

HEFT 33 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



---

scan: **IGDL**

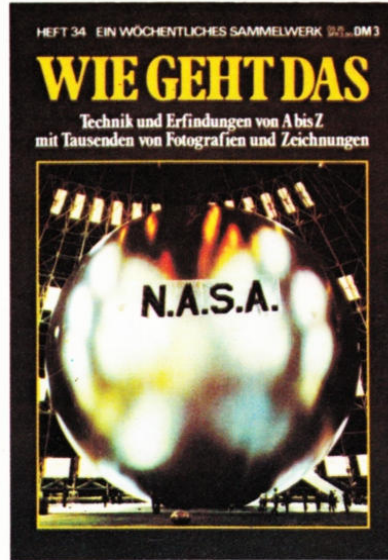


# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Lochkartengeräte	897
Logarithmus	899
Logikschaltungen	903
Luftschleuse	907
Lumineszenz	909
Magnetband	913
Magnetismus	917
Magnetohydrodynamik (MHD)	922

## In Heft 34 von Wie Geht Das



Wie schon in der Bronzezeit so hängt der Mensch noch heute sehr stark von der Verwendung von Metallen ab. Ohne Metalle gäbe es keine moderne Technologie. Finden Sie alles über die charakteristischen Eigenschaften von metallischen Elementen heraus—in Heft 34 von Wie Geht Das.

Eine der interessantesten Entwicklungen in der Computer-Technologie ist eine Maschine, die gedruckte Daten ablesen kann. Im nächsten Heft erklären wir, wie 'Maschinelles Lesen' funktioniert.

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE 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.

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

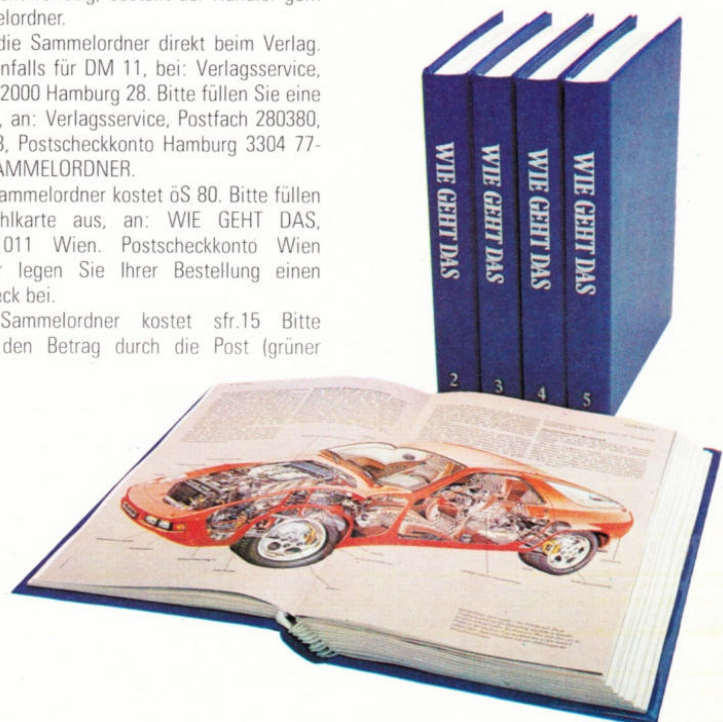
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

Einzahlschein) 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.





## LOCHKARTENGERÄTE

**Heute haben Computer die ursprünglichen Lochkarten-geräte ersetzt. Kartenleser und -locher sind notwendige, sogenannte periphere Geräte am Computer.**

Bis zum ersten Einsatz des elektronischen Rechners Ende der vierziger Jahre kannte man nur automatische Rechensysteme in Form von Lochkarten, die Informationen lieferten. Die Lochkartenmaschinen konnten einfache arithmetische und statistische Operationen ausführen. Heute werden Lochkarten vorwiegend dazu benutzt, Informationen dem COMPUTER mitzuteilen.

Die Lochkarten wurden ursprünglich mit einer Kapazität von 21 Spalten und mehr und mit jeweils 12 Zeilen hergestellt. Heute kennt man nur noch die beiden Standardtypen mit 80 Spalten zu 12 Zeilen und 96 Spalten zu 6 Zeilen. Die 80-spaltige Lochkarte hat die gleiche Größe wie ein 1-Dollar-Schein aus dem Jahre 1890 (18,7 × 8,3 cm). In die 96-spaltige Lochkarte werden kleine Löcher gestanzt, wodurch sie auf gleichem Raume mehr Informationen unterbringen als die 80-spaltigen Lochkarten, in denen die Lochungen relativ große Rechtecke sind. Eine 96spaltige Lochkarte kann also in den Abmessungen kleiner ausgeführt werden, weil die Lochungen kleiner sind und auch nur 6 statt 12 Zeilen verwendet werden.

