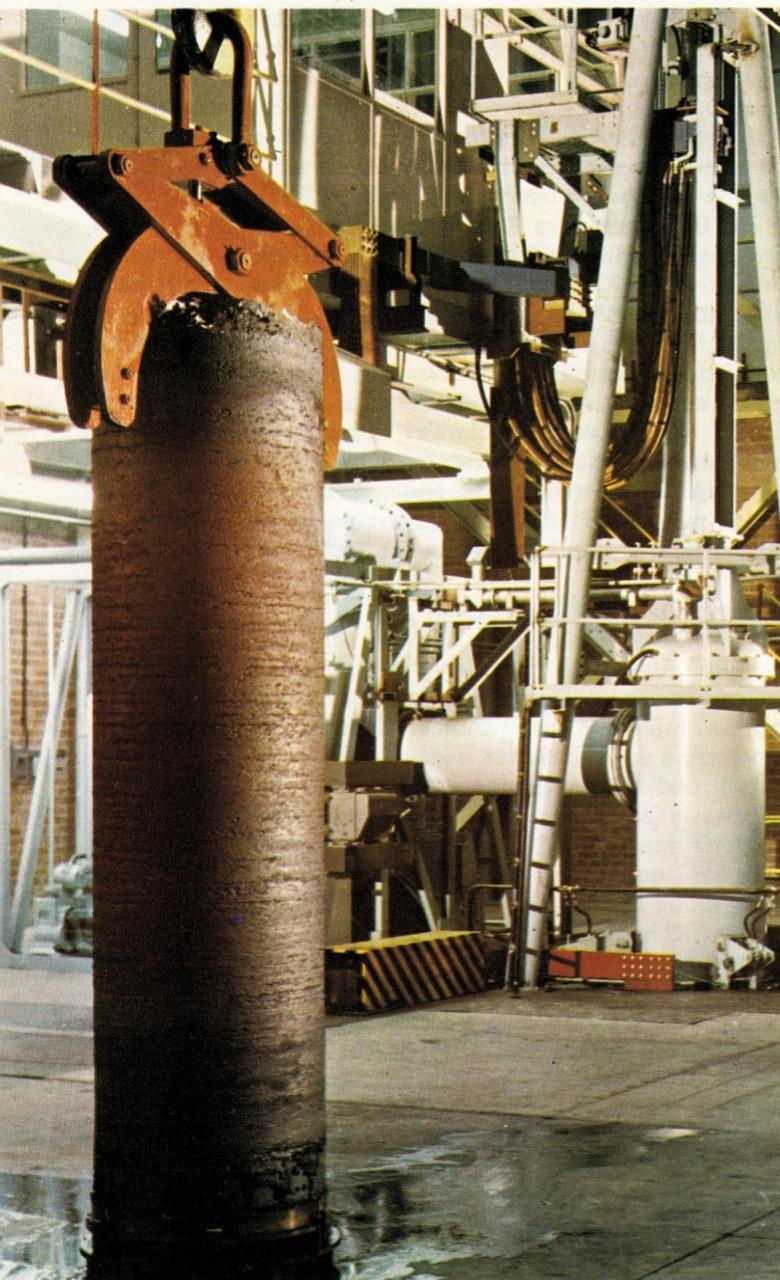
Bei dieser Methode wird das schmelzflüssige Eisen in einen großen Konverter gefüllt, dessen Wände mit feuerfesten Normalsteinen ausgekleidet sind. Der Konverter ist so gelagert, daß er zum Einfüllen des Eisens gekippt und für die nächste Verfahrensstufe wieder aufgerichtet werden kann. Nun wird ein wassergekühltes Rohr (die sogenannte Lanze) so weit in den Konverter hinabgelassen, bis die Spitze unmittelbar über dem geschmolzenen Metall liegt. Anschließend wird durch den Konverter Sauerstoff geblasen. Es kommt zu einer sehr raschen Reaktion zwischen dem Sauerstoff und dem im flüssigen Roheisen enthaltenen Kohlenstoff. Die von dem Sauerstoffstrahl hervorgerufene Bewegung im flüssigen Metall sorgt dafür, daß der Sauerstoff das gesamte im Konverter befindliche Eisen erreicht.

Ein typischer, beim Sauerstoffaufblasverfahren eingesetzter Konverter faßt 300 t flüssiges Roheisen; die eigentliche Stahlerzeugung dauert etwa 30 Minuten. Die exotherme Reaktion liefert dabei so viel Wärme, daß man zur Vermeidung von zu hohen Schmelztemperaturen (etwa 1600°C) kalten Stahlschrott zusetzt. Diese Zugabe von Schrott ist insofern nützlich, als sie eine sinnvolle Wiederverwendung von verschlissenen Altstahlteilen gestattet. Flußmittel, vorzugsweise Kalk, werden je nach Bedarf beigegeben.

Beim Sauerstoffaufblasverfahren entstehen große Mengen an Kohlenstoffmonoxid sowie sonstigen Rauchgasen. Diese werden unter einer über dem Konverter angebrachten Haube gesammelt und durch Lüfter abgeblasen. Das Kohlenstoffmonoxid wird entweder in anderen Teilen des Stahlwerkes als Brenngas weiterverwendet oder abgefackelt. Die anderen Gase werden nach vorheriger Reinigung in die Atmosphäre abgeleitet. Am Ende des Prozesses wird der Konverter zum Abgießen des Stahls gekippt und schließlich einmal ganz umgedreht, um auch die Schlacke auszuschütten. Er ist damit wieder betriebsbereit.

Elektrostahl

Manche Massenstähle und nahezu alle legierten Stähle werden heute in Elektroöfen hergestellt, von denen der Lichtbogenofen



Block aus umgeschmolzenem Metall, der aus dem Vakuum-Lichtbogenofen im Hintergrund stammt. Dieses Verfahren ähnelt dem ESU-Verfahren, doch wird hier der Lichtbogen in einem Vakuum zwischen dem Stahlblock und etwas Stahl auf dem Boden der Form geschlagen. Schlacke ist nicht erforderlich.

die größte Bedeutung hat. Er hat die Form eines Zylinders mit abnehmbarer Haube, durch die drei Elektroden ragen. Die Kapazität solcher Öfen reicht bis zu mehr als 130 t. Der Ofen wird mit einer abgewogenen Charge aus kaltem Schrott und von Zeit zu Zeit etwas kaltem Roheisen beschickt. Nach dem Schließen der Haube wird ein Lichtbogen erzeugt. Die von dem Lichtbogen erzeugte Wärme reicht aus, die Beschickung in kurzer Zeit zu schmelzen. Durch eine seitliche Öffnung im Ofen werden Flüssmittel und, je nach Bedarf, auch Legierungszusätze zugeführt. Zur Beschleunigung des Prozesses kann zusätzlich Sauerstoff aufgeblasen werden.

Ein typischer Vertreter der Gruppe der legierten Stähle ist der für haushaltsübliche Besteckwaren verwendete rostfreie Stahl. Diese Stahlsorte enthält 18% Chrom und 8% Nickel; diese Legierungszusätze werden der Schmelze zugegeben. Der Lichtbogenofen arbeitet nicht ganz so schnell wie das Sauer-

stoffaufblasverfahren, ist jedoch sehr flexibel und für die Erzeugung von legierten Stählen und Sonderstählen besonders geeignet.

Zur Herstellung bestimmter Sorten höherwertiger legierter Stähle in kleinen Mengen verwendet man häufig auch Induktionsöfen. Das Arbeitsprinzip solcher Öfen ähnelt dem eines elektrischen Transformators, bei dem ein primärer Wechselstrom einen Sekundärstrom induziert. Dieser Sekundärstrom wird im Induktionsofen durch das zu erschmelzende Metall geschickt, das sich in einem feuerfest ausgekleideten Behälter befindet. Die Ofenbeschickung besteht aus kaltem Metall und Legierungszusätzen in genau bemessenen Mengen, um so die gewünschte Zusammensetzung des fertigen Produktes zu gewährleisten. Die Kapazität von Induktionsöfen liegt zwischen 10 kg und 16 t.

Der sogenannte Schnellarbeiterstahl, der für Schneidwerkzeuge an Drehmaschinen und für andere Werkzeuge verwendet wird, wird im Induktionsofen hergestellt. Er hat seinen Namen von der Geschwindigkeit, mit der aus ihm hergestellte Werkzeuge andere Metalle zu schneiden vermögen. Seine speziellen Eigenschaften resultieren aus Legierungszusätzen wie beispielsweise Wolfram. Eine Sorte enthält z.B. 20% Wolfram und 10% Cobalt.

Gießen

Der Stahl verlässt den Ofen in flüssigem Zustand. Relativ kleine Mengen werden zur Herstellung von Stahlgußstücken in Formen gegossen; der größte Teil wird in eine zur Weiterverarbeitung geeignete Form gebracht. Früher geschah dies ausschließlich durch Abgießen des schmelzflüssigen Stahls in schwere gußeiserne Formen, wo er zu Blöcken erstarrte, die sich schmieden oder zu den gewünschten Tafeln, Blechen, Barren oder Stäben auswalzen ließen. Der überwiegende Teil wird auch heute noch auf diese Weise weiterverarbeitet. Je nach Stahlsorte haben Stahlblöcke eine Masse zwischen 50 kg und 30 t.

Ein neues Verfahren, dessen Anteil an der Gesamtproduktion bereits 15% beträgt und ständig zunimmt, ist der kontinuierliche Strangguß, bei dem in eine zunächst unten verschlossene, aber nachher sich öffnende wassergekühlte Kokille gegossen wird, aus der der erstarrte Stahlblock unten laufend austritt, mechanisch abgezogen und mit einem Schneidbrenner automatisch auf die gewünschten Längen geschnitten wird.

Frischen und Umschmelzen

Wenn auch die nach dem Sauerstoffaufblasverfahren oder im Lichtbogenofen hergestellten Stähle den Hauptteil der Weltstahlproduktion ausmachen, gibt es daneben gewisse Stahlsorten, die für Spezialanwendungen wie etwa in der Raumfahrt, der Kernindustrie oder der Petrochemie eine weitere Behandlung erfordern. Diese Stähle werden gewöhnlich im Elektroofen erzeugt und dann zur Entfernung eingeschlossener Gase und unerwünschter Fremdstoffe 'gefrischt' bzw. 'gefeint'.

Eine dabei angewendete Methode ist das Umschmelzen des Stahls im Vakuum. Die während des Schmelzens freiwerdenden Gase werden von Vakuumpumpen abgesaugt, d.h. man erhält einen 'reinen' Stahl. Ein anderes Verfahren von zunehmender technischer Bedeutung ist das sogenannte Elektroschlacke-Umschmelzverfahren (ESU-Verfahren). Mit Hilfe eines Lichtbogens wird das Ende eines in einen Behälter mit speziell aufbereiteter geschmolzener Schlacke getauchten Stahlblockes aufgeschmolzen. Die sich bildenden Tröpfchen wandern durch die Schlacke und werden dabei von Fremdstoffen gereinigt. In einer wassergekühlten Form erstarrt das geschmolzene Metall erneut zu einem Block, der dann in der jeweils gewünschten Weise weiterverarbeitet werden kann.

STAHLKERN- UND STAHLMANTELGESCHOSSE

Die Entwicklung und Einführung von Panzern bei den Streitkräften führte zur Erfindung von panzerbrechenden Abwehrwaffen und entsprechender Munition. Hierbei handelt es sich u.a. um das wuchtunabhängige panzerbrechende Geschoß, das eine Panzerung von 250 mm Dicke durchschlägt.

Waffen der wehrtechnischen Frühzeit, wie z.B. das Panzerabwehrgewehr von Mauser aus dem Ersten Weltkrieg, sowie die während des Zweiten Weltkrieges zum Einsatz gekommenen Panzerabwehrkanonen für 2-‘Pfünder’-Stahlkerngeschosse und 6-‘Pfünder’- sowie 17-‘Pfünder’-Stahlmantelgeschosse unterschieden sich weder in ihrem Zweck noch in ihrer Wirkung. Sie durchschlugen die Panzerung unter Ausnutzung ihrer kinetischen Energie. Diese Geschosse werden als wuchtabhängige Geschosse bezeichnet.

Wuchtabhängige Geschosse

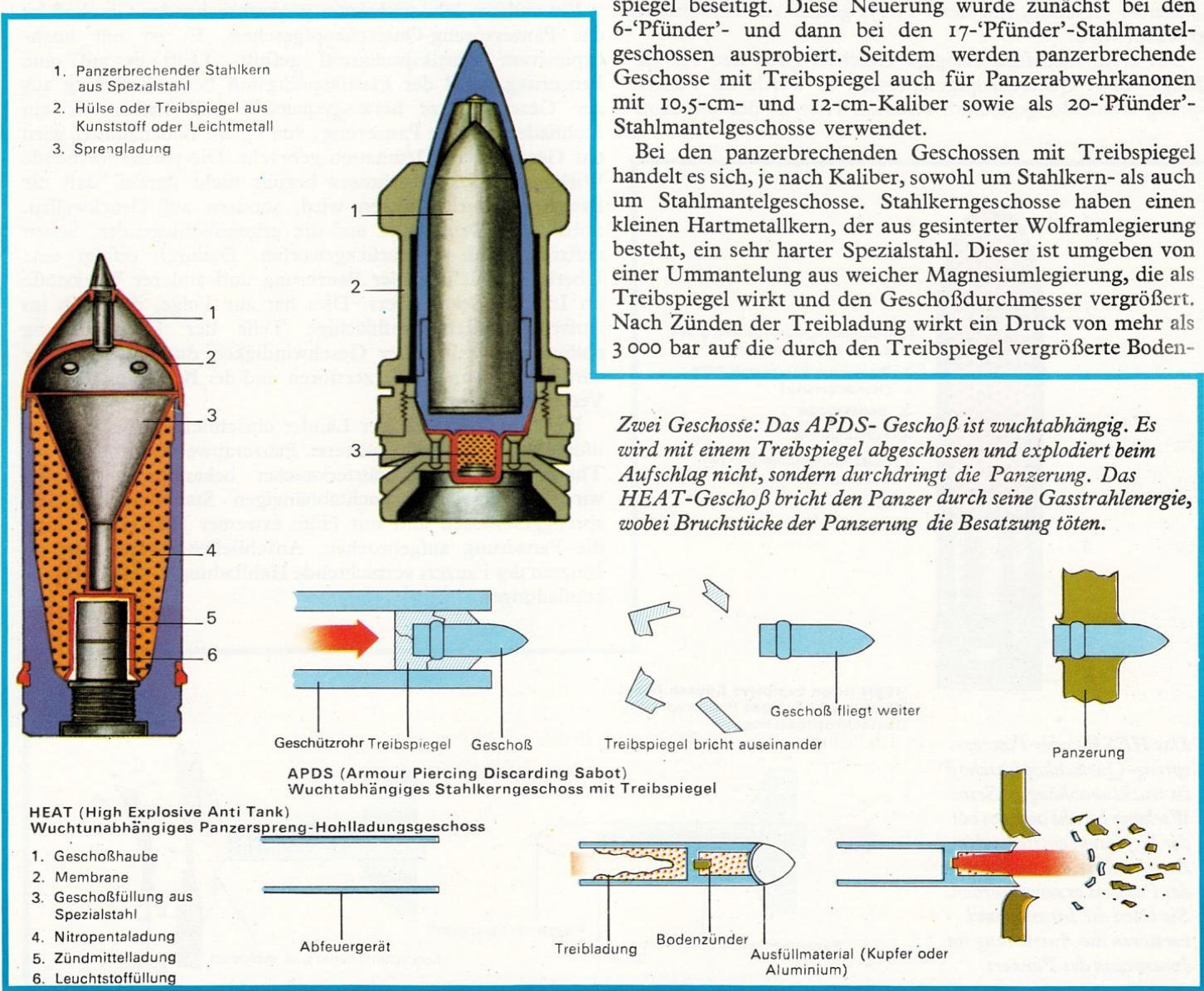
Bei diesen Geschosse wird ihre kinetische Energie ausgenutzt. Unter kinetischer Energie versteht man die Fähigkeit eines sich bewegenden Körpers, Arbeit zu leisten. Ein wichtiger Punkt dabei ist, daß die Energie proportional zur Masse und proportional zum Quadrat der Fluggeschwindigkeit des

Geschosses ist. Mit anderen Worten: Wird die Masse des Geschosses verdoppelt, verdoppelt sich auch die kinetische Energie. Wird die Fluggeschwindigkeit des Geschosses verdoppelt, vervierfacht sich seine kinetische Energie. Daher ist der Konstrukteur von panzerbrechenden Waffen eher an einer Erhöhung der aus der Geschwindigkeit der Geschosse resultierenden kinetischen Energie interessiert.

Um eine optimale Wirkung zu erzielen, muß die kinetische Energie auf einer möglichst kleinen Fläche wirken. Dies setzt ein langes Geschoß mit möglichst geringem Durchmesser voraus, das eine maximale Geschwindigkeit der Masse entwickelt. Solch ein langes und schweres Geschoß kann seine hohe Mündungsgeschwindigkeit aufgrund seines geringen Durchmessers optimal beibehalten. Hingegen müssen im Geschützrohr Vorkehrungen getroffen sein, dem Geschoß eine möglichst hohe Mündungsgeschwindigkeit zu verleihen. Dies geschieht, indem der Durchmesser des Geschosses in seinem letzten Drittel vergrößert wird, damit das Treibgas, das sich beim Verbrennen der Treibladung bildet, eine möglichst große Wirkungsfläche für den Treibdruck findet. Vergleicht man die beiden Forderungen, nämlich geringer Geschoßdurchmesser für hohe Fluggeschwindigkeit und großer Durchmesser der Bodenfläche des Geschosses zur Erzielung einer hohen Mündungsgeschwindigkeit, wird der Widerspruch der beiden Forderungen sichtbar.

Dieser Widerspruch wurde durch die in England erfolgte Entwicklung von panzerbrechenden Geschosse mit Treibspiegel beseitigt. Diese Neuerung wurde zunächst bei den 6-‘Pfünder’- und dann bei den 17-‘Pfünder’-Stahlmantelgeschosse ausprobiert. Seitdem werden panzerbrechende Geschosse mit Treibspiegel auch für Panzerabwehrkanonen mit 10,5-cm- und 12-cm-Kaliber sowie als 20-‘Pfünder’-Stahlmantelgeschosse verwendet.