Die automatische Verarbeitung von Daten muß immer damit beginnen, daß die dem Computer zugeführte Information in einer codierten 'Sprache' vorliegt, die der Computer 'versteht'. Das Einspeisen von Informationen in den Computer kann heute auf vielfältige Weise erfolgen. Die älteste Technik ist das Lochen der Karten in einem bestimmten Code, der numerische Zeichen, Alphazeichen — man spricht

auch allgemein von alphanumerischen Zeichen — und mathematische Zeichen, wie z.B. '+' oder '-', darstellt. Liegt eine Information in dieser codierten Form vor, kann sie zur Datenverarbeitung in Computern oder auch von einer ganzen Reihe anderer Lochkartenmaschinen benutzt werden.

### Kartenlocher

Die Informationen werden mit Hilfe von Kartenlochern auf die Lochkarten übertragen. Ein Kartenlocher hat eine Tastatur, die der Schreibmaschinentastatur ähnelt. Er stanzt Löcher in die Lochkarte. Zu Beginn des Lochens werden in das Kartenmagazin an der rechten Seite bis zu 500 Leerkarten eingegeben. Durch Drücken der Taste 'feed' gelangt eine Karte aus dem Magazin in die Stanzstation, die unmittelbar unterhalb des Kartenmagazins liegt. Wird eine der Zeichentasten gedrückt, wird die zu lochende Zeichenkombination automatisch auf die Lochkarte gelocht. Nach erfolgter Lochung rutscht die Karte in die nächste Spalte, um hier das nächste Zeichen zu lochen.

Nachdem die Information auf die Karte gelocht ist, bewegt sich die Karte zur Lesestation, die sich links von der Stanzstation befindet. Die Lesestation enthält 12 metallische Kontaktbürsten, die jeweils eine der 12 Zeilen auf der Lochkarte ansteuert. Die Lochkarte läuft zwischen den Kontaktbürsten und einer Metallrolle. Wurde ein Loch gestanzt, entsteht zwischen den Kontaktbürsten und der Metallrolle ein elektrischer Kontakt. Falls erwünscht, kann nun der elektrische Impuls auf die Stanzstation übertragen werden, um eine nachfolgende Lochkarte in gleicher Weise zu lochen. Man spricht auch vom Duplizieren von Lochkarten.

Nachdem die Lochkarte die Lesestation durchlaufen hat,

*Ein modernes Lochkartengerät, in dem alle wichtigen Funktionen wie Stanzen, Überprüfen und Lochschriftübersetzen enthalten sind.*





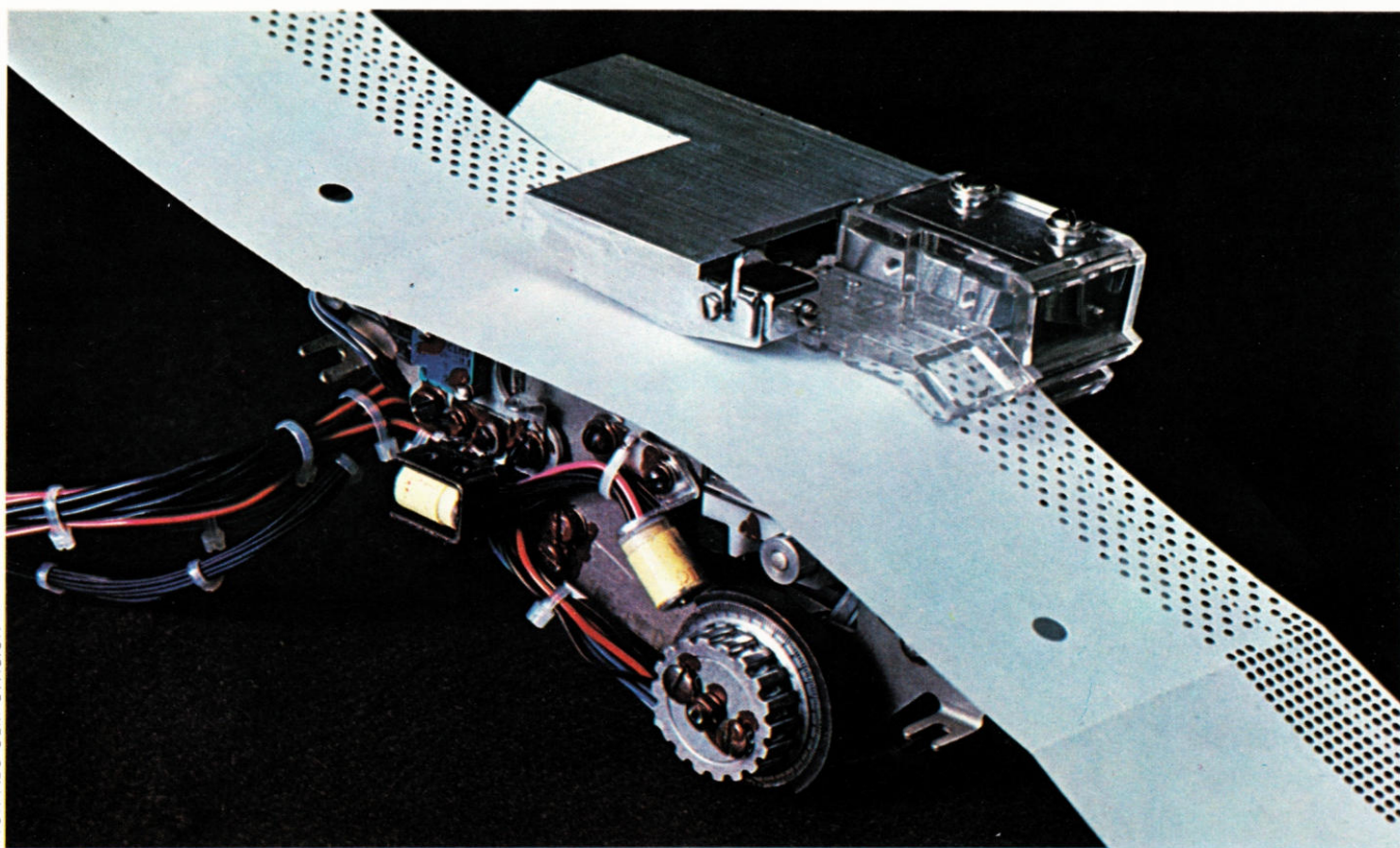
wird sie in dem Ablagefach abgelegt. Sind alle 500 Lochkarten bearbeitet, schaltet sich das Lochkartengerät automatisch aus. Einige Operationen, wie Springen über mehrere Spalten, Duplizieren oder Umschalten vom Stanzen numerischer Zeichen in alphanumerische Zeichen, können automatisch von einer vorprogrammierten Lochkarte, die auf eine Trommel gespannt wird, gesteuert werden. Die auf der vorprogrammierten Lochkarte befindlichen Operationen werden durch Sternräder gelesen. Sie sind federnd aufgehängt. Wenn ein Loch erkannt wird, wird ein Mikroschalter ausgelöst, der einen Impuls an die Steuerschaltungen des Lochkartenstanzers weitergibt.

Bei neueren Lochkartenstanzern werden zuerst alle Informationen für eine Lochkarte in einen Speicher eingespeichert. Hierdurch kann der Bediener eventuelle Fehler beseitigen. Erst danach wird die Lochkarte gestanzt.

Maschine das Graphit des Bleistiftes erkennt. Die Information wird in den Maschinencode umgesetzt. Anschließend kann die Information automatisch auf Lochkarten übertragen werden. Dieser Maschinentyp ist heute etwas veraltet. Moderne Maschinen können Informationen durch optische Zeichenerkennung deuten.

### Lochkartenleser

Die auf Lochkarten gespeicherten Informationen werden mit Hilfe von Lochkartenlesern in die Zentraleinheit eingelesen. Diese Geräte werden von der Zentraleinheit angesteuert. Der Bediener gibt die Lochkarten in ein sogenanntes Kartenmagazin. Der Lochkartenleser bringt die Lochkarte zur Lesestation, wo die Informationen auf der Lochkarte gelesen und in die Zentraleinheit weitergeleitet werden. Frühere Lochkartenleser erfaßten die Information ähnlich wie Loch-



*Die Leseinheit eines Lochstreifenlesers. Diese Geräte können entweder Papierstreifen oder Kartensätze lesen.*

Gewöhnlich werden Lochkarten zum Aufbereiten der Daten gestanzt, d.h. zum Umsetzen der Informationen in einen maschinengerechten Code. Man kennt aber auch Stanzvorgänge, die vom Computer ausgeführt werden. Hier kann man sich beispielsweise ein im Computer befindliches Programm auf Lochkarten stanzen lassen. Diese Lochkarten können dann an anderer Stelle wieder als Dateneingabe dienen.

Die Geschwindigkeit, mit der Lochkarten gestanzt werden können, hängt von der Geschicklichkeit des Bedieners ab. Pro Stunde können zwischen 250 und 500 Lochkarten erstellt werden. Werden jedoch Lochkarten unter der Steuerung des Computers gestanzt, kann man pro Minute 120 Lochkarten erhalten. Hat man mit Hilfe eines Bleistiftes einen sogenannten Markierungsbeleg beschrieben, wird von der entsprechenden

kartenstanzer. Metallbürsten streifen über die Lochkarte. War in die Lochkarte ein Loch gestanzt, kam es zu einem elektrischen Kontakt mit einer unter der Lochplatte liegenden Metallplatte. Heutige Kartenleser arbeiten mit Fotozellen. Sie sind bedeutend schneller als mechanische Abtasteinrichtungen und können zwischen 300 und 2 000 Karten pro Minute erfassen. Kartenlesegeräte sind auch in Sortierern enthalten.

Unabhängig von den Fortschritten in der Datenverarbeitung sind Lochkarten auch heute noch wichtige Datenträger und wichtige Speichermedien. Vorgestanzte Lochkarten werden z.B. in der Bekleidungsindustrie den Kleidern beigelegt. Nach Verkauf der Kleidungsstücke werden sie an das Computerzentrum zurückgesendet, um Verkaufsanalysen zu erstellen. Über Lochkarten werden auch die Ersatzteillager der Zulieferer von Automobilkonzernen überwacht: Der Lagerbestand wird pro verkauftes Teil über Lochkarten und Lochkartenleser einem Zentralcomputer mitgeteilt. Was die einfache Handhabung betrifft, gibt es für die Lochkarte derzeit noch keine Alternative.