Bei den panzerbrechenden Geschosse mit Treibspiegel handelt es sich, je nach Kaliber, sowohl um Stahlkern- als auch um Stahlmantelgeschosse. Stahlkerngeschosse haben einen kleinen Hartmetallkern, der aus gesinterter Wolframlegierung besteht, ein sehr harter Spezialstahl. Dieser ist umgeben von einer Ummantelung aus weicher Magnesiumlegierung, die als Treibspiegel wirkt und den Geschoßdurchmesser vergrößert. Nach Zünden der Treibladung wirkt ein Druck von mehr als 3 000 bar auf die durch den Treibspiegel vergrößerte Boden-



fläche des Geschosses. Dadurch erhält das Geschoss eine Mündungsgeschwindigkeit von mehr als 1300 m/s. Beim Zünden der Treibladung bricht der Treibspiegel auseinander, die Fragmente werden jedoch durch die Rohrwandung zusammengehalten, bis das Geschoss die Rohrmündung verlassen hat. Dann lösen sie sich von dem Geschoss, das nun mit hoher Fluggeschwindigkeit auf das Ziel zufliegt. Auf diese Weise wird eine hohe kinetische Energie frei, die sich auf einen kleinen Aufschlagpunkt am Ziel konzentriert und dem Geschoss die panzerbrechende Wirkung verleiht.

Wuchtunabhängige Geschosse

Alle wuchtabhängigen Geschosse müssen mit Hilfe langer und schwerer Geschützrohre abgefeuert werden. Diese eignen sich zwar für Panzer und Panzerabwehrkanonen, nicht aber für Infanteristen, die ihre panzerbrechenden Waffen im Kampfeinsatz und nach dem Kampf mit sich führen müssen. Aus diesem Grunde mußte ein leichtes und tragbares Abfeuergerät entwickelt werden, das panzerbrechende Wirkung hat, jedoch nicht auf dem Prinzip der kinetischen Energie beruht. Es mußte ein Weg gefunden werden, mit anderen Energieformen Panzer 'brechen' zu können. Die Lösung wurde mit dem chemischen Mittel Tetryl gefunden, mit dem die Sprenggeschosse gefüllt wurden und das bei der Detonation freigesetzt wird. Damit ist aber nicht die Explosion eines gewöhnlichen Sprenggeschosses gemeint, die Druckwellen und Splitterwirkung auslöst, sondern ein ganz besonders konstruiertes Geschoss, mit dem Tetryl gezielt zur Anwendung gebracht wird.

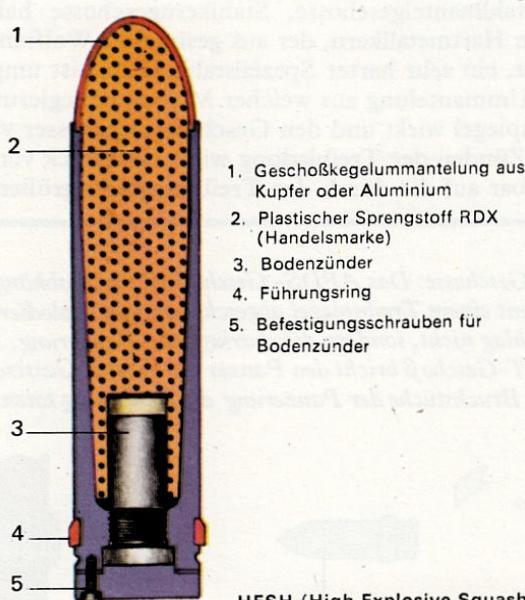
Das erste wuchtunabhängige Geschoss glich den Hohlladungs- bzw. Quetschkopfgeschossen; es wurde als Panzerspreng-Hohlladungsgeschoss bekannt. Hier ist der Geschos-

kegel ausgehöhlt und mit Kupfer bzw. Aluminium ausgefüllt. Beim Aufschlag auf den Panzer wird das Geschoss von einem Bodenzünder gezündet und detoniert. Das entweichende Tetryl wird fokussiert und tritt als Gasstrahl nach vorn aus. Die Teilchen des Gasstrahles, die mit der geschmolzenen Kupfer- bzw. Aluminium-Hohlladung beaufschlagt sind, haben eine Geschwindigkeit von etwa 5500 m/s. Trotz des geringen Gewichtes ist die kinetische Energie der Gasteilchen so groß, daß sie in Verbindung mit der Kupfer- und Aluminium-Hohlladung durch eine Panzerung dringt, die ungefähr dem Dreifachen des Geschoskegeldurchmessers entspricht.

Die Wirkung der Panzerspreng-Hohlladungsgeschosse hängt nicht nur vom Durchdringen der Panzerung ab, sondern auch von der Energie des Gasstrahles, vom Material der Hohlladung und von den Bruchstücken der Panzerung, die mit dem Gasstrahl durch die entstandene Öffnung in den Panzer hineingeschleudert werden. Diese Geschosse töten die Besatzungsmitglieder des Panzers, zerstören Geräte und setzen den Panzer in Brand. Entgegen dem Prinzip der wuchtunabhängigen Geschosse beruht die Wirkung der wuchtunabhängigen Panzerspreng-Hohlladungsgeschosse nicht auf der Aufschlagwucht, die von Gewicht und Fluggeschwindigkeit bestimmt wird, so daß ein von einem Infanteristen mitgeführtes Abfeuergerät für wuchtunabhängige panzerbrechende Geschosse, trotz geringer Fluggeschwindigkeit der Geschosse, eine höchst wirksame Panzerabwehrwaffe darstellt.

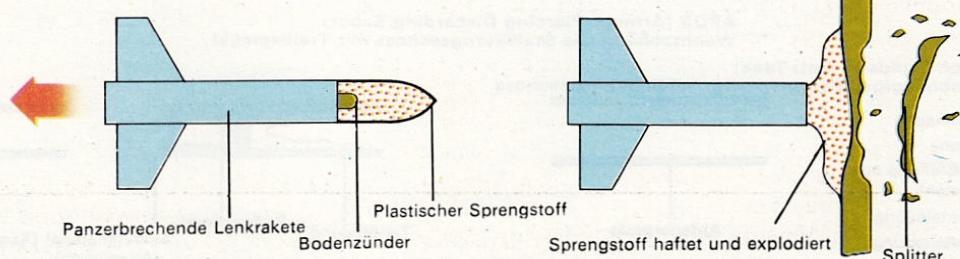
Ein anderes sehr wirksames panzerbrechendes Geschoss ist das Panzerspreng-Quetschkopfgeschoss. Es ist mit hochexplosivem Plastiksprengstoff gefüllt. Trifft es auf eine Panzerung, wird der Plastiksprengstoff beim Aufschlag aus der Geschosspitze herausgequetscht und haftet wie ein Kuhladen auf der Panzerung; von einem Bodenzünder wird das Geschoss zur Detonation gebracht. Die panzerbrechende Wirkung dieses Geschosses beruht nicht darauf, daß die Panzerung durchdrungen wird, sondern auf Druckwellen. Sobald die Druckwelle auf die gegenüberliegenden Seiten auftrifft, wird sie zurückgeworfen. Dadurch erfolgt eine Überbeanspruchung der Panzerung und anderer Werkstoffe im Inneren des Panzers. Dies hat zur Folge, daß sich im Aufschlagbereich großflächige Teile der Innenwandung ablösen und mit hoher Geschwindigkeit durch den Panzer wirbeln und somit alles zerstören und der Besatzung tödliche Verletzungen zufügen.

Die Streitkräfte einiger Länder einschließlich der Sowjetunion haben noch ein weiteres Panzerabwehrsystem, das als Thermo-Hohlladungs-Panzerknacker bekannt ist. Hierbei wird zunächst mit wuchtabhängigen Stahlmantel-Panzer-sprenggeschossen und mit Hilfe extremer Hitzeentwicklung die Panzerung aufgebrochen. Anschließend detonieren im Inneren des Panzers vernichtende Hohlladungen und Quetschkopfladungen.



HESH (High Explosive Squash Head)
Wuchtunabhängiges Panzerspreng-Quetschkopfgeschoss

Das HESH- oder Panzerspreng-Quetschkopfgeschoss ist wuchtunabhängig. Seine Wirkung beruht auf den bei der Explosion entstehenden Druckwellen, die im Inneren des Panzers erzeugt werden. Sie töten die Insassen und zerstören die Ausrüstung im Innenraum des Panzers.



STARKSTROMKABEL

Starkstromkabel sind überraschend kompliziert aufgebaut. Neben einem schützenden Außenmantel besitzen die Kabel mehrere Schichten Isoliermaterial. Bei einigen Kabelarten werden verbleibende Leerräume mit Öl aufgefüllt. Dadurch kann sich das Kabel bei starker Erwärmung ausdehnen, ohne daß ein elektrischer Durchschlag erfolgt.

Nur in der Bundesrepublik Deutschland unterliegen Leitung und Kabel hinsichtlich Aufbau und Verlegung gewissen Unterscheidungsmerkmalen. Die Leitung — oder besser Freileitung — dient dem überirdischen Transport elektrischer Energie zu Verbraucherschwerpunkten. Sie wird dort für den Verbraucher auf wirtschaftliche Werte heruntertransformiert. Freileitungen bestehen überwiegend aus blanken Aluminiumleiterseilen, aus Stahl oder aus einer Kombination beider Werkstoffe.

Unter einem Kabel versteht man einen oder mehrere elektrische Leiter, die voneinander isoliert sind und innerhalb einer schützenden Ummantelung liegen. Einen einzelnen isolierten Leiter bezeichnet man auch als Ader. Der Leiter einer Ader besteht aus Aluminium- oder Kupferdrähten, die oftmals miteinander verdrillt sind. Dadurch erhält man eine größere Flexibilität, als sie ein einzelner Leiterdraht entsprechender Dicke mit ähnlicher Strombelastbarkeit bietet.

Bisher war Kupfer das klassische Leitermaterial. Durch den Preisanstieg des Kupfers in den vergangenen Jahren wird in immer stärkerem Maße Aluminium als Leitermaterial eingesetzt. Damit das Aluminiumkabel den gleichen elektrischen Widerstand aufweist wie das Kupferkabel, muß ein Aluminiumleiter einen über 1,6mal so großen Querschnitt wie ein Kupferleiter aufweisen. Das Gewicht eines Aluminiumkabels hingegen ist für gleiche Strombelastung niedriger.

Verteilungsnetze

Die von der Generatorstation zur Verfügung gestellte elektrische Energie wird mit Hilfe von Freileitungen als Hochspannung über weite Strecken transportiert. Hochspannungsmaste tragen die Leiterseile. Die Leiterseile bestehen aus stahlummanteltem Aluminium und besitzen keine Isolation. Die elektrische Trennung zwischen dem Metallmast und den Leitungen wird über kettenartig angeordnete Isolatoren vorgenommen. Verteilungsnetze dieser Art sind für Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom) ausgelegt. Eine Freileitung kann aus Einfach-, Doppel- oder manchmal auch aus Mehrfachleitungen bestehen.

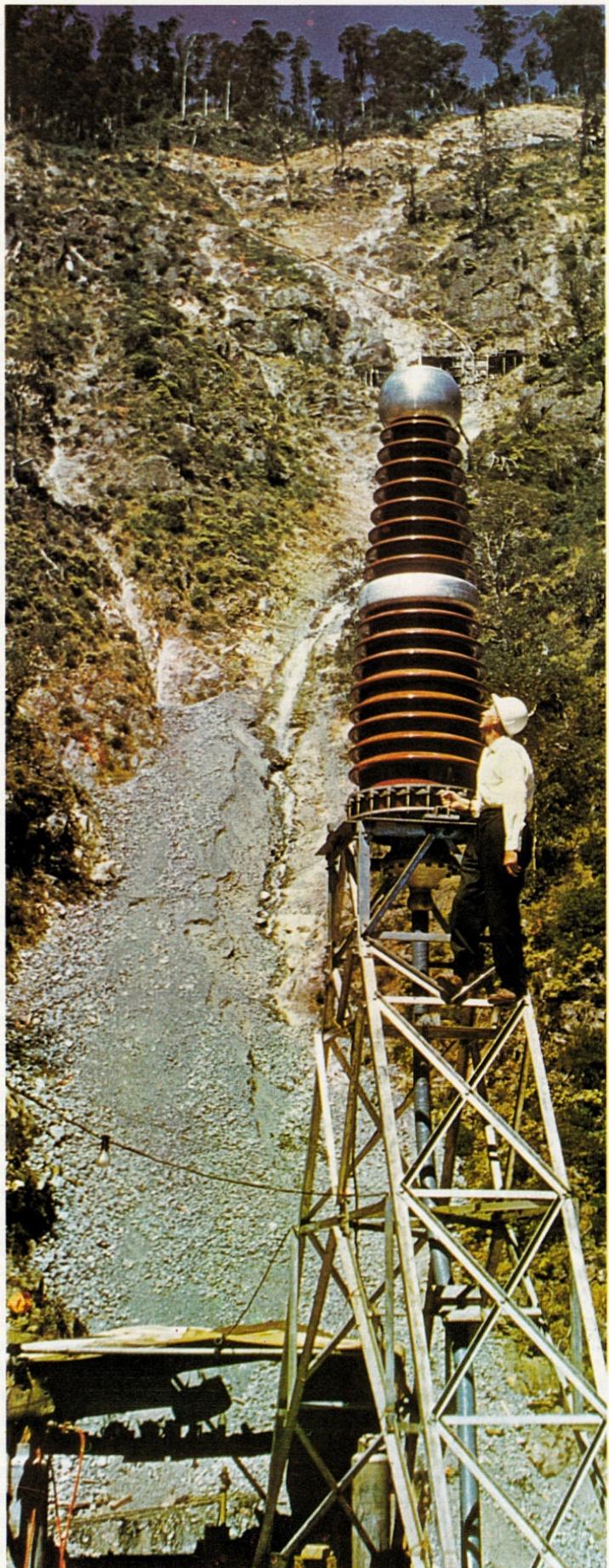
Die Einfachleitungen dienen zur Versorgung eines Stromkreises. Die Doppelheiten versorgen zwei Stromkreise, die zu einem Netz gehören und im allgemeinen auf gemeinsamen Masten verlegt werden.

Größe und Höhe der Hochspannungsmasten hängen vom Gelände und der geführten Spannung ab. So können Masten für 110-kV-Leitungen über 27 m hoch sein; bei einer übertragenden Spannung von 380 kV erreichen sie Höhen bis zu 50 m.

In der Bundesrepublik Deutschland vielfach benutzte Hochspannungen sind 110 kV, 220 kV und 380 kV; in den USA 138 kV, 230 kV, 345 kV und seit neuestem sogar 525 kV; in Frankreich arbeitet man mit Hochspannungen von 150 kV, 225 kV und 380 kV.

Die Energie auf den Freileitungen wird in bestimmten Abständen zu Umspannstationen geführt, in denen man eine Umsetzung auf niedrigere Spannungswerte zur Versorgung eines festgelegten Bereiches vornimmt.

Heute lassen sich Versorgungsspannungen bis zu 11 kV unproblematisch in unterirdisch verlegten Kabeln trans-



Oben: Kabelendverschluß einer Hochspannungsleitung in den Snowy Mountains in Australien. Die 16 Wasserkraftwerke dieses Versorgungssystems erzeugen nach Fertigstellung der gesamten Anlage etwa 4 000 MW.

portieren. Auch hier handelt es sich um Dreiphasen-Wechselstromnetze. Die hierzu erforderlichen drei Leiter sind in einem Kabel untergebracht.

Die Isolierung

Die Art der Isolierung für die einzelnen Leiter eines Kabels hängt vom Einsatzbereich und vom Verwendungszweck ab. Früher benutzte man Gummiisolierungen bei Kabeln, die in Gebäudeinstallationen nur niedrige Spannungen zu führen hatten; heute hat sich PVC-Plastikmaterial durchgesetzt. Andere Entwicklungen führten zum Einsatz von Magnesiumpuder als Isoliermaterial. Der Puder wird unter hohem Druck fest um den Leiter verteilt; ein Kupfermantel umschließt diese Anordnung. Man erhält auf diese Weise ein Kabel, das keine Feuchtigkeit durchläßt und sich widerstandsfähig gegen Öl oder Benzin erweist. Magnesiumoxid besitzt gute Wärmeleiteigenschaften, weshalb es zur Wärmeableitung für große elektrische Ströme geeignet ist. Kabel dieser Art lassen sich besonders günstig für industrielle Anwendungen sowie in Kesselhäusern oder ähnlichen Gebäudeanlagen, in denen hohe Temperaturen herrschen, einsetzen.

Sollen Hochspannungskabel unterirdisch verlegt werden, verwendet man als Isoliermaterial ölimprägniertes Papier. Der Leiter wird beim Durchlaufen einer Überlappungsmaschine gedreht und mit einer Reihe Papierlagen umwickelt. Für sehr hohe Spannungen müssen mehr als 200 Lagen um den Leiter gewickelt werden. Nachdem jeder einzelne Leiter isoliert ist, wird die gesamte Anordnung nochmals in mehrere Papierschichten gewickelt. Auf diese Schicht folgt ein Blei- oder Aluminiummantel, der über das Kabel gezogen wird, damit keine Feuchtigkeit eindringen kann. Der Mantel erhält eine Bewehrung aus Stahlband oder Stahlflachdraht und einen weiteren Schutz durch einen von außen aufgepreßten PVC-Mantel (PVC = Polyvinylchlorid).