# LOGARITHMUS

Als es noch keine elektronischen Taschenrechner gab, spielte für Astronomen und Ingenieure das Rechnen mit Logarithmen eine große Rolle, weil Rechnungen mit sehr großen und sehr kleinen Zahlen sehr genau durchgeführt werden mußten.

Der Logarithmus ist eine weitere Art der Zahlendarstellung. Er ist aber auch aufs engste mit der Natur der Zahl verbunden. Ein riesiger Zahlenbereich (von den kleinsten Bruchzahlen bis zu den größten Zahlen) kann durch das Rechnen mit Logarithmen vereinfacht dargestellt werden. Mit Logarithmen rechnet man sehr häufig im Ingenieurwesen, in den Naturwissenschaften und in der Mathematik. Es wurden Logarithmentafeln gedruckt, die dazu dienen, eine schnelle Umwandlung einer Zahl in ihren Logarithmus (und umgekehrt) vornehmen zu können. Auch ein Rechenschieber hat eine logarithmische Einteilung.

## Zahlen

Der Mensch ist gewohnt, in einem Zahlensystem zur Basis 10 zu zählen. Der Mensch hat 10 Finger, und in dem ihm gewohnten Zahlensystem kennt er 10 Zeichen: Null (0), Eins (1) usw. bis Neun (9). Mit diesen 10 Zeichen kann jede beliebige Zahl dargestellt werden. Jede ganze Zahl, die größer als 9, aber kleiner als 100 ist, läßt sich mit zwei Stellen beschreiben. Mit drei Stellen kann jede ganze Zahl zwischen 100 und 999 dargestellt werden.

Dieses sogenannte Dezimalsystem, das als erstes im Rechenunterricht in der Schule behandelt wird, ist relativ einfach zu verstehen und zu handhaben.

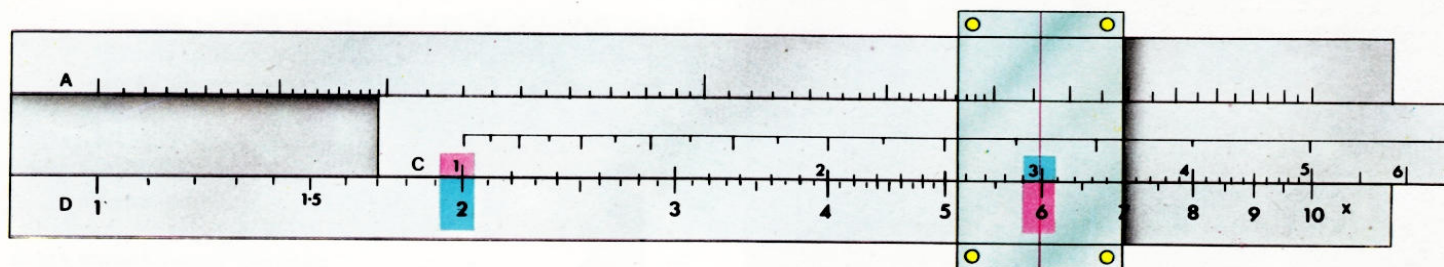
Solch ein Zahlensystem wird jedoch unhandlich, wenn man mit großen Zahlen zu rechnen hat. Zehn Personen kann man noch erfassen, bei 1000 Personen ist dies schon äußerst schwer. Die Weltbevölkerung dürfte über Viertausendfünfhundertmillionen Menschen betragen. Diese Zahl, in Ziffern ausgeschrieben (4 500 000 000), ist unvorstellbar groß. Bei einem Strom von 1 Ampere treten pro Sekunde etwa sechs Millionen Millionen Elektronen durch eine Flächeneinheit. In Ziffern ausgedrückt (6 000 000 000 000 000) ist dieser Wert unvorstellbar groß.

Die gleichen Schwierigkeiten hat man bei extrem kleinen Größen. Ein Zehntel kann als 0,1, ein Hundertstel als 0,01 geschrieben werden. Ein Millionstel (0,000 001) jedoch ist schon schwer zu schreiben.