Ölgefüllte Kabel

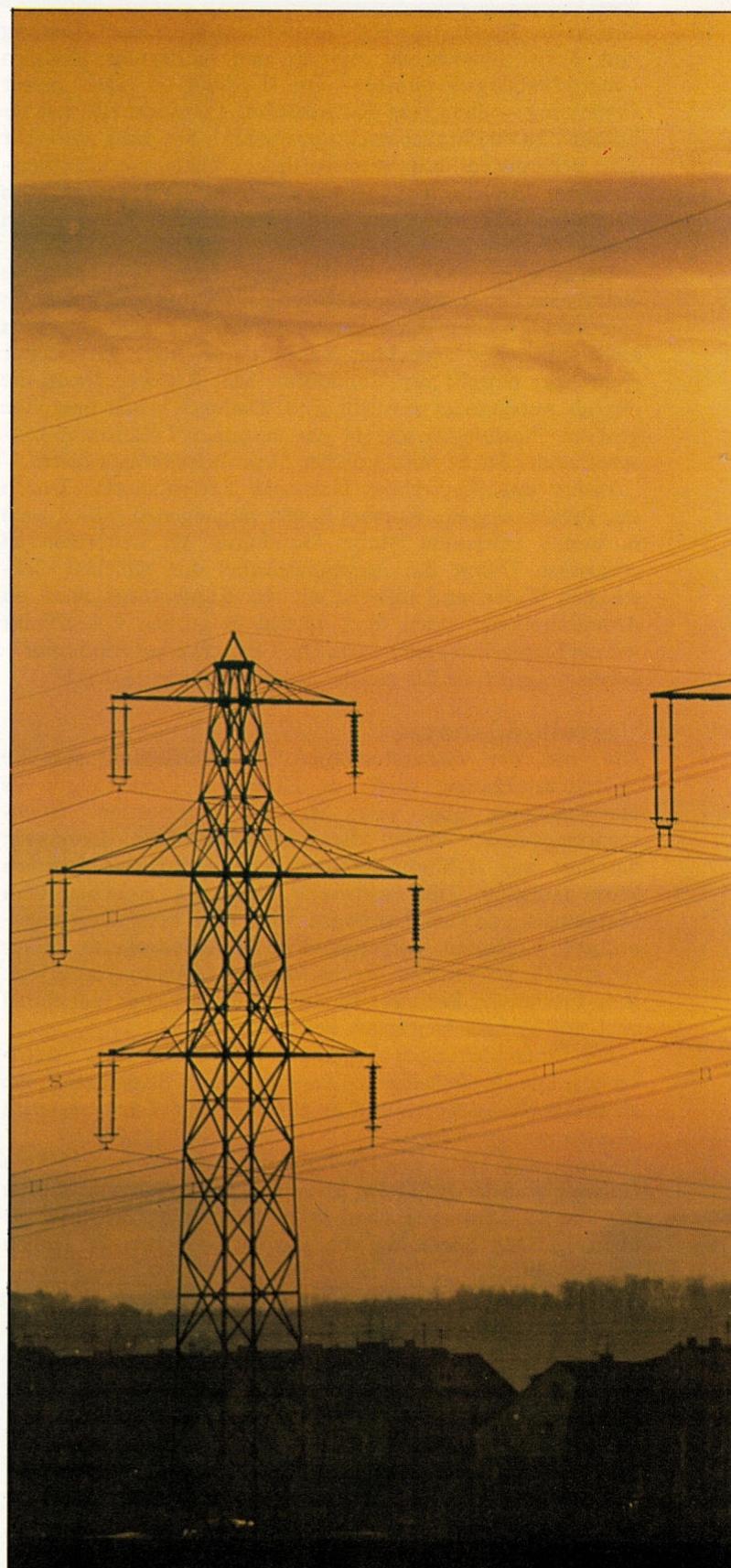
Kabel, mit deren Hilfe große Energien übertragen werden, unterliegen erheblichen Wärmeverlusten, die als Folge der zu übertragenden Ströme auftreten. In Zeitabschnitten geringer Belastung kühlen sie sich ab, und es besteht die Gefahr, daß aufgrund der verringerten Wärmewirkung im Kabel Hohlräume innerhalb der Isolierwicklungen entstehen. Die Hohlräume sind Schwachstellen, die aufgrund der mit dem Strom verbundenen elektrischen Feldstärke einen Entladungsvorgang einleiten können. Unter diesen Umständen könnte ein Isolationsdurchschlag erfolgen, d.h. das Kabel müßte ersetzt werden. Mit dem Einsatz ölfüllter Kabel wurde dieses Problem überwunden. Das ölfüllte Kabel ist in der Mitte hohl. Durch den Hohlraum zieht sich eine spiralförmige Röhre, die mit einem Isolieröl leichter Viskosität (Zähflüssigkeit) gefüllt ist. Das Öl ist in Richtung der Längsachse frei beweglich und dehnt sich in Abhängigkeit der Temperaturwechsel aus oder zieht sich zusammen. Entlang der gesamten Kabelstrecke befinden sich Behälter — Ölausgleichsgefäß, mit denen die Röhre verbunden ist. Bei Ausdehnung des Öls füllen sich die Behälter, bei Abkühlung fließt das Öl zurück. Auf diese Weise bleibt die Ölprägnierung der Isolierung unter allen Betriebsbedingungen erhalten, die Hohlraumbildung entfällt. Außerdem braucht hier die Papierisolierung unter gleichen Betriebsbedingungen nur halb so dick zu sein. Kabel dieser Art finden Verwendung für Hochspannungen von 30 kV bis 400 kV. Die Eigenschaften sind besonders nützlich als Speisekabel im Eisenbahnbetrieb, da hier das Kabel zu unterschiedlichen Tageszeiten großen Laständerungen unterworfen ist.

Alternativ zum ölfüllten Kabel entwickelte man das gasgefüllte Kabel. Man setzt es vorwiegend in Strecken ein, bei denen beträchtliche Höhenunterschiede überwunden

werden müssen oder bei denen es unpraktisch wäre, Ölreservoir entlang der Strecke einzubauen. Das Kabel ist mit komprimiertem Stickstoffgas gefüllt und wird oft zum Durchqueren von Meeresarmen und Seen eingesetzt.

Rohrkabel

In einigen Gegenden, wo beispielsweise durch Bergbau Absenkungen zu befürchten sind, ist die mechanische Festigkeit des Kabels von großer Bedeutung. Unter diesen Um-



ständen sollte das Kabel in ein Stahlrohr gezogen werden, das mit einer Schutzdecke aus Bitumen und Glasgewebeeinlagen versehen ist. Kommt eine erhöhte Korrosionsgefahr hinzu, überzieht man das Rohr mit einem äußeren Plastikmantel. Die Rohre können mit Stickstoff gefüllt werden. Der Gasdruck auf den eigentlichen Kabelmantel hält die Isolationslagen

zusammen, auch wenn Verschiebungen wegen der Ausdehnung des Kabels bei ansteigenden Temperaturen zu befürchten sind.

Installation von Starkstromkabeln

Starkstromkabel können in einem Graben verlegt, durch Rohre oder Schächte gezogen, in Mulden mit betonierter Oberfläche gelegt werden, auf Masten hängen oder in Tunnelanlagen liegen.

Die Breite und die Tiefe des Grabens, in dem das Kabel verlegt werden sollten, hängt von der Art der Anlage ab. Hochspannungskabel mit 380 kV und darüber werden in Gräben verlegt, die 75 cm breit und 1 m tief sind. Sollen mehrere Kabel verlegt werden, muß der Graben entsprechend größer werden. Kreuzt das Kabel eine Hauptverkehrsstraße, ist es nicht immer möglich, ohne weiteres einen Graben über die gesamte Straßenbreite auszuheben. Man baut dann Schächte oder Rohre und zieht später die Kabel ein.

Muß das Kabel in Schächten verlegt werden, baut man sie gleich gruppenweise auf; nach bestimmten Abständen müssen mannshohe Zugänge geschaffen werden. Über diese Zugänge können die Kabel miteinander verbunden und auch jederzeit überprüft werden. Die geringe Luftsicht, die das Kabel im Schacht umgibt, hat, ähnlich einer Doppelverglasung, eine wärmeisolierende Wirkung. Aus diesem Grunde sind geringere Nennströme bei dieser Verlegungsart zugelassen als bei direkter Erdverlegung.

Bei Kanalanlagen, Eisenbahndämmen und elektrischen Umspannstationen können zur Kabelverlegung Mulden mit betonierter Oberfläche gebaut werden. Hier liegt gewöhnlich nur ein eng begrenzter Raum vor, und zeitlich ist es nicht immer möglich, einen tiefen Graben auszuheben.

Bei den in Gräben gelegten Kabeln muß die durch den Stromfluß im Leiter hervorgerufene Erwärmung über den Erdboden abgeführt werden können. Geschieht dies nicht, entsteht durch die Übertemperatur ein Kurzschluß. Die Mulden müssen rund um das Kabel aufgefüllt werden. Man kann sie auch ungefüllt lassen, allerdings muß dann entlang der Strecke mit Luflöchern für Luftzirkulation gesorgt werden. Als Regel gilt, daß Füllungen bei mehreren zu verlegenden Kabeln zu bevorzugen sind, damit die Wärme besser abgeleitet werden kann.

Kabel, die von Masten geringer Höhe getragen werden, können mit höheren Strömen belastet werden, da die im Kabel erzeugte Stromwärme sofort in die sie umgebende Luft entweichen kann. Diese Verlegungsart findet man oft neben Gleisanlagen.

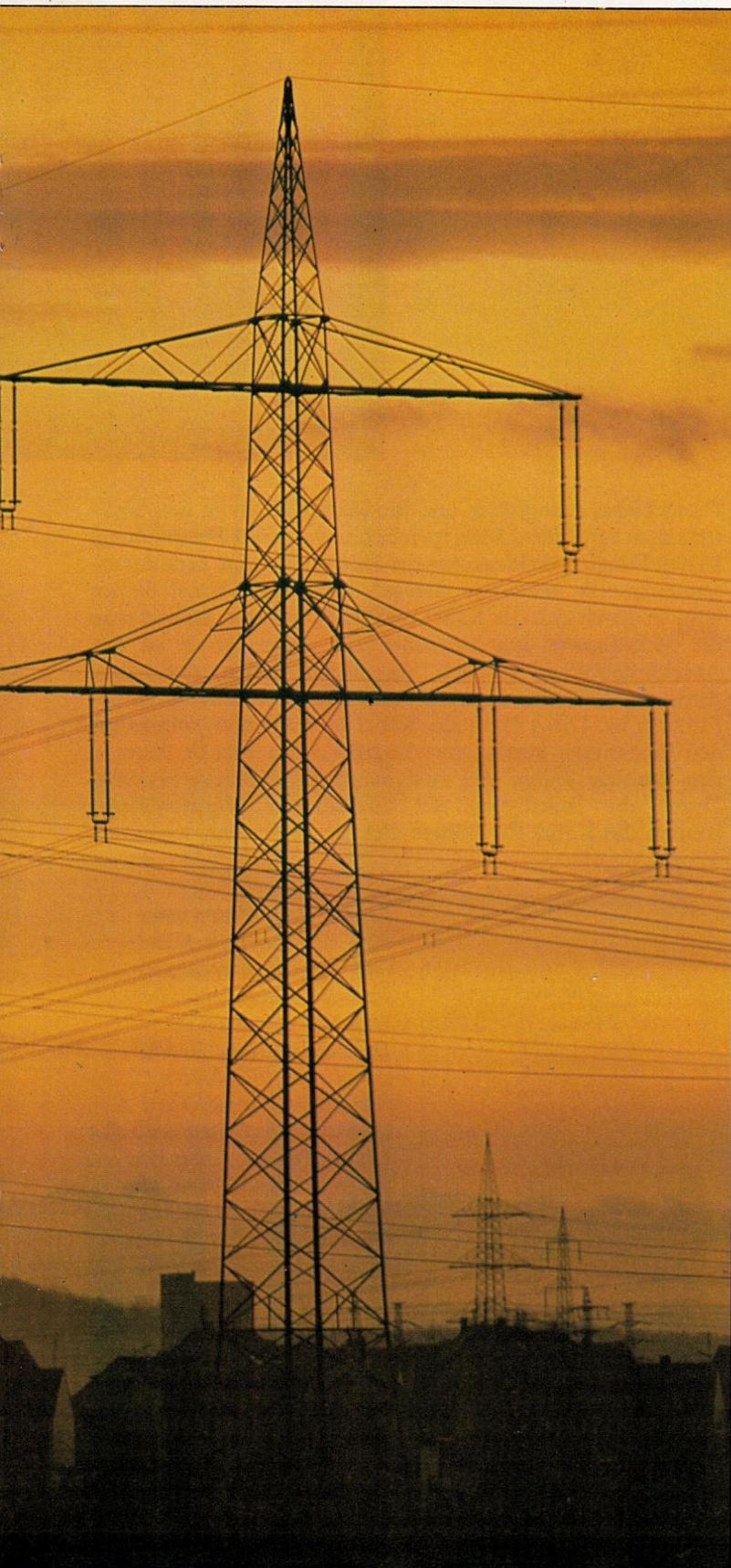
Künstliche Kühlung

Bei elektrischen Strömen über 1 500 A benutzt man in Hochspannungskabeln oft eine künstliche Kühlung. Hierzu werden im Kabelgraben Plastikrohre verlegt, durch die Wasser fließt. In einem Abstand von etwa 4 km sind Wärmetauscher angebracht.

Das durch die Plastikrohre durchfließende Wasser nimmt einen Teil der Wärme auf, wodurch die Kabel vor einer Überhitzung geschützt werden.

Es gibt auch andere Möglichkeiten, Wasser zur Kühlung der Kabelstrecke einzusetzen. In einigen langgestreckten Tunnelanlagen sind beispielsweise 400-kV-Kabel offen in betonierten Mulden verlegt, durch die Wasser fließt. Ohne diese Kühlart brauchte man größere Leiter oder sogar ein zusätzliches Kabel, um den elektrischen Strom aufzuteilen. Die Kabel können auch in Plastikrohre mit großem Durchmesser, durch die Kühlwasser gepumpt wird, eingezogen werden. Auch in aufgefüllte Mulden sind schon wasser gefüllte Rohre mit installiert worden. Zu festgelegten Zeitabschnitten läßt man Wasser in die Füllung fließen, damit sie

Unten: Überlandleitung in der Bundesrepublik Deutschland.



Rechts: Arbeit an einem unter Strom stehenden 11-kV-Kabel. Die benutzten Geräte bestehen aus Fiberglas und die Seile aus Nylon. Durch das Arbeiten an stromführenden Kabeln kann die Versorgung der Verbraucher aufrechterhalten werden. Selbst die Erneuerung eines Leitungsmasts kann durchgeführt werden, ohne die Versorgung zu unterbrechen. **Mitte:** Schweißen einer Verbindungsstelle an einem mit Öl gefüllten Kabel mit drei Adern. Das Leitungsmaterial besteht hier aus Aluminium.

Rechts aussen: Installieren eines 400-kV-Kabels (mit Ölfüllung) in einem Kabeltunnel 12 m unter dem Fluss Severn in England. 400 kV ist die höchste in Großbritannien verwendete Wechselstromspannung für Versorgungsleitungen.

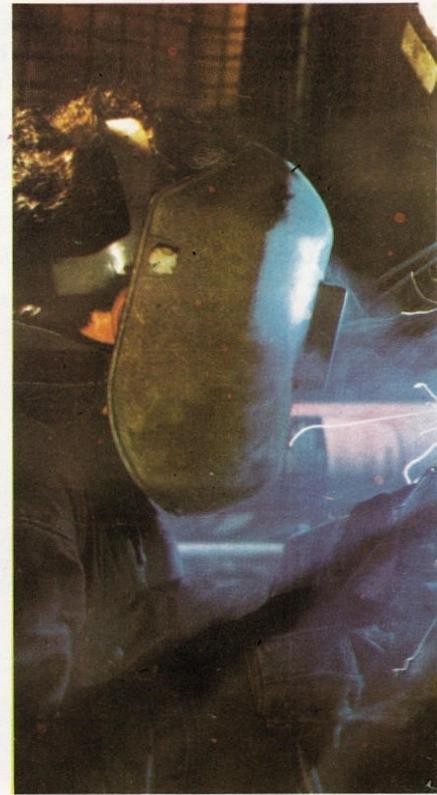
feucht gehalten wird.

Für ölgefüllte Kabel hat man ein Verfahren entwickelt, bei dem das erwärme Öl des Kabels über einen Wärmetauscher in das Kabel zurückgepumpt wird.

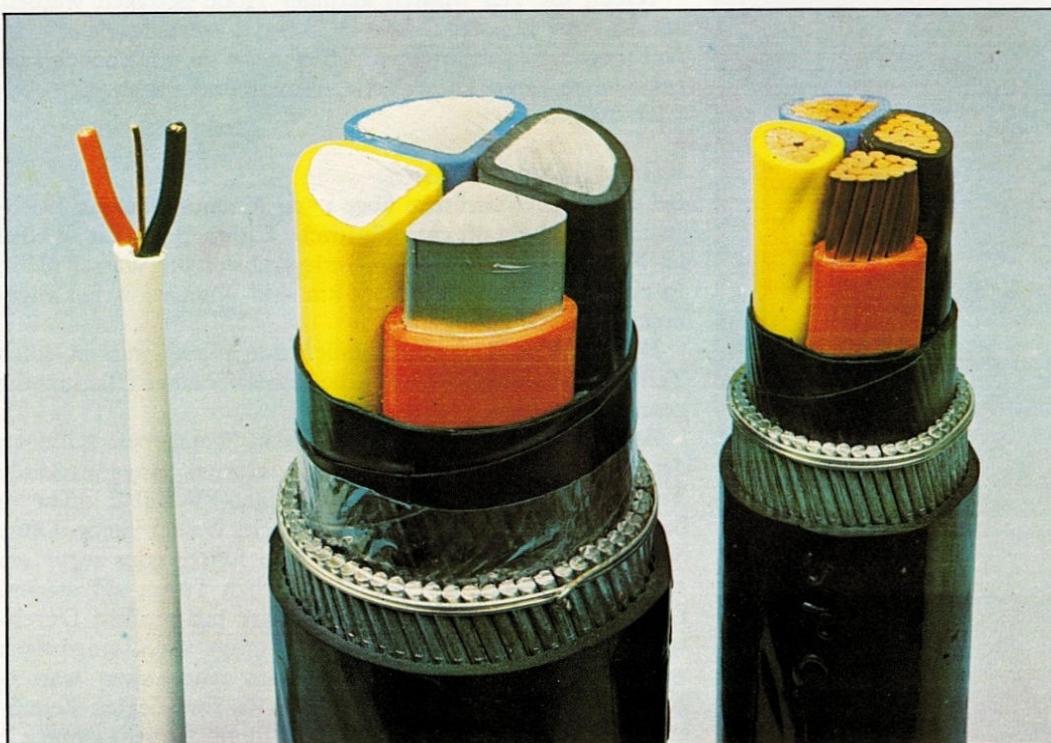
Allen Kühlssystemen ist gemeinsam, daß sie sehr kostenintensiv sind. Man setzt solche Verfahren nur bei der Übertragung sehr hoher Energien ein, also dort, wo bei Hochspannungskabeln die Ersparnis eines zusätzlichen Kabels die Kosten des Kühlssystems gerechtfertigt erscheinen lassen.

Begrenzung der Mantelströme

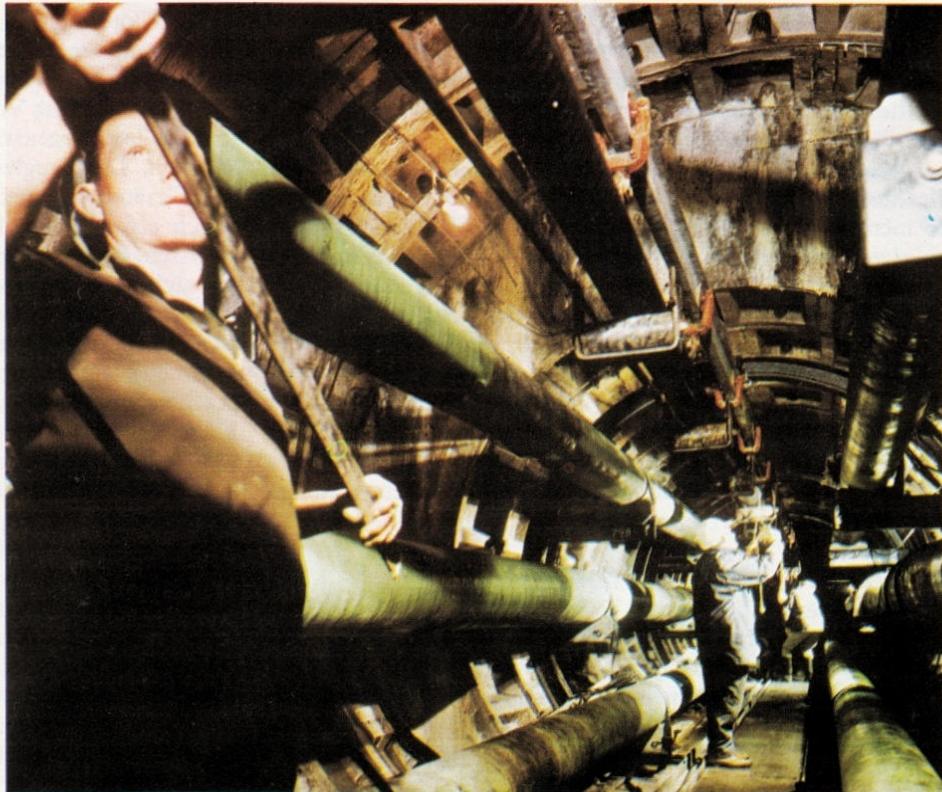
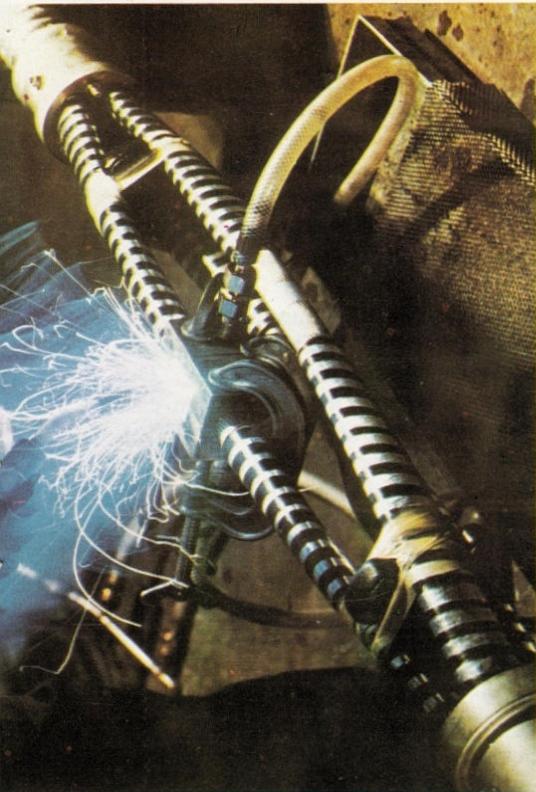
Bis auf wenige Ausnahmen besitzen Starkstromkabel über 132 kV nur eine einzelne Ader. Sind drei Einzeladerkabel in einem gemeinsamen Kabelgraben verlegt, ist es üblich, sie in



Dreieckform anzutragen und die Mantelhüllen an den Stoßstellen zu verbinden. Man spricht hier von einer Festbindung. In den Kabelmänteln erzeugt der Leiterstrom eine Induktionsspannung, die wiederum Ströme durch die Mäntel fließen läßt, wodurch sich das Kabel zusätzlich erwärmt. Isoliert man die Metallmäntel gegeneinander und verbindet sie an den Anschlußpunkten zyklisch vertauscht, heben sich diese Ströme auf, wodurch keine zusätzliche Erwärmung zu befürchten ist. Diese Methode, Kabel zu verbinden, kommt aus den Vereinigten Staaten von Amerika. Man setzt sie heute in den meisten Fällen ein und nennt sie Kreuzverbindung. Durch die Beseitigung der zusätzlichen Wärmewirkung können die Kabel für höhere elektrische Ströme verwendet werden.



Links: Zwei Muster eines 600- bis 1000-Volt-Kabels im Vergleich zu einem 220-Volt-Netzkabel, wie es im Haushalt verwendet wird. Das mittlere Kabel besteht aus vier plastikisierten Aluminium-Massivleitern (Drehstrom mit einem neutralen Leiter). Die vier Leiter sind mit einem PVC-Schutz überzogen, in ein Band gebettet, mit Stahldraht bewehrt und zusätzlich von einem PVC-Mantel umschlossen. Im Unterschied zum mittleren Kabel ist das Kabel rechts aus Kupferlitze aufgebaut. **Rechts:** Zwei 266-kV-Gleichstromkabel, die mit Öl gefüllt sind. Diese Kabel sind zur ersten Hochspannungs-Gleichstromübertragungsstrecke der Welt eingegraben worden.



Kabelverbindungen

Bei allen Installationen von Starkstromkabeln, auch den kleinsten, müssen Verbindungen hergestellt werden. Bei den meisten Hochspannungskabeln treten auf einer Strecke von 400 m bis 500 m Kabelverbindungen auf; in einigen Sonderfällen haben die Kabel Längen von 1 000 m und mehr, bevor sie mit weiteren Anschlußstücken verbunden werden müssen. Diese Kabellängen kennt man insbesondere bei Unterwasser- kabeln.

Die Verbindungsstücke für Kabel in Niederspannungsnetzen sind einfach und meist in Eisengußgehäusen untergebracht. Verbindungen von Hochspannungskabeln sind komplizierter und erfordern viel Geschicklichkeit und eine präzise Ausführung. Sie liegen meist in langen Kupferrohren, deren Durchmesser dem zwei- bis dreifachen Durchmesser des Kabels entspricht. Die Kupferrohre sind mit Glasfasergewebe überzogen oder liegen in einem Betongehäuse, das mit Bitumen aufgefüllt ist.

Bei ölfüllten Kabeln werden die Endverbindungen gleichzeitig dazu benutzt, die Kabelstrecke auch hydraulisch zu unterteilen. Damit kann man einem Anstieg des Öldruckes über den vorgeschriebenen Wert vorbeugen; die Zunahme des Öldruckes am Fuße eines Hügels, den das Kabel überwinden muß, hätte sonst einen unzulässigen Druckanstieg zur Folge. Der Leiter läuft weiter durch die Endverbindung, aber das Öl wird an jeder Seite mit einer Sperre zurückgehalten.

CEGB

An den Kabelenden müssen Anschlußstücke angebracht werden. Niederspannungskabel werden im allgemeinen direkt an die Schaltvorrichtung oder über Lösen an das Transformatorengehäuse angeschlossen. Hochspannungskabel werden mit speziellen Endverschlüssen abgeschlossen. Die Endverschlüsse bestehen aus einem vertikal angebrachten, hohlen Porzellanisolator. Das untere Ende des Isolators ist dem Kabelmantel angepaßt und wird mit einer Vergußmasse abgedichtet, wenn das Kabel durchgezogen ist. Am oberen Ende verbindet man den Leiter mit einer Anschlußkappe. Danach füllt man den Porzellanbehälter mit Isolieröl. Endverschlüsse müssen ähnlich sorgfältig und präzise gearbeitet werden.



Alarmmeldungen

Wenn bei einem ölfüllten oder unter Gasdruck stehenden Kabel ein Leck entsteht, ist es wichtig, den Fehler so schnell wie möglich zu erkennen, damit ein elektrischer Kurzschluß verhindert wird. Aus diesem Grunde werden entlang der Kabelstrecke Druckmeßgeräte mit elektrischen Kontakten angebracht. Fällt der Öl- oder Gasdruck unter einen vorgegebenen Wert, gibt das Druckmeßgerät eine Alarmmeldung zum Kontrollzentrum ab, und das Kabel kann für Reparaturarbeiten ausgebaut werden.

STAUBSAUGER

Ohne Staubsauger wäre die Beseitigung des täglich anfallenden Staubes eine zeitraubende und körperlich zermürbende Arbeit.

Alle Stoffe zerfallen ständig in kleinste Teilchen, und selbst der menschliche Körper verliert in jeder Minute Tausende von abgestorbenen Zellen. Dieser ständige Verschleißprozeß erzeugt in jeder Umgebung ständig große Mengen an Staub, der aus Gründen der Hygiene und der Ästhetik beseitigt werden muß. In der Industrie (z.B. bei der Herstellung von Halbleitern) kann Staub gefährliche Auswirkungen durch Verunreinigungen im Material haben. Industriestaub kann durch elektrostatisch arbeitende Abscheider oder Filtersysteme aufgefangen werden. Unter den Filtersystemen gibt es auch mit Unterdruck arbeitende Systeme. Auf dem gleichen Prinzip beruht die Arbeitsweise des Staubsaugers.

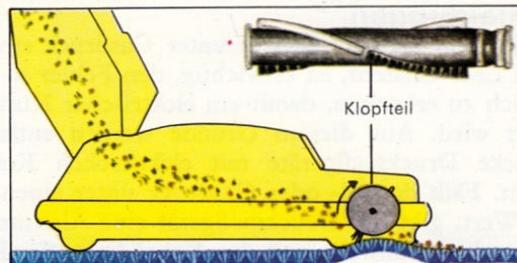
Das mit Unterdruck arbeitende Saugprinzip

Wenn man heute das Wort Staubsauger hört oder liest, denkt man meist an ein Elektrogerät mit Sauggebläse. Es erzeugt, oft in mehreren Geschwindigkeitsstufen, einen kräftigen Luftstrom, der mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse geleitet wird, die gewöhnlich vorne an einem biegsamen Schlauch sitzt. Das rotierende Gebläse schleudert mit Hilfe der Fliehkraft Luft an den Umfang der Gebläseradschaufeln. Dadurch entsteht in der Gebläsemitte ein luftärmer Raum (Unterdruck), in den die von der Düse kommende Luft durch den Schlauch nachströmt.



HOOVER

Moderner Klopfsauger und seine Arbeitsweise:
Das Klopftteil löst den Schmutz im Teppich und befördert ihn in den Sauger, wo er durch den vom Gebläserad erzeugten Unterdruck in den Staubbeutel gelangt.

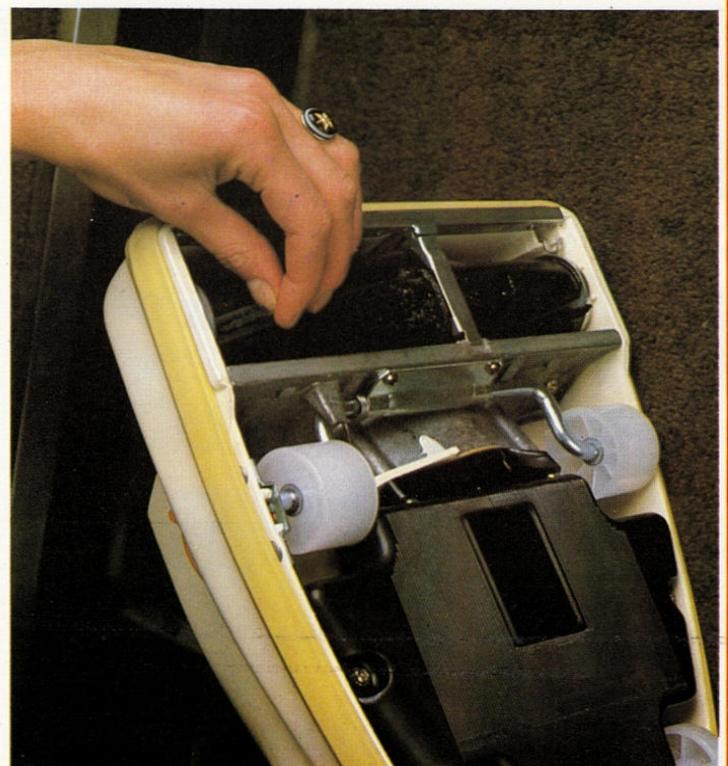


Bei Klopfsaugern, hier handelt es sich um handgeführte Geräte mit senkrechter Luftführung, gehen Luft und Staub durch ein offenes Gebläserad. Daher verfügen einige dieser Systeme über eine Vorfiltereinrichtung. Sie fängt z.B. Nadeln und größere Gegenstände auf, die das Gebläserad beschädigen könnten. Die Saugleistung dieser Geräte ist geringer als die von Geräten mit mehreren Gebläsestufen. Ein gewisser Ausgleich erfolgt aber durch die Arbeit der Klopftstangen und -bürsten, die den Staub lösen, so daß ihn der Luftstrom leicht mit sich fortreißen kann.

Wichtig für die Bemessung der Leistung eines Staubsaugers ist sowohl der Unterdruck als auch der Durchsatz (Luftvolumen). Beide Größen sind voneinander abhängig. Der größte Unterdruck entsteht, wenn die Düse fest gegen eine Fläche gedrückt wird; der höchste Durchsatz ist gegeben, wenn sie vollständig offen ist. Es leuchtet ein, daß sich bei der Arbeit auf Oberflächen unterschiedlicher Struktur und Nachgiebigkeit von einem Augenblick zum anderen der Kontakt der Düsenöffnung mit der Fläche ändert. Damit ist auch das Verhältnis von Unterdruck und Volumen fortlaufenden Schwankungen unterworfen.

Je schwerer die zu entfernenden Teilchen sind, desto größer muß der Luftdurchsatz sein, um sie zu lösen, d.h. um so höher muß die Luftgeschwindigkeit sein, mit der sie in der Schwebegelenk gehalten werden, bis sie den Filter erreichen, der sie aus dem Luftstrom abscheidet.

Das Filtersystem besteht normalerweise aus einem Papierbeutel, bei älteren Systemen aus einem Gewebebeutel oder Gewebebeinsatz. Letzterer sammelt nicht den Staub, sondern hält ihn lediglich zurück. Die Filter der meisten Staubsauger halten Teilchen bis zu einer Größe von $5 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 1$ Millionstel Meter) zurück. In Krankenhäusern werden Spezialfilter benötigt, damit im Staub gebundene Keime nicht von einem Patienten auf andere übertragen werden. Auch in Fabriken, in denen mit giftigen Substanzen gearbeitet wird, sind besondere Filter erforderlich.



Oben: Unterseite eines 'senkrechten' Staubsaugers, der nach dem links beschriebenen Prinzip arbeitet.

STEINBRUCH

In Steinbrüchen kann man große Blöcke, wie beispielsweise Granitquader oder Marmortafeln, aber auch Schotter und pulverförmige Kreide gewinnen.

In Steinbrüchen kommt dreierlei Gestein vor, und zwar Erstarrungsgestein, Sediment- oder Schichtgestein sowie metamorphes oder Umwandlungsgestein. Erstarrungsgestein entsteht unter Einwirkung von hohem Druck und großer Hitze. Ein gutes Beispiel hierfür ist Granit. Sedimentgestein besteht aus einer mechanischen Ansammlung von Teilchen, beispielsweise Sandstein und Kalkstein. Wie der Name Umwandlungsgestein schon andeutet, handelt es sich bei metamorphem Gestein um ein aus mehreren Materialien zusammengesetztes Gestein, das großenteils Erstarrungsgestein ist; zu seiner Bildung bedarf es jedoch besonderer Bedingungen.

Sedimentgestein wird auch neptunisches Gestein genannt. Zwischen ihm und dem Erstarrungsgestein liegen pyroklastische Sedimente, eine Sammelbezeichnung für vulkanische Auswurfprodukte und die aus ihnen entstandenen Gesteine.

Beim Abbau im Steinbruch unterscheidet man zwei Arten von Stein: Brechschotter und Quader. Für Materialien, die in großen Blöcken aus dem Gestein herausgeschnitten werden, ist Granit das beste Beispiel. Man kann ihn für Fassadenverkleidungen und Innenauskleidungen sowie für Denkmäler, Gedenktafeln und dergleichen verwenden. Auch Sandstein wird in Form von Blöcken geschnitten, die zur Errichtung von Gebäuden, aber auch zur Herstellung großer Schleifsteine verwendet werden. Aus Schiefer werden witterfeste Dachdeckungen hergestellt. Früher machte man aus Schiefer auch Tafeln, auf denen beispielsweise Schulkinder schrieben. Schotter findet zur Entwässerung und als Unterbaumaterial im Straßenbau sowie bei der Herstellung von Gleiskörpern und als Zuschlag zum Beton Anwendung. Für Feinschotter gibt es eine Vielzahl besonderer Verwendungszwecke. Einige Arten lassen sich in Schleifmitteln einbinden oder zusammen mit Haftmitteln zur Herstellung von Schleifscheiben verwenden. Zerkleinerter Kalkstein wird für mancherlei Zwecke in der Chemie und als Flußmittel in der Hochofentechnik gebraucht. Bei der Papierherstellung dient Kreide als Weißmacher, außerdem verleiht sie dem Zigarettenpapier ein gleichmäßigeres Abbrandverhalten.

In der Antike wurden in Steinbrüchen fast ausschließlich Quader gebrochen. Völker der damaligen Zeit, wie beispielsweise die Ägypter, vollbrachten ohne moderne Hilfsmittel und ohne Kenntnis bestimmter physikalischer Gesetze (z.B. des Hebelgesetzes) erstaunliche Leistungen beim Abbau und Transport riesiger Steinquader. Heute wird weit mehr Schotter als Quadergestein gebrochen. Dies kommt durch den ungeheuren Betonbedarf — hier benötigt man Schotter als Zusatzstoff — für den Hoch- und Tiefbau, durch die sprunghafte Zunahme des Straßenbaus (verstärkt durch die technischen Verbesserungen im Straßenbau, die das Aufkommen des Schwerverkehrs bedingt hat) sowie durch die Bruchstein-Nachfrage der Industrie, die bei zahlreichen chemischen und anderen Verfahren ohne Schotter nicht auskommt.