## Potenzen und Logarithmen

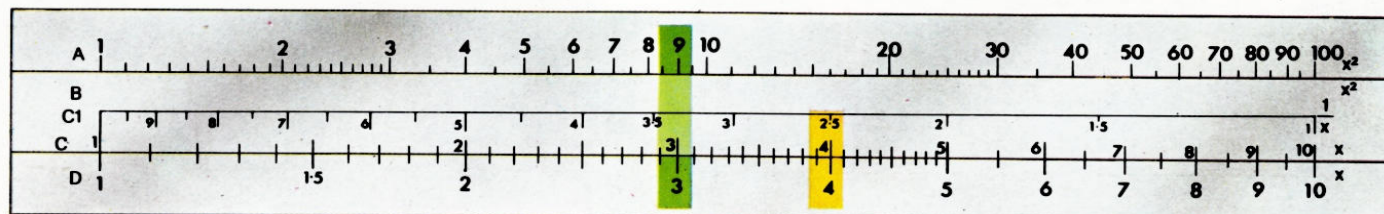
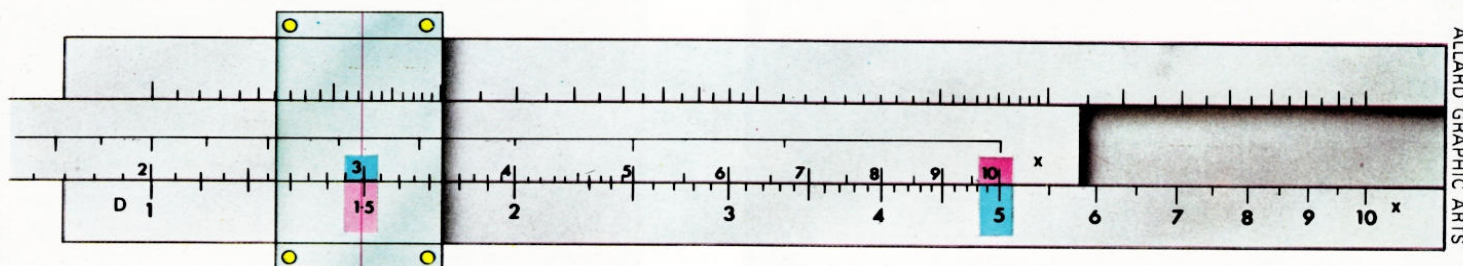
Eine einfache Möglichkeit, sehr große und sehr kleine Zahlen zu beschreiben, ist die Potenz. Die Zahl 100 kann als Produkt von  $10 \cdot 10$  oder einfacher als  $10^2$  geschrieben werden. Man spricht von 'Zehn Quadrat' und meint 'Zehn erhoben in die zweite Potenz'. Eine Million ist das Produkt aus 6mal der Zahl 10. Deshalb kann man 1 Million auch kurz  $10^6$  schreiben.

Diese 'Kurzschrift' erspart viel Schreibarbeit. Sie kann auch auf kleine Zahlen übertragen werden. Da  $100 = 10^2$ ,  $10 = 10^1$ ,  $1 = 10^0$  (man beachte, daß jede Zahl hoch Null = 1 ist), kann man die Potenzen auch in den negativen Bereich

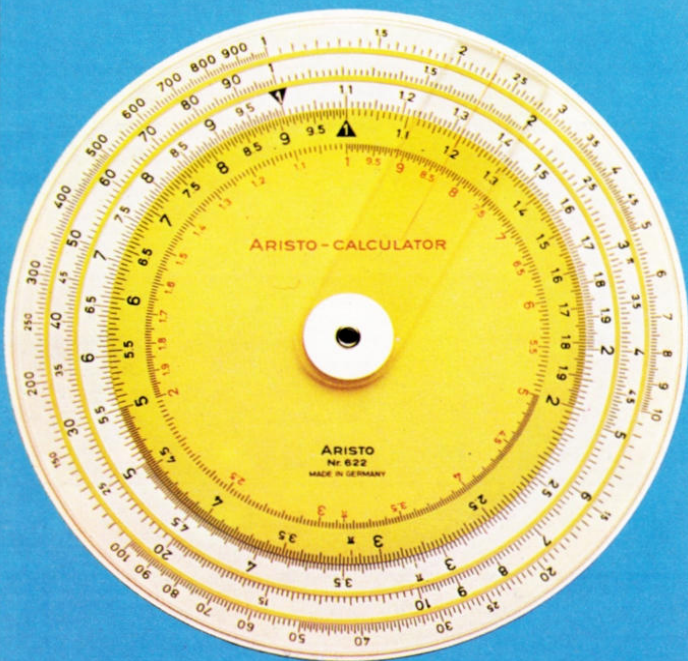
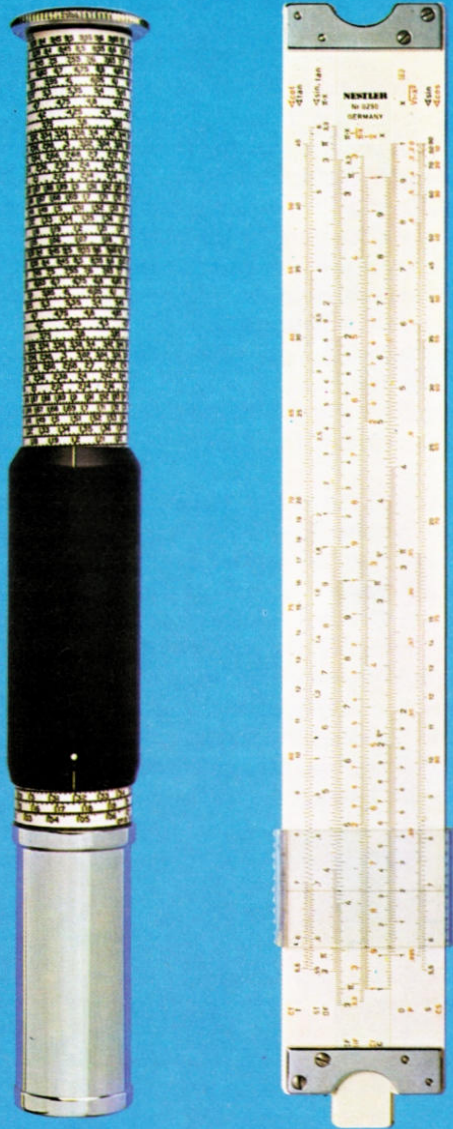