Bei der eigentlichen Steinbrucharbeit wird, wenn das Gesteinsvorkommen erst einmal gefunden ist, die Deckschicht aus Muttererde, darunterliegendem Erdreich, Kies und

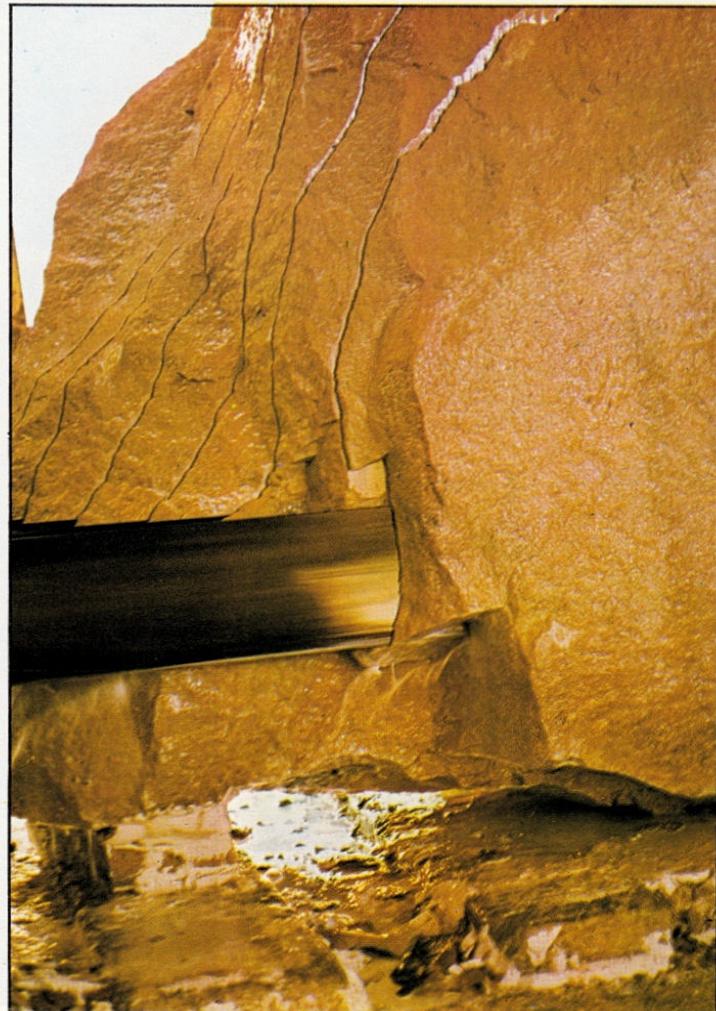
dergleichen beseitigt. Das Vorgehen dabei ist ähnlich den ersten Schritten im Tagebau (siehe BERGBAU). Auch Kies ist ein wertvoller Zuschlagstoff. Er besteht aus mehr oder weniger gerundeten Teilchen, die größer als Sandkörner sind. Ihre runde Form bekommen diese Steine durch Abschiff im Wasser. Kiesablagerungen finden sich immer in der Nähe von Stränden und in den Betten urzeitlicher Flüsse. Sie enthalten oft auch Vorkommen von Mineralezen. Zum Abbau eines Kiesbettes ist kein großer technischer Aufwand erforderlich.

Schotter

Wenn das Felsgestein freigelegt ist, müssen als nächstes ganze Reihen von Sprenglöchern gebohrt werden. Dies geschieht mit Hilfe von Seilbohrgeräten. Die Löcher haben einen Durchmesser von rund 15 cm und reichen bis in eine Tiefe von 15 m, bisweilen auch tiefer. Man bohrt sie gewöhnlich etwa 6 m bis 9 m hinter der Stirnfläche der Abbauwand. Der von der Sprengung zu lösende Teil der Abbauwand wird 'Vorgabe' genannt. Der Abstand zwischen den einzelnen Sprenglöchern ist gewöhnlich kleiner als das Maß der Vorgabe. Je nach Größe des Steinbruchs können zwanzig oder mehr Sprenglöcher in einer Reihe oder in mehreren Reihen angeordnet sein. Sie werden mit Sprengstoff gefüllt und dann verdämmt (mit Sand oder Erde fest aufgefüllt). Die Größe der Sprengladung hängt von der Art des zu lösenden Gesteins ab. Man kann mit einer Sprengung bis zu 20 000 t Gestein losbrechen.

Anschließend wird das Gestein in Maschinen, wie Kegel-, Hammer-, Backen- oder Walzenbrechern, zerkleinert. Das Verhältnis von Eintrittsgröße zu Endgröße schwankt zwischen 3:1 und 10:1. Das Zerkleinern kann in mehreren Arbeitsgängen vor sich gehen, wobei das Gestein im Anschluß an den jeweili-

Rechts: Hier arbeitet sich eine Quersäge mit sechs Blättern durch ein besonderes Juragestein, das zur Gruppe des Malm gehört und in seinem Herkunftsland England Purbeck-Stein genannt wird.



gen Zerkleinerungsvorgang nach Größen gesiebt wird. Bei extrem feiner Zerkleinerung spricht man von Pulverisieren.

Quader

Vorkommen, die einen Quaderabbau lohnen, werden nach Farbe und Korn- oder Teilchengröße des Gesteins sowie nach dessen Einheitlichkeit ausgewählt. Da das Ziel darin besteht, große Quader herauszubrechen, arbeitet man verständlicherweise nicht mit Sprengstoff. Um die Güte der Quader zu bewahren und eine Rißbildung zu vermeiden, müssen sie außerdem sorgfältig aus der Abbauwand gelöst werden. Wo immer dies möglich ist, nutzt man die natürlichen Rißlinien in der Gesteinsformation.

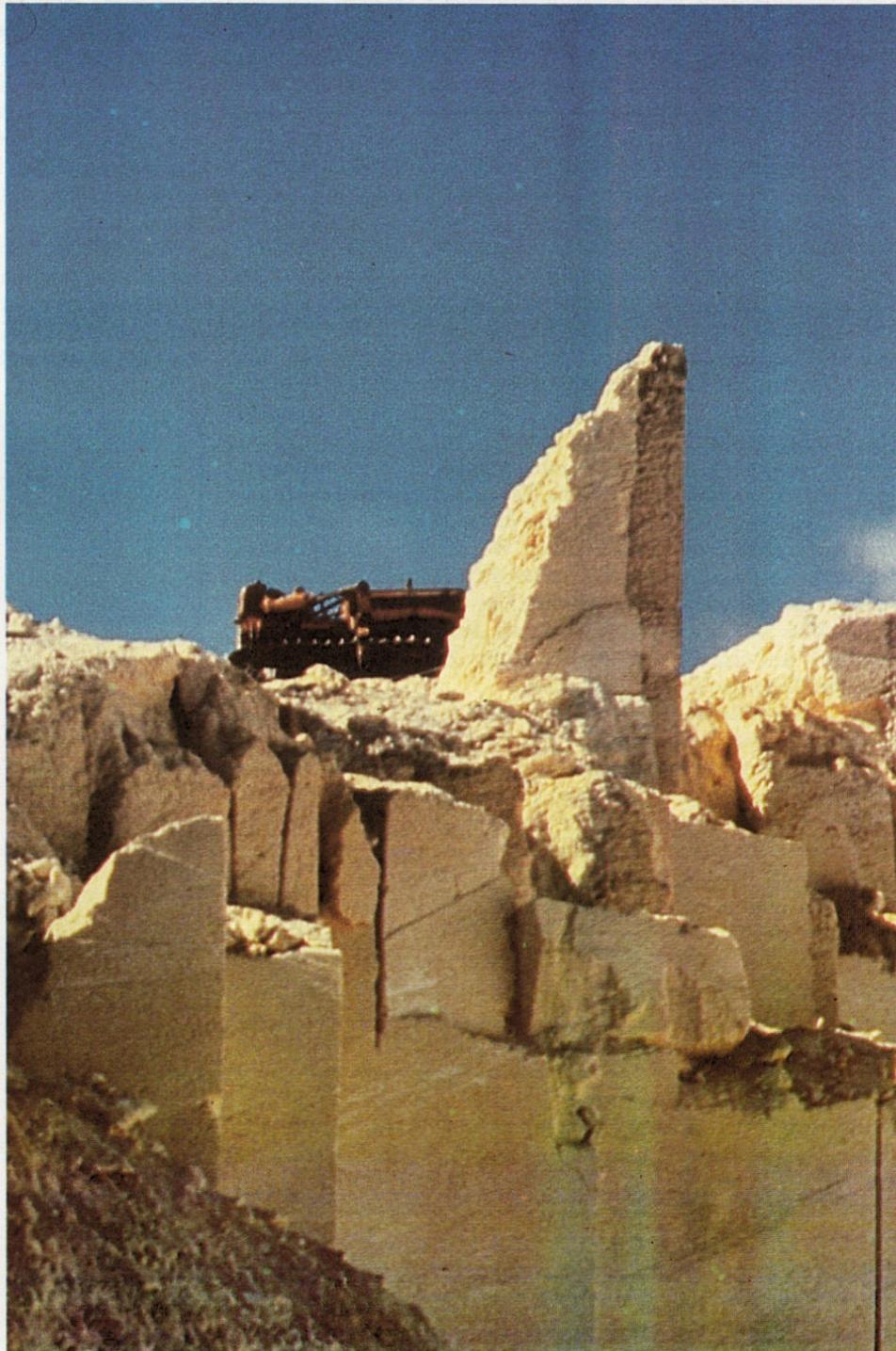
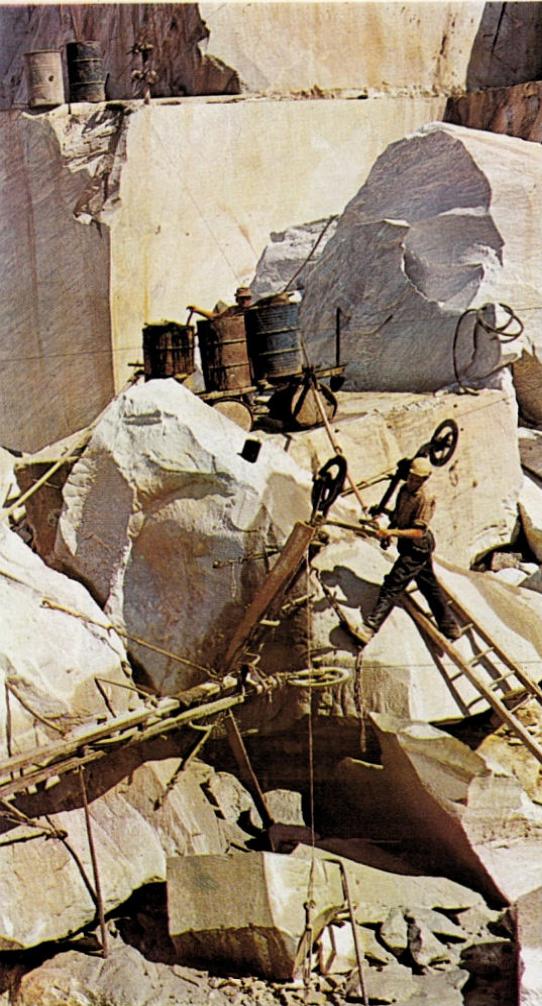
Als erstes werden senkrechte Schnitte in die Felswand gemacht. Bei weicheren Gesteinen geschieht dies mit Hilfe einer Art Schrämmaschine. Sie ist mit mehreren Schneidmeißeln besetzt und schneidet eine etwa 1 m tiefe und rund 5 cm breite Rinne in die Abbauwand. Härtere Gesteine wie

Granit werden häufiger mit Hilfe einer Seilsäge abgebaut. Sie besteht aus einem endlosen Stahlseil von 5 cm Durchmesser, das beim Schneiden mit Wasser übergossen wird. In ihm sind Schleifmittel gelöst, die den Fels durchtrennen.

Wenn am unteren Ende des Quaders keine passende, natürliche Bruchlinie zu finden ist, muß man ihn sehr sorgfältig von seinem Untergestein lösen. Zu diesem Zweck werden zuerst waagerecht verlaufende Löcher gebohrt, dann wird der Block mit Keilen losgebrochen. Diese Blöcke sind oft sehr groß und haben bisweilen eine Länge bis zu 90 m. Sie werden daher an Ort und Stelle in kleinere Quader zerlegt, im Normalfalle mit 'Keil und Federn'. Dazu werden wieder Löcher gebohrt und in diese je zwei 'Federn' (sich verjüngende Eisenstücke, die auf einer Seite abgerundet sind) eingeführt, zwischen denen der stählerne Keil nach unten getrieben wird. Anschließend gelangen die Quader in weiterverarbeitende Betriebe, wo man sie zerlegt, bearbeitet oder auf Drehmaschinen zu Säulen formt und poliert.

Rechts: Ein Steinbruch auf den Bermuda-Inseln. Obwohl Stein heute nicht so häufig verwendet wird wie z.B. Ziegel oder Beton, ist er immer noch ein wichtiges Baumaterial und für die Industrie unentbehrlich.

Unten: Der Steinbruch bei Carrara in Italien. Man berichtet, Michelangelo habe von dort seinen Marmor bezogen. Zuerst werden große Marmortafeln losgelöst und dann an Ort und Stelle zu kleineren Stücken verarbeitet.



BARNABYS

STEINKOHLETEER

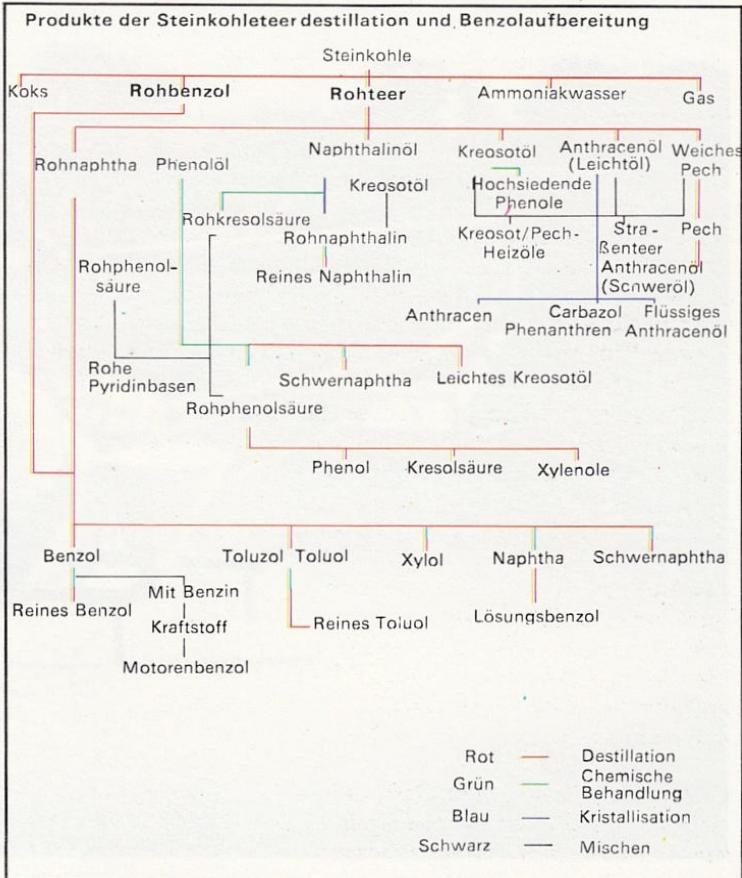
Steinkohleteer enthält weit mehr als 200 chemische Verbindungen, die als Rohmaterialien für einen großen Teil der chemischen Industrie dienen. Viele Duft- und Geschmacksstoffe, Medikamente, Kunststoffe, synthetische Fasern und Sprengstoffe können aus Steinkohleteer hergestellt werden.

Longstaff und Dalton führten im Jahre 1822 in der Nähe von Leith in Schottland die erste kommerzielle Destillation von Steinkohleteer durch. Sie verkauften das so gewonnene leichte Destillat an Charles Macintosh als Lösungsmittel für sein Gummierverfahren, das im Jahre 1823 patentiert wurde. Während des 19. Jahrhunderts stieg das Interesse an der Entdeckung neuer organischer Verbindungen, vor allem aromatischer Verbindungen. Im Jahre 1843 berichtete Hoffmann (1818 bis 1892) über das Vorhandensein von Anilin in Steinkohleteer, im Jahre 1845 von Benzol.

Viele Jahre war die Destillation von Steinkohleteer die wichtigste Benzolquelle. Heute wird Benzol durch 'Auswaschen' von Steinkohlengas oder aus Erdöl gewonnen.

Steinkohlenschwelung

Wenn Steinkohle verschwelt wird, d.h. mit Temperaturen im Bereich von 900°C bis 1300°C in Öfen aus Schamottesteinen (sie sind hitzebeständig) unter Ausschluß von Luft erhitzt wird, wird die Steinkohle in Koks umgewandelt. Bei der Anwendung niedrigerer Temperaturen dient dieses Verfahren zur Herstellung von Steinkohlengas, das zur Belie-



Oben: Ein Schema, das die Anordnung der Destillationsgefäße bei der Trennung der sauren Bestandteile vom Steinkohleteer veranschaulicht. Es werden Phenol, Kresolsäure (Gemisch aus Ortho-, Meta- und Parakresolen) und Xylenole hergestellt.



Oben: Etwa 36 Liter Teer können aus einer Tonne Kohle gewonnen werden. Der Teer wird dann durch fraktionierte Destillation in verschiedene Bestandteile zerlegt.

ferung der Haushalte gebraucht wird, während die höheren Temperaturen bei der Herstellung von Hüttenkoks angewendet werden. Die Qualität des dabei entstehenden Steinkohlengases ist für die Verwendung als Haushaltsbrennstoff nicht geeignet. In beiden Fällen entstehen als Nebenprodukte Gas, Ammoniak und Teer, die entweichen und gesammelt werden.

Destillation von Steinkohleteer

Eine Tonne Steinkohle ergibt etwa 36 Liter Teer, der beim Abkühlen zu einem dickflüssigen, schwarzen Öl kondensiert. Dieses Öl enthält ein Gemisch aus verschiedenen chemischen Verbindungen, die durch fraktionierte DESTILLATION getrennt werden. Danach folgt der Vorgang des Waschens in Alkali, um schwach saure aromatische Verbindungen, wie z.B. Phenol, zu extrahieren. Zur Entfernung der basischen aromatischen Verbindungen erfolgt ein Waschen in verdünnter Schwefelsäure. Eine abschließende Destillation bei jedem Extraktionsverfahren sorgt für weitere Trennungsvorgänge. Der Steinkohleteer enthält etwa 5% gelöstes Rohbenzol (Leichtöl), dessen größter Teil in dem Gasstrom verbleibt, da es Bestandteile mit niedrigerem Siedepunkt enthält. Es wird in einem getrennten Verfahren aus dem Gasstrom ausgewaschen.

Es werden vier, auf einem bestimmten Bereich von Siedepunkten basierende Fraktionen gesammelt: Rohbenzol wird in einem Bereich von 80°C bis 170°C destilliert, Mittelöl oder Phenolöl in einem Bereich von 170°C bis 230°C, Schweröl oder Kreosotöl in einem Bereich von 230°C bis 270°C und Anthracenöl oder Grünöl in einem Bereich von 270°C bis 400°C. Der übrigbleibende Rückstand ist Pech, ein nützliches Produkt, das zur Herstellung von Straßenteer, als Bindemittel für rußfreie Briketts zum Heizen und für die großen Kohle-



elektroden, die für die Aluminiumschmelze erforderlich sind, verwendet wird.

Die Benzolfraktion enthält Benzol, Toluol und Xylol; die Mittelölfaktion umfaßt Phenol und Naphthalin; die Schwerölfaktion enthält Kresole. In dem Anthracendestillat sind Anthracen und verwandte Verbindungen enthalten. Insgesamt enthält Steinkohleteer weit mehr als 200 chemische Verbindungen. Aber nur wenige dieser Verbindungen sind von kommerziellem Interesse.

Das Auswaschen von Gas

Jede Tonne Steinkohle ergibt etwa 14 Liter Benzol, das durch Auswaschen mit Öl oder durch Absorption auf Aktivkohle (einer porösen Art von Holzkohle) aus dem Steinkohlengas gewonnen wird. Die zum Auswaschen verwendeten Öle mit hohem Siedepunkt können ein Erdölprodukt, wie z.B. Leichtöl, Kreosot (ein Teeröl) oder Tetralin (ein organisches Lösungsmittel) sein. Das Rohbenzol löst sich in dem Öl und wird abdestilliert, wenn das Gemisch mit Wasserdampf erhitzt wird. Dieses Destillat umfaßt Benzol, Toluol, Xylol und Lösungsbenzol. Wasserdampf wird auch angewendet, um das von der Aktivkohle absorbierte Benzol zurückzu gewinnen.

Anwendungen aromatischer, aus Steinkohle gewonnener Verbindungen

Perkin (1838 bis 1907) entdeckte im Jahre 1856 durch Zufall den berühmten Farbstoff Mauvein bei dem Versuch, Chinin aus Steinkohleteeranilin zu synthetisieren. Dies war der Beginn umfangreicher wissenschaftlicher Arbeiten zur Erforschung der Möglichkeiten dieses Nebenproduktes der Gasindustrie. (In jener Zeit wurde Steinkohleteer als Holzschutzmittel, Kreosot, verwendet.)

Anthracen, ein weiterer Bestandteil des Steinkohleteers, war das Ausgangsmaterial für die Synthese von Alizarin, des ersten natürlich vorkommenden Farbstoffes, der im Jahre 1868 synthetisch hergestellt werden konnte. Mit der Entdeckung der Indanthron-Küpenfarbstoffe im Jahre 1901 trat

Oben: Viele Insektenvernichtungsmittel und Unkrautbekämpfungsmittel basieren auf Benzolverbindungen wie Naphtalin, die aus Steinkohleteer gewonnen werden.

dieser Farbstoff wieder in den Vordergrund. Naphthalin ist die Ausgangsbasis zur synthetischen Herstellung des blauen Farbstoffes Indigo. Die Firma Anilin investierte in einem Zeitraum von 17 Jahren etwa 8 Millionen Goldmark, um im Jahre 1897 das Indigo-Verfahren zur Vollendung zu bringen.

Farbstoffe waren jedoch nicht die einzigen wichtigen Derivate von Steinkohleteer-Verbindungen. Viele Duftstoffe, Geschmacksstoffe, Medikamente, Antiseptika und Sprengstoffe verdanken ihre Existenz dem Vorhandensein von Steinkohleteer. Perkin synthetisierte im Jahre 1868 als erster den Duftstoff Cumarin aus Salicylaldehyd. In den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurde aber schon Nitrobenzol als Duftstoff in Seife verwendet.

Die meisten bedeutenden Bestandteile des Steinkohleteers dienen als Grundbausteine. Oft folgt dann während der chemischen Reaktionen eine Reihe von Aufbau- und Spaltungsprozessen, bis das Endprodukt in reinem Zustand hergestellt ist. Einige werden ohne weitere Verarbeitung verwendet. Naphthalin, das als Insektizid bekannt ist, dient als Ausgangsbasis für verschiedene Farbstoffe. Phenol wird als Antiseptikum (Phenolsäure), in Kunststoffen (Bakelit), in Salicylsäure, Aspirin und Phenacetin sowie in dem Sprengstoff Pikrinsäure (die früher als gelber Farbstoff diente) verwendet. Pikrinsäure hat auch antiseptische Eigenschaften. Toluol, das mit Benzol eng verwandt ist, dient als Ausgangsbasis für eine große Anzahl von nützlichen Verbindungen, beispielsweise für Farbstoffe, den Sprengstoff Trinitrotoluol (TNT), für Novocain und Saccharin. Benzol, eine ölige, sehr leicht entflammbar Flüssigkeit, ist die Grundlage zur Herstellung von Nitrobenzol, Anilin und Tausenden von Benzolderivaten. Benzol ist auch ein sehr nützliches Lösungsmittel für Fette und Harze; es wird u.a. auch als Brennstoff verwendet.

STEREORADIO

Im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich übertragen die Rundfunksender ihre täglichen Sendungen monofon. Stereo-Übertragungen erfordern eine größere Bandbreite, weil zwei Kanäle abgestrahlt werden müssen. Stereo-Sendungen sind daher nur im UKW-Band (UKW = Ultrakurzwellen) möglich, da hier genügend Frequenzraum zur Verfügung steht.

Die Schallplatte und das Magnetband sind vertraute Stereo-Schallübertrager. Bei ihnen werden die ursprünglich getrennten Schallsignale zweier Mikrofone auf Platte oder Band gespeichert. Die Musikwiedergabe erfolgt über zwei Verstärkerkanäle, an die Lautsprecher angeschlossen sind. Die beiden Verstärker bezeichnet man gewöhnlich als 'linken Kanal' und als 'rechten Kanal', weil jeder die Tonsignale überträgt, die von einem Mikrofon in entsprechender Position ähnlich der Lage des linken und des rechten Ohres aufgenommen worden sind.

Zur Übertragung der Informationen des linken und rechten Kanals vom Studio über einen Rundfunksender müßte man eigentlich zwei Rundfunksender und zu Hause zwei entsprechende Empfänger aufstellen. In der modernen Sende-technik wird jedoch ein Übertragungsverfahren angewendet, das als Frequenzmultiplex- oder Pilottonverfahren bekannt ist. Bei diesem Verfahren werden die stereofonen Komponenten des Hörsignales so zusammengefaßt, daß alle notwendigen Signale über einen Sender abgestrahlt werden können. Auf eine ähnliche Weise gewinnt man mit einem einzigen Empfänger zu Hause das zusammengesetzte Hörsignal über eine Gleichrichter- oder Diskriminatorschaltung zurück. Dieses wiedergewonnene Signal wird in einer speziellen Schaltung decodiert (Stereo-Decoder), so daß die ursprünglichen Mikrofonsignale des rechten und des linken Kanals aus dem Aufnahmestudio zu den beiden Lautsprechern in der Wohnung geführt werden können. Im Rundfunksender wird ein 'Pilotton' hinzugefügt. Dies ist eine Hilfsfrequenz, deren

Leistung schon senderseitig stark abgeschwächt wird. Der Pilotton steuert eine elektronische Empfängerschaltung, wodurch die Signale des linken und des rechten Kanals immer streng synchron (zeitgleich) mit den ausgestrahlten Sendesignalen verlaufen; genauer gesagt, das linke Signal muß auch den linken, das rechte Signal auch den rechten Lautsprecher erreichen. Das hier beschriebene Frequenzmultiplexverfahren ist als Zenith-GE-Stereo-Rundfunksystem bekannt geworden, das zwischen 1950 und 1960 in den USA entwickelt wurde. Es hat sich im allgemeinen im UKW-Bereich durchgesetzt. Wie man später sehen wird, ist es kompatibel (verträglich) mit monofonen oder einkanaligen Ausstrahlungen, arbeitet aber sofort folgerichtig bei stereofonen Sendungen.

Das Übertragungsverfahren

Beim Pilottonverfahren arbeiten Sender und Empfänger mit schnellen elektrischen Schaltvorgängen. Die Schaltfrequenz liegt weit über dem menschlichen Hörbereich; sie beträgt 38 kHz. Mit dieser Frequenz schaltet der Sender ständig zwischen rechtem und linkem Kanal hin und her, so daß eigentlich immer nur Anteile des jeweiligen Informationsgehaltes vorhanden sind. Im Empfänger muß sichergestellt werden, daß die richtigen Anteile auch den entsprechenden Lautsprecher erreichen. Wegen der schnellen Schaltfolge hat der Zuhörer den Eindruck, als ob der linke Lautsprecher fortwährend vom Signal des linken Mikrofones und der rechte vom Signal des rechten Mikrofones angesteuert wird.

Beim Pilottonsystem wird die eigentliche Senderträgerfrequenz von drei Komponenten und den Mikrofonsignalen frequenzmoduliert. Die drei Komponenten ergeben sich aus der Arbeitsweise des 38-kHz-Referenzoszillators. Die erste Komponente ist das Summensignal $(L + R)/2$; es besteht aus den Signalen des rechten (R) und des linken (L) Mikrofon-

Modernes Stereo-Empfangsgerät (auch Tuner genannt) mit einem Feldstärkemesser und einer präzisen Kanal/MHz-LED-Anzeige links am Gerät.



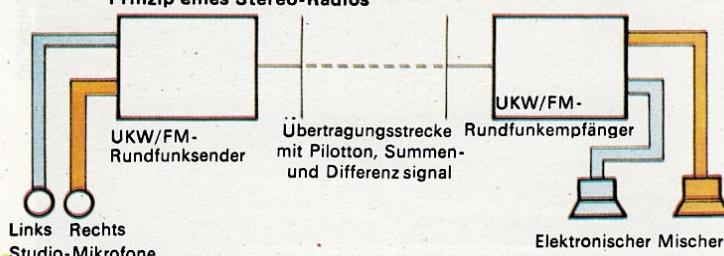
kanales und dient als Grundlage einer monofonen Ausstrahlung. Das Signal ist so zusammengegesetzt, daß ein Mono-Empfänger es ohne Zusatz verarbeiten kann. Die zweite Komponente ist das Differenzsignal $(L - R)/2$, das vom 38-kHz-Hilfsträgeroszillator abgeleitet wird. Es gewährleistet eine einwandfreie Trennung des rechten Kanals vom linken Kanal. Die dritte Komponente ist eine sinusförmige Frequenz von 19 kHz (der eigentliche Pilotton), die zur Synchronisation der elektronischen Gleichrichtung (Wiedergewinnung der Information) dient. In der Praxis wird die 38-kHz-Referenzfrequenz elektronisch halbiert; das Ergebnis ist der Pilotton. Dies geschieht zur Reduzierung der Gesamtleistung (hiermit verbunden ist eine Erhöhung des Senderwirkungsgrades) und zur Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses.

Der Empfänger

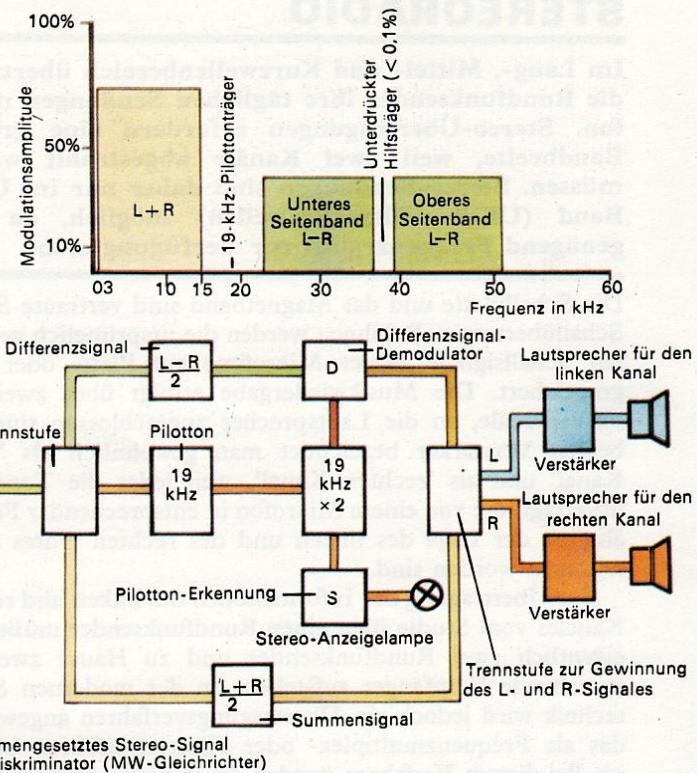
Um den umgekehrten Vorgang im Rundfunkempfänger für Stereo-Wiedergabe zu untersuchen, betrachtet man am besten das wiederzugebende Modulationssignal, wie es hinter dem normalen Hochfrequenz-Gleichrichter des Empfängers anliegt. Das UKW-Teil des Radios ist als Überlagerungsempfänger aufgebaut; es muß frequenzmodulierte Signale sowohl monofon als auch stereofon verarbeiten können. Die Bandbreite eines Stereo-Rundfunkgerätes muß um einiges

Rechts oben und unten: Um die Signale des rechten und linken Kanals unterscheiden zu können, müssen zwei zusammengefaßte Signale übertragen werden. Die Summe aus dem linken und dem rechten ($L + R$) Kanal ist das eine Signal, während die Differenz aus linkem und rechtem ($L - R$) Kanal das andere Signal darstellt. Die Differenz ($L - R$) wird amplitudenmoduliert und sodann einem 38-kHz-Träger aufgeprägt. Auf diese Weise kann es vom ($L + R$)-Signal unterschieden werden. Beide Signale werden gemeinsam frequenzmoduliert. Die gesamte frequenzmodulierte Information gelangt dann zum Empfänger, in dem L und R im umgekehrten Verfahren getrennt werden.

Prinzip eines Stereo-Radios



Frequenzspektrum des zusammengesetzten Stereo-Signales



Prinzip des Frequenzmultiplex-Decoders

größer sein als die eines Mono-Empfängers, um die zusätzlichen Informationen unterbringen zu können.

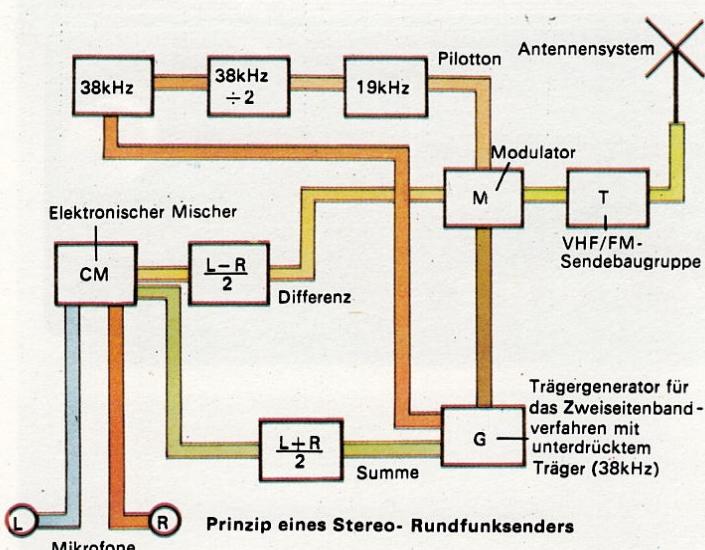
Das zusammengesetzte Stereo-Signal, das am Gleichrichter des Empfängers anliegt, schließt hauptsächlich drei Komponenten ein: Die normalen Frequenzen im Hörbereich von 0,03 kHz bis 15 kHz, die im Multiplex-System als Summe des rechten und linken Kanals enthalten sind, den 19-kHz-Pilotton und das Differenzsignal des rechten und linken Kanals, das in Wirklichkeit aus zwei Seitenbändern um die Hilfsträgerfrequenz von 38 kHz gruppiert liegt. Hier muß der Frequenzbereich 23 kHz bis 53 kHz umfassen. Eine elektronische Schaltung, der Decoder, trennt diese Komponenten auf. Der Decoder gewährleistet die Synchronisierung der Signale aus den Studiomikrofonen und führt eine weitere Gleichrichtung zur Wiedergewinnung dieser Informationen für den rechten und linken Lautsprecher durch. Die 19-kHz-Frequenz des Pilottones wird im Decoder verdoppelt, so daß die Schaltfrequenz (38 kHz) genau mit der elektronischen Abtastung im Studio übereinstimmt.

Um eine gute Trennung zwischen dem linken und rechten Kanal zu erreichen, muß der im Decoder wiederaufbereitete 38-kHz-Träger im Gleichtakt, also exakt phasenstarr, mit dem originalen Referenzoszillator liegen. Es gibt zwar unterschiedliche Methoden, nach denen der Decodervorgang ablaufen kann; das Grundprinzip, nach dem die linken und rechten Signale wiedergewonnen werden, ist aber allen gleich. Man erhält die Signale durch Addition und Subtraktion der Summen- und Differenzfrequenzkomponenten, die aus dem zusammengesetzten Stereo-Signal herausgelöst werden:

$$\begin{aligned}
 (L + R) + (L - R) &= 2L & \text{Hauptträgersignal} & \text{Hilfsträgersignal} & \text{Linker Kanal} \\
 (L + R) - (L - R) &= 2R & \text{Hauptträgersignal} & \text{Hilfsträgersignal} & \text{Rechter Kanal}
 \end{aligned}$$

Einkanalige Empfangsgeräte können offensichtlich das zusammengesetzte Signal nicht auflösen bzw. den Pilotton nicht erkennen. Sie übertragen deshalb die ($L + R$)-Information, die der normalen Mono-Übertragung entspricht.

Prinzip eines Stereo-Rundfunksenders



STEREO- UND QUADROFONIE

Stereo- und Quadrofonie sind Verfahren zur Übertragung von Schallereignissen, die dem Zuhörer ein möglichst genaues Klangbild mit Richtungsinformationen übermitteln sollen. Der Hörer empfindet die Wiedergabe, als säße er im Konzertsaal.

Ähnlich den Lebewesen aus dem Tierreich kann der Mensch die Richtung einer Schallquelle feststellen, indem er Signale, die das rechte und das linke Ohr erreichen, unbewußt vergleicht. Gelangt die Schallwelle früher zum linken Ohr, oder besitzt sie eine höhere Intensität, oder ist sie vielleicht im Ton heller als die Schallwelle, die das rechte Ohr erreicht, erkennt das Hörzentrum im Gehirn, daß sich die Schallquelle links von der Mittellinie zwischen beiden Ohren befinden muß. Bei natürlichen Schallereignissen sind normalerweise alle drei Anhaltspunkte gleichzeitig vorhanden.