Die Hauptskala auf Rechenschiebern ist logarithmisch. Die Zahlen sind in Intervallen markiert, die ihrem Logarithmus entsprechen. Im Bild oben die Multiplikation  $2 \times 3$ . Die Eins auf Skala C wird mit der Zwei auf Skala D übereinandergeschieben. Gegenüber der Drei auf Skala C kann das Ergebnis Sechs auf Skala D abgelesen werden. Dies ist so, weil  $\log 2 + \log 3$   $\log(2 \times 3)$  entspricht. Für größere Zahlen wird statt der Eins die Zehn auf der C-Skala verwendet. Dies bewirkt, daß  $\log 10$  abgezogen wird und das erzielte Ergebnis zehnmal kleiner ist als

die richtige Antwort. Im Beispiel unten wird als Ergebnis von  $3 \times 5$  der Wert 1,5 gezeigt. Im untersten Bild sieht man, daß die Skala A das Quadrat der Skala C auf gleicher Länge angibt. Die Addition von  $\log 3$  und  $\log 3$  entspricht also  $(3 \times 3)$  oder 9. Die C1-Skala gibt den Umkehrwert der C-Skala. Der Logarithmus von  $\frac{1}{4}$  entspricht demnach dem Logarithmus von 4, allerdings mit einem umgekehrten Vorzeichen. Die Vier auf der C-Skala steht gegenüber dem Wert 2,5 auf der C1-Skala, weil  $\log \frac{1}{4} = -\log 4$  ist.



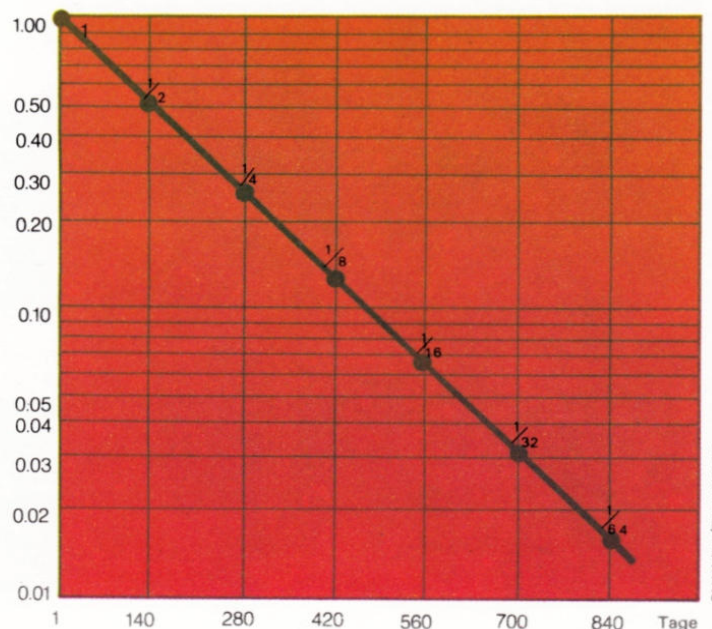
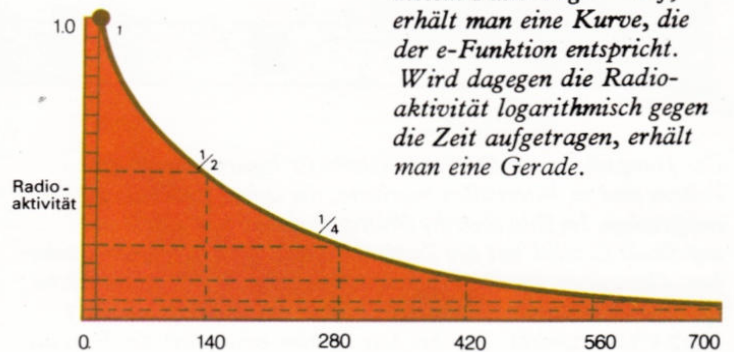