Das Ziel einer Stereoaufnahme ist deshalb, die aufgenommene Information so in zwei Kanälen unterzubringen, daß sich die in ihnen zu übertragenden Signale in der Weise unterscheiden wie die Schallwellen, die das rechte und linke Ohr eines Zuhörers im Konzertsaal erreichen.

Bei früheren Stereo-Experimenten verwendete man eine Puppe, die in jedem Ohr ein Mikrofon hatte. Sendet man die elektrischen Signale über getrennte Verstärker zu zwei räumlich verteilten Lautsprechern, kann ein Zuhörer die ursprüngliche Position der Musikinstrumente innerhalb des ausgebreiteten Schallfeldes zwischen den beiden Lautsprechern wiederfinden. Der Hörer kann sogar noch eine natürlichere Wiedergabe der ursprünglichen Szene erhalten, wenn er Kopfhörer benutzt. Werden jetzt die links und rechts erscheinenden Signale dem linken und rechten Kopfhörer zugeführt, hat man das Gefühl, in einem Konzertsaal zu sitzen. Diese Idee, beim Zuhörer den Eindruck zu erwecken, man befände sich in einem Konzertsaal, gewinnt durch die in Berlin entwickelte Kunstkopf-Stereofonie neues Interesse. Mit der Kunstkopf-Stereofonie gelingt es, ein Schallfeld von 360° zu erzeugen, das den Zuhörer in horizontaler Ebene umgibt.

Aufnahmetechniken mit Mikrofonen

Das Kunstkopfsystem ist nicht sehr vielseitig anwendbar. Deshalb erfolgen auch heute noch Stereoaufzeichnungen mit Hilfe von Mikrofonanordnungen. Der britische Ingenieur

A. D. Blumlein verwirklichte die Idee des stereofonen Hörens und zeigte, daß man genaue und kontrollierbare räumliche Effekte erzielen kann, wenn nur eine von den beiden Voraussetzungen zur Lokalisierung vorhanden ist: entweder die Intensität oder die Laufzeit.

Blumlein konstruierte ein genau übereinstimmendes Mikrofonpaar. Das heißt in diesem Falle, daß beide Schallwandler so exakt übereinander angeordnet waren, daß keine Laufzeitunterschiede auftreten konnten. Er benutzte Richtmikrofone, die er um 90° versetzt anordnete. Dadurch entstehen Differenzen in der Schallintensität, die zu Null werden, wenn ein Musikinstrument oder eine Stimme von der Bühnenmitte auf die Mikrofone einwirkt, sich aber zunehmend vergrößern bei Instrumenten, die von der Mitte entfernt stehen.

Alternativ ist es möglich, ein räumlich weiter voneinander entfernt stehendes Mikrofonpaar anzurufen, das keine besondere Richtwirkung besitzt. Hierbei wird der Effekt des Laufzeitunterschiedes ausgenutzt. Links angeordnete Instrumente werden auf diese Weise einige Millisekunden früher vom linken Mikrofon aufgenommen als vom rechten und umgekehrt. Mit Hilfe der Elektronik kann man ein einziges monophones Mikrofon für ein beliebiges Instrument oder eine Stimme einsetzen, um das Signal durch beide Verstärker zu führen. Durch Einstellung eines Lautstärkestellers kann man das Signal für beide Kanäle an irgendeiner Stelle zwischen zwei Lautsprechern erscheinen lassen.

Stereo-Schallplattenaufnahmen

Bei der Übertragung der elektrischen Signale durch den rechten und den linken Kanal ist eine sorgfältige Trennung beider Kanäle an allen Stellen der Stereo-Aufnahme und innerhalb der Wiedergabekette wichtig, da sonst ein sogenanntes Übersprechen erfolgt. Mit Magnetbändern läßt sich eine Trennung leicht erreichen, da die beiden Signale zwei getrennten Bandspuren zugeleitet werden können (siehe TONBANDGERÄTE).

Der Schnitt zweier getrennter Schwingungen in eine einzelne Plattenrille ist schwieriger, läßt sich aber erreichen, indem man den Schneidstichel gleichzeitig in zwei Ebenen,

Unten: Typisches Stereogerät mit Plattenspieler, Radioempfänger und Kassettengerät.



Rechts: Eine Aufnahme von Mozarts Messe in C-Moll. Die Akustik des Gebäudes muß bei der Aufstellung der Mikrofone mit berücksichtigt werden, obwohl es in der Fotografie wie zufällig aussieht, wie sie plaziert sind. In einer Kirche sind diese Probleme wegen der großen Nachhallzeiten besonders schwierig zu lösen. Die Nachhallzeit wird im wesentlichen vom Volumen des Raumes und seinem Inneren bestimmt.

die aufeinander senkrecht stehen, führt (siehe SCHALLPLATTENHERSTELLUNG).

Ein Vorschlag war u.a., das links erscheinende Signal wie bei der Mono-Aufnahme seitliche Bewegungen des Schneidstichels ausführen zu lassen, während der Schneidstichel beim rechten Signal vertikal ausgelenkt wird (Seitenschrift und Tiefenschrift). Diese Vertikalbewegung hatte auch T. A. Edison (1847 bis 1931) bei seinem Phonographen zugrundegelegt (siehe PLATTENSPIELER). Dieses gemischte Verfahren ruft jedoch sowohl in der Geometrie als auch bei den Gravitationskräften Unsymmetrien hervor. Im Laufe der Zeit wurde ein Schneidelement und damit auch eine Abtastvorrichtung entwickelt, bei denen beide Achsen um 45° geneigte Bewegungen zu den vorherigen Ebenen ausführten. Diese 45° -Flankenschrift des Stereo-Schallplattenaufnahmeverfahrens hat sich seit dem Verkauf der ersten Stereoschallplatte im Jahre 1958 weltweit durchgesetzt.

Nach diesem Verfahren führen Schneidstichel und auch Abtastnadel zwei voneinander unabhängige Bewegungen aus, die senkrecht zueinander und, bezogen auf die Plattenoberfläche, unter Winkeln von 45° erfolgen. Das Signal des rechten Kanals befindet sich in der äußeren Rille der Platte, das des linken Kanals in der inneren Rille.

Ein Solospielder, der sich in der Bühnenmitte befindet, soll gleich stark von beiden Lautsprechern abgestrahlt werden; seine Darbietung erscheint daher auf beiden Rillenseiten. Die relative Polarität oder Phase der Signale wurde derart festgelegt, daß sie sich aus den seitlichen Flächen addiert. Diese Festlegung gewährt Kompatibilität (Verträglichkeit), so daß



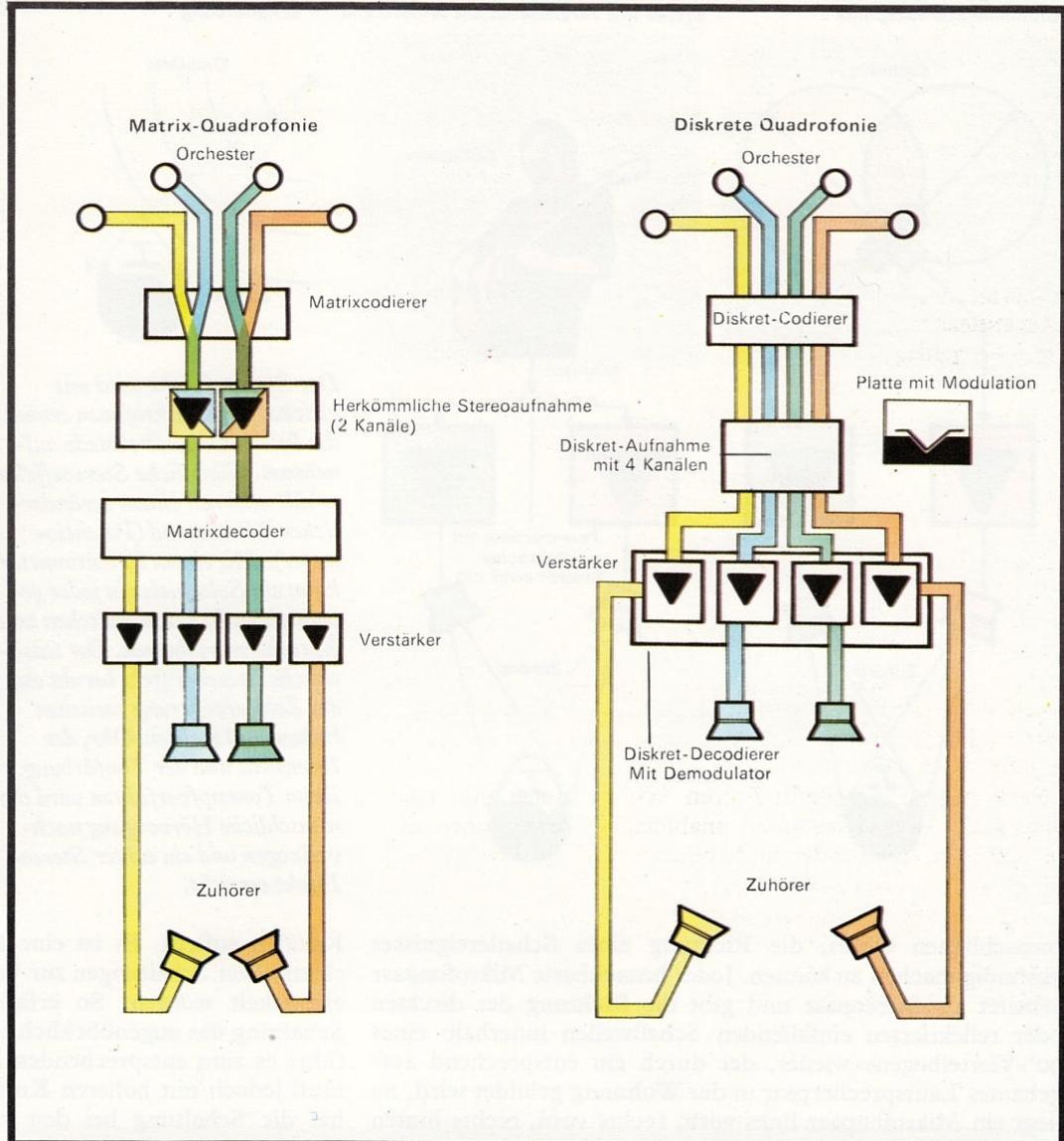
Unten: Ein Kontrollraum, in dem zur Quadrofonie gemischt wird. Rechts im Hintergrund ist die Bedienungstafel eines Schaltfeldes zu sehen (ähnlich einer Schalttafel im Fernsprechamt). Über sie werden die Verbindungen der Eingänge und Ausgänge für alle Baugruppen hergestellt. Im Hintergrund läßt sich die Dolby-Vorrichtung erkennen.





EM/MACDANNIC

OSBORNE/MARKS



Rechts: Die vier Signale werden zu zwei Signalen codiert und in eine herkömmliche Zweikanal-Schallplatte geschnitten. Beim quadrofonischen Abspielen werden sie decodiert.

eine Stereoschallplatte mit einem Mono-Plattenspieler abgespielt werden kann. Das resultierende Signal ist die Summe der rechts und links eingeprägten Schalldrücke, so daß sich eine annehmbare Mono-Wiedergabe ergibt.

Stereo-Rundfunk

Genauere Einzelheiten über den Stereo-Rundfunk kann man dem Artikel STERORADIO entnehmen. Hier wird das Verfahren nur so weit umrissen, wie es zum Verständnis der Vorgänge bei der Quadrofonie notwendig ist.

Zur stereofonen Rundfunkübertragung bildet man ein Summensignal aus den Signalen des rechten und des linken Kanals ($L + R$). Dieses Summensignal dient zum Modulieren der Trägerfrequenz des Senders. Das Differenzsignal beider Kanäle ($L - R$) wird vorher einem Hilfsträgersignal überhalb des Hörbereiches (38 kHz) aufgeprägt. Als Modulationsart benutzt man das Zweiseitenbandverfahren mit unterdrücktem Trägersignal, eine Variante der Amplitudenmodulation. Die hierbei entstehenden beiden Seitenbänder modulieren ebenfalls die Sender-Trägerfrequenz; ein Pilotton mit halber Hilfsträgerfrequenz (19 kHz) wird hinzugefügt. Ein Rundfunkhörer mit einem Mono-Empfänger kann nur das Summensignal ($L + R$) empfangen; aber jedes Empfangsgerät, das einen Stereo-Decoder besitzt, kann mit Hilfe des Pilottones die beiden Seitenbänder ($L - R$) zusätzlich gleichrichten und damit wiedergewinnen. Die Summen- und die Differenzsignale werden zur Rückgewinnung des ursprünglichen Stereosignales über eine Matrixschaltung geleitet:

$$\begin{aligned}
 (L + R) + (L - R) &= 2L & \text{Linker Kanal} \\
 \text{Hauptträgersignal} & \quad \text{Hilfsträgersignal} \\
 (L + R) - (L - R) &= 2R & \text{Rechter Kanal} \\
 \text{Hauptträgersignal} & \quad \text{Hilfsträgersignal}
 \end{aligned}$$

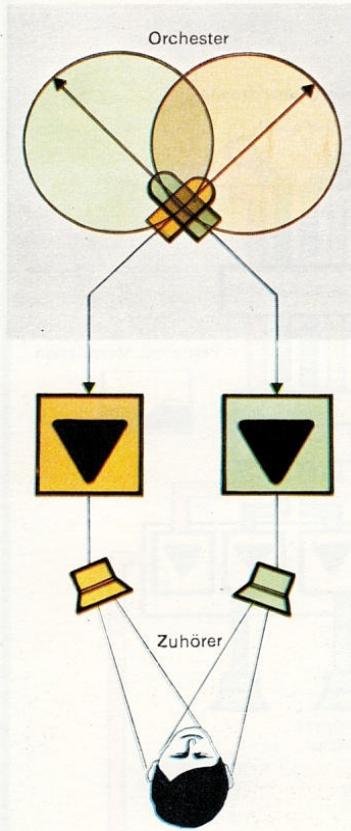
Vierkanal-Stereofonie (Quadrofonie)

Weil der Ausstrahlwinkel von 60° für den Hörer von Stereosendungen unbefriedigend erschien, haben Toningenieure eine Reihe von Verfahren entwickelt, mit deren Hilfe den Hörer ein Schallfeld von 360° umgibt. Zwei Überlegungen sprechen für ein solches Schallfeld:

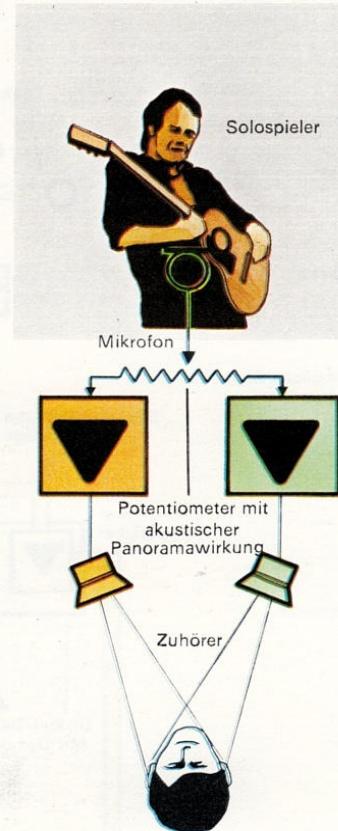
1. Die genaue Wiedergabe aller Schallreflexionen des Konzertraumes. Sie umfaßt mehr als 50% des gesamten einfallenden Schalles, der den Zuhörer erreicht und ihm damit den Eindruck vermittelt, in einem großen Zuhörerraum zu sitzen.
2. Es entsteht ein Höreindruck, als säße der Zuhörer inmitten der Ausführenden. Damit lassen sich in Hörspielen spezielle Effekte erzielen, die auch von Pop-Gruppen genutzt werden.

Ähnliche Systeme benötigen zur Informationsübertragung vier Kanäle: vier Mikrofone, vier Verstärker und vier Lautsprecher, weshalb dieses Verfahren Quadrofonie heißt. Die Quadrofonie kann als Erweiterung der Stereofonie angesehen werden, denn alle grundlegenden Ausführungen dieses Übertragungsverfahrens ergeben sich aus der Fähigkeit des

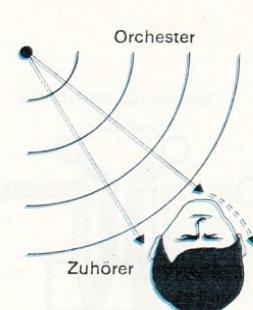
Blumlein-Stereotechnik



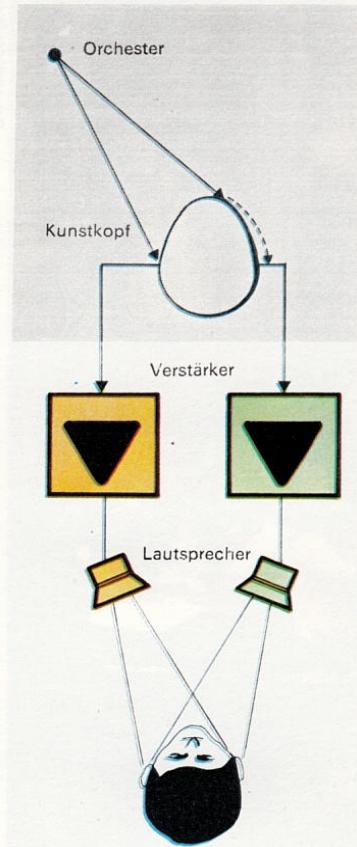
Stereo mit veränderlichem Widerstand



Schallortung



Kunstkopf stereofonie



menschlichen Ohres, die Richtung eines Schallereignisses ausfindig machen zu können. Jedes benachbarte Mikrofonpaar arbeitet als Stereopaar und gibt die Richtung der direkten oder reflektierten einfallenden Schallwellen innerhalb eines 90°-Viertelbogens wieder, der durch ein entsprechend aufgebautes Lautsprecherpaar in der Wohnung gebildet wird. So liegt ein Mikrofonpaar links vorn, rechts vorn, rechts hinten usw. Der Hörer wiederum muß ein Lautsprecherpaar vor sich und eines hinter sich aufbauen. Man kann nun, ähnlich wie bei der vorher beschriebenen Pseudo-Stereofonie, mit Hilfe von Pontentiometern an jeder beliebigen Stelle, beispielsweise zwischen mehreren Sprechern, ein Instrument oder eine weitere Stimme erscheinen lassen. Ebenso läßt sich der Schall zu allen vier Lautsprechern gleich stark führen; beim Zuhörer entsteht der Eindruck, als 'spiele sich alles in seinem Kopf ab'.