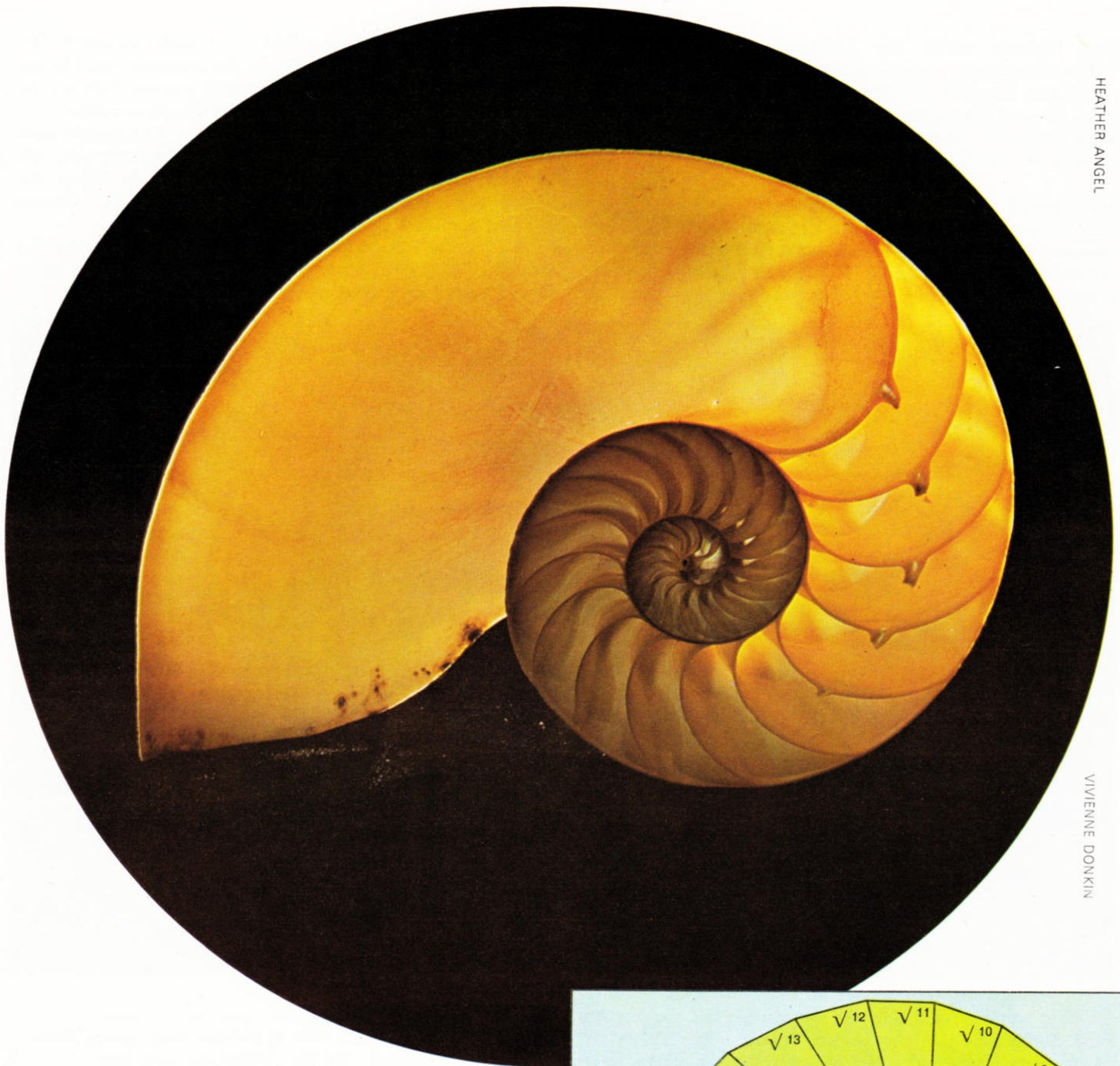
**Rechts:** Ein Querschnitt durch die Muschel des Meerestieres *Nautilus pompilius*. Das Äußere der Muschel des Tieres bildet eine perfekte Spirale, die sogenannte logarithmische Spirale. Während sich die Spirale nach außen fortsetzt, erweitern sich ihre Kurven derartig, daß der Logarithmus ihres Radius jeweils proportional der von ihr zurückgelegten Windungen ist. Logarithmen eignen sich sehr gut zu Berechnungen mit großen Zahlen, da ihre Größe selbst bei sehr großen Zahlen nur langsam zunimmt. Ihr mathematisches Wachstum ist viel langsamer als zum Beispiel das der Quadratwurzeln, die im Spiraldiagramm unten rechts eingezeichnet sind. Es kann mathematisch bewiesen werden, daß das Wachstum von Logarithmen auch langsamer ist als die Zunahme von Kubikwurzeln, vierten Wurzeln oder anderen höheren Wurzeln.

**Links:** Drei verschiedene Arten von Rechenschiebern. Der Rechenschieber in der rechteckigen länglichen Form wird am häufigsten benutzt, aber die beiden anderen funktionieren nach genau demselben Prinzip. Bei einer Rechenscheibe hören die Zahlen nicht plötzlich (wie beim rechteckigen) am Ende der Skala auf, und der Rechenprozeß dauert nicht so lange. Bei einem zylindrischen Rechenschieber kann die Skala spiralförmig aufgedruckt werden, so daß man mehrere Unterteilungen berücksichtigen kann und größere Genauigkeit erzielt.

**Unten:** Polonium ist ein radioaktives Element mit einer Halbwertszeit von 140 Tagen, d.h. seine Radioaktivität hat sich nach 140 Tagen halbiert. Trägt man die Radioaktivität gegen die Zeit — in diesem Falle Tage — auf, erhält man eine Kurve, die der  $e$ -Funktion entspricht. Wird dagegen die Radioaktivität logarithmisch gegen die Zeit aufgetragen, erhält man eine Gerade.