Quadrofonie auf Schallplatten

Wie beim Stereo-Verfahren ist es sehr einfach, quadrofonische Aufnahmen auf Tonband aufzuzeichnen: Auf vier Bandspuren lassen sich alle vier Kanäle aufnehmen. Schwieriger wird es, die vier Signale in einer einzigen Rille auf der Schallplatte unterzubringen. Zwei unterschiedliche Methoden haben sich entwickelt, die beide von den verschiedenen Schallplattenfirmen angewendet werden.

Das einfachere Verfahren ist als Matrix-Quadrofonie bekannt. Die vier Signale werden in einem Codierer (Verschlüsseler) nach einer vorgegebenen Phasen- oder Amplitudendifferenz vor der Speicherung auf einer normalen Stereoplatte zusammengefaßt. Der Käufer kann die Platte auf einem gewöhnlichen Stereo-Plattenspieler abspielen. Als einzige Zusatzeinrichtung braucht er einen Matrix-Decoder, der die vier ursprünglichen Signale wieder herstellt, die den vier Verstärkerkanälen und vier Lautsprechern zugeführt werden. Die Matrix-Quadrofonie ist nicht sehr teuer und unkompliziert. Allerdings bleiben Richtungseffekte ungenau, weil über die Matrix keine saubere Kanaltrennung erfolgen kann und so ein relativ großes Übersprechen zwischen den

Der Stereo-Effekt wird mit gleichartigen Mikrofonen erzielt, die Intensitätsunterschiede aufnehmen. Künstliche Stereoeffekte erhält man mit einem veränderlichen Widerstand (Potentiometer). Mit einem Potentiometer kann ein Solospielder in jeder gewünschten Position zwischen zwei Sprechern erscheinen. Der tatsächliche Stereo-Effekt beruht auf der Zeitverzögerung zwischen linkem und rechtem Ohr, der Intensität und der Tonfärbung. Beim Tonkopfverfahren wird der menschliche Hörvorgang nachvollzogen und ein echter Stereo-Effekt erreicht.

Kanälen auftritt. Es ist eine Reihe übertrieben aufwendiger elektrischer Schaltungen zur Verhinderung des Übersprechens entwickelt worden. So erfaßt man z.B. in einer solchen Schaltung das augenblicklich stärkste Signal, verstärkt es und führt es zum entsprechenden Lautsprecher. Dieser Aufwand muß jedoch mit höheren Kosten bezahlt werden. Außerdem hat die Schaltung bei den verschiedenen Musikarten eine unterschiedliche Wirkung.

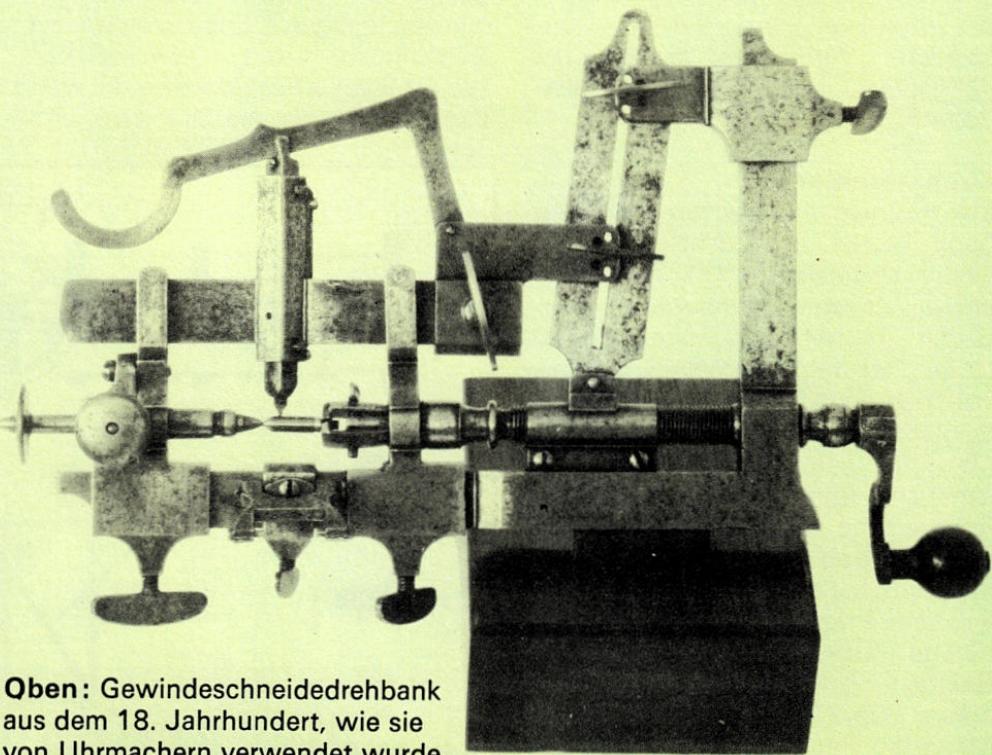
Eine viel bessere Trennung der Kanäle erhält man mit dem zweiten Schallplattenverfahren, das als diskrete Quadrofonie bekannt ist. Nachteilig ist jedoch bei diesem Verfahren der große technische Aufwand, der zu erhöhten Kosten führt. Die Platten neigen bereits zu Rauschen und zu Verzerrungen, wenn sie nur einige Male abgespielt wurden.

Das Prinzip der diskreten Quadrofonie ist dem Stereo-Rundfunkverfahren verwandt: Hier wird allerdings ein Hilfsträger mit 30 kHz verwendet. Werden die Signale des linken Kanals beispielsweise zum Schneidekopf geführt, moduliert man das Differenzsignal ($L_f - L_b$) auf den Hilfsträger. Das Summensignal ($L_f + L_b$) wird wie das Basisband in die Platte eingeprägt. L_f bedeutet hierbei den Informationsanteil vor dem Zuhörer, L_b den Informationsanteil hinter dem Zuhörer.

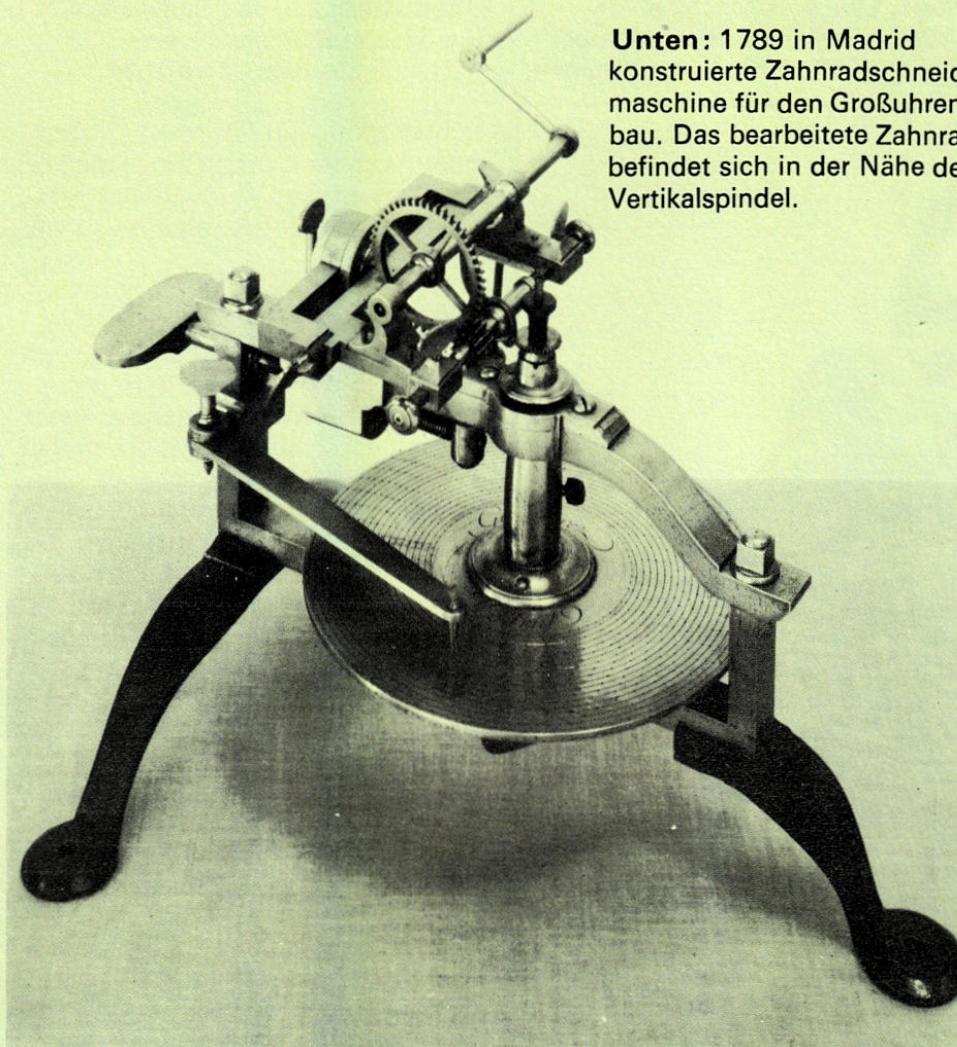
Das Wiedergabegerät muß einen Demodulator (Gleichrichter) besitzen, der den Träger erkennt und die vier Quadrofoniesignale aus dem Frequenzgemisch zurückgewinnt. Da auf einer derartigen Schallplatte ein sehr großes Frequenzband bis zu 45 kHz untergebracht ist, muß der Plattenspieler einen speziellen Tonabnehmer besitzen. Die Schneideinrichtung des Plattenherstellers ist kompliziert aufgebaut. Der Schneidvorgang läuft mit langsamer Geschwindigkeit ab, damit auch die höchste Frequenz vom Schneidekopf auf die Platte übertragen werden kann. Mit dem Schneidvorgang verbindet man gleichzeitig eine Rauschunterdrückung und eine Vorverzerrung. Die Schallplatten müssen aus neuartigen Kunststoffmaterialien gepreßt werden, damit die Abnutzungsercheinungen gering bleiben.

Erfindungen 50: WERKZEUG-MASCHINE

Im 18. Jahrhundert bestanden viele mechanische Teile im Bereich der sich entwickelnden industriellen Technik (z.B. mechanische Teile an Wasserrädern, Textilmaschinen, im Bergbau- und Hüttenwesen, bei den ersten Eisenbahnen und Eisenbahnwagen) teilweise oder völlig aus Holz. Um jedoch angesichts ständig wachsender Beanspruchung und gleichzeitig zunehmender Betriebsgeschwindigkeiten die Lebensdauer sich bewegender Teile zu verlängern und ihnen eine größere Festigkeit zu verleihen, mußten immer mehr Metallteile eingeführt werden. Der Übergang zu zuverlässigeren und im Bau komplizierteren Maschinen mit hoher Maßgenauigkeit aus Eisen und Stahl war wohl eines der bedeutendsten Merkmale der Industriellen Revolution und machte die Entwicklung einer neuen Generation von Maschinen erforderlich, die in der modernen Technik unserer Tage eine Schlüsselstellung einnehmen — die Werkzeugmaschinen.



Oben: Gewindeschneidedrehbank aus dem 18. Jahrhundert, wie sie von Uhrmachern verwendet wurde.



Unten: 1789 in Madrid konstruierte Zahnradschneidemaschine für den Großuhrenbau. Das bearbeitete Zahnrad befindet sich in der Nähe der Vertikalspindel.

Werkzeugmaschinen haben ihren Ursprung in den speziellen Bedürfnissen der Hersteller von Möbeln, Großuhren, Werkzeugen, Meßinstrumenten und Schußwaffen. Jahrhundertelang hatten Möbelhersteller und andere holzverarbeitende Handwerker zum Drehen der verschiedensten Teile mit zum Teil sehr sorgfältig ausgearbeiteten Formen ganz einfache Drechselbänke verwendet. Der Büchsenmacher benutzte zur Herstellung von Geschützen angetriebene Bohrmeißel. Die Hersteller von Großuhren und Meßinstrumenten verfügten zum präzisen Anfertigen und Kalibrieren optischer und mechanischer Teile über eine Vielzahl von Verzahnungs- und Gewindeschneidwerkzeugen, Schleifmaschinen und Drehbänken. Es bestand aber die Notwendigkeit, Schrauben mit genauer und äußerst feiner Ganghöhe (Entfernung zwischen den einzelnen Windungen des Schraubengewindes) bei häufig nur sehr geringer Schraubengroße herzustellen.

Die Gewindeschneidedrehbank war im 18. Jahrhundert an sich keine neue Idee; neu und bis dahin ohne Beispiel war jedoch die von zeitgenössischen Maschinenbauern wie dem Engländer Jesse Ramsden (1735 bis 1800) angestrebte und auch

erreichte Präzision.

Die zur Geschützherstellung verwendeten Bohrmaschinen wurden in größerem Maße weiterentwickelt als die Werkzeugmaschinen zur Herstellung von Großuhren oder Meßinstrumenten. Mit ihnen ließen sich die Eisenzyliner von Dampfmaschinen, die im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts Verbreitung fanden, zur Aufnahme des Dampfes ausbohren.

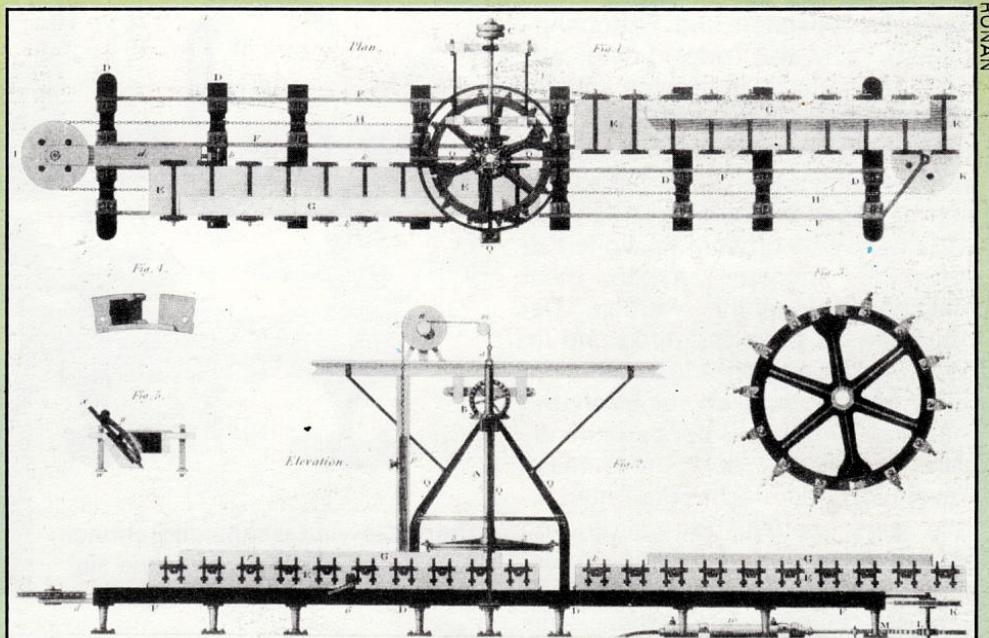
Drehmaschinen

Der Prototyp der industriellen Drehbank wurde von dem Engländer Henry Maudslay (1771 bis 1831) entwickelt, wie überhaupt die Engländer im Werkzeugmaschinenbau lange Zeit führend waren, bis sie von den USA und schließlich von Deutschland eingeholt wurden. Maudslay nahm die besten Eigenschaften früherer Konstruktionen, fügte eigene Neuerungen hinzu und verbesserte so die Gewindeschneide-drehbank bei gleichzeitiger Wahrung äußerster Präzision entscheidend und dehnte ihren Einsatzbereich auf die Bearbeitung von Eisen aus. Ingenieure und Techniker, die bei Maudslay ihre Ausbildung erhalten hatten, wie Richard Roberts und Joseph Whitworth, schufen größere und leistungsfähigere Drehmaschinen, die noch vielseitiger verwendbar waren. Ihre Maschinen waren die

erste Generation von Produktions-drehbänken für die Industrie, deren typische Merkmale wie Regelantrieb, Zahnradvorgelege, Leitspindeln und Werkzeugschlitten sich auch noch bei unseren heutigen Maschinen finden.

Drehmaschinen können zum Längs- und Plandrehen, zum Gewindeschneiden und damit zur Bearbeitung nahezu jeder ebenen Werkstückoberfläche verwendet werden, die sich in die Drehbank ein-

gespannt, in Drehung versetzen lässt, wobei ein starr geführtes Werkzeug, der Drehmeißel, von der Oberfläche einen fortlaufenden Span abnimmt (Zerspanung, spanabhebende Formung). Die Herstellung vieler verschiedener Maschinenteile erforderte jedoch andere Techniken, insbesondere im Falle komplizierter Anordnungen von ebenen Oberflächen mit Schlitten und Nuten oder auch bei großen, ebenen Arbeitsstücken, die



Unten: Eine Fräsmaschine von Eli Whitney, die aus den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts stammt.

Oben: Grundriß und Seitenansicht von Joseph Bramahs Hobelmaschine aus dem Jahre 1802.

sich aufgrund ihrer Ausmaße nicht in einer Drehbank festspannen ließen. Hier konnte die Erfindung von Fräsmaschine und Hobelmaschine Abhilfe schaffen.

Fräsmaschinen

Die Fräsmaschine, etwa um 1820 von dem Amerikaner Eli Whitney erfunden, dient zur spanabhebenden Bearbeitung von Holz oder Metall, wobei ein mit Schneiden versehenes, umlaufendes Werkzeug (Fräser) Späne von dem Werkstück abnimmt, das auf einem unter dem Fräser hinweglaufenden Tisch aufgespannt ist. Die Hobelmaschine, bei der das auf dem Hobeltisch aufgespannte Werkstück unter dem feststehenden Hobelmeißel hin- und herbewegt wird, wurde ebenfalls in England erfunden; eine frühe Version aus dem Jahre 1817 wird Richard Roberts zugeschrieben. Kurze Zeit später brachte Roberts einen Zahnradfräser auf den Markt, eine Maschine, die viel Ähnlichkeit mit den Zahnrad-schneidemaschinen der Großuhrenbauer hatte. Sie stellte jedoch eine bedeutende Weiterentwicklung dar.