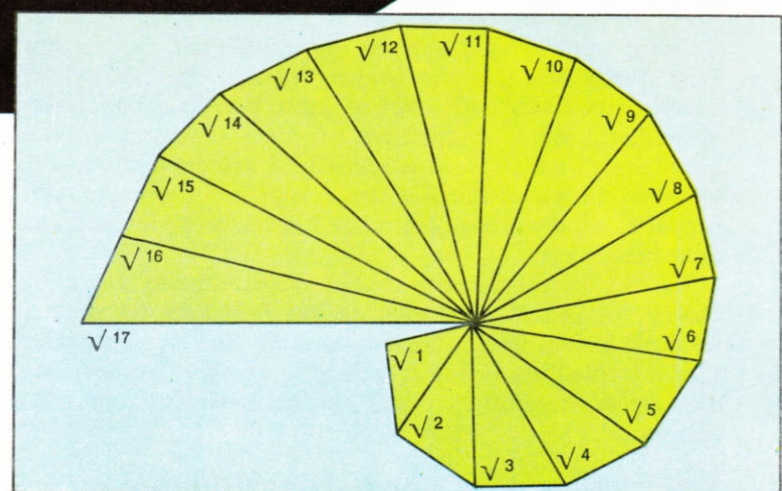


fortsetzen. Beispielsweise kann man 1 Zehntel (0,1) als  $10^{-1}$ , 1 Hundertstel (0,01) als  $10^{-2}$  und 1 Millionstel als  $10^{-6}$  schreiben.

Es ist nun nicht unbedingt erforderlich, die Basis des Zahlensystems mitzuschreiben, wenn verstanden ist, worum es sich handelt. Die Potenz allein reicht dann aus, um die ursprüngliche Zahl zu beschreiben. Man nennt diese Potenz den Logarithmus der Zahl — in diesem Falle zur Basis 10. D.h. 6 ist der Logarithmus zur Basis 10 von 1 Million und  $-2$  ist der Logarithmus zur Basis 10 von 1 Hundertstel. Der Logarithmus von 10 ist 1 und der Logarithmus von 1 ist 0. Die Kürze, mit der Dezimalzahlen dargestellt werden können, zeigt sich darin, daß der Logarithmus von  $+6$  und  $-6$  sich über einen Bereich von 1 Million bis zu 1 Millionstel erstreckt.

### Logarithmentafeln

Das Dezimalsystem besteht nicht nur aus so schönen Zahlen wie 10, 100 oder 0,001. Man kennt aber für jede Zahl einen Logarithmus. Beispielsweise liegt der Logarithmus von 544,6 zur Basis 10 zwischen 2 (entspricht dezimal 100) und 3



(entspricht dezimal 1000). Der Logarithmus von 444,6 kann deshalb nicht ganzzahlig dargestellt werden. Mit Papier und Bleistift ist die logarithmische Darstellung der Dezimalzahl 554,6 nur sehr schwer zu finden. Es existieren deshalb sogenannte Logarithmentafeln, die die Umrechnung erleichtern. Aus der Logarithmentafel entnimmt man für die Dezimalzahl 554,6 den Logarithmus 2,744, wenn man drei Stellen hinter dem Komma einbezieht. Bei 10 Stellen hinter



dem Komma würde der Logarithmus der angeführten Dezimalzahl lauten: 2,7439798652.

Um den Logarithmus einer Dezimalzahl zurückzuverwandeln, können Logarithmentafeln in umgekehrter Reihenfolge gelesen werden. Es wurden jedoch auch Delogarithmentafeln erstellt, die die Rückverwandlung vereinfachen.

### Anwendung der Logarithmen

Mit Hilfe von Logarithmen werden komplizierte Multiplikationen und Divisionen auf einfache Additionen bzw. Subtraktionen zurückgeführt. Es ist z.B.  $100 \cdot 10\,000 = 1\,000\,000$  oder — anders geschrieben —  $10^2 \cdot 10^4 = 10^6$ . Hieraus kann ent-

Kapital um den Zinsfaktor DM  $(1+P/100)$  vermehrt. Die sich hieraus ergebende Summe ist die Ausgangszahl für die Verzinsung im zweiten Jahr. Nach dem zweiten Jahr ist die ursprüngliche Summe auf DM  $(1+P/100)^2$  angewachsen.

Nach  $n$  Jahren beträgt das Wachstum — man spricht auch von Zinseszinsen — DM  $(1+P/100)^n$ . Angenommen, der Zinsfuß ist 100%, würde sich am Ende eines Jahres der Geldbetrag von DM 1 auf DM 2 erhöht haben, nach 2 Jahren auf DM 4, nach 3 Jahren auf DM 8 usw.

Werden die Zinsen zweimal jährlich ausgezahlt, halbieren sich die Zinsen pro Halbjahr auf 50% (statt 100% pro Jahr). Die entsprechende Summe nach einem Jahr ist dann DM



ICELAND TOURIST BUREAU

nommen werden, daß sich die Potenz (6) auf der rechten Seite durch Addition der beiden Potenzen (2+4) auf der linken Seite bilden läßt. Mit anderen Worten: Zwei Dezimalzahlen können multipliziert werden, indem man ihre Logarithmen addiert und anschließend delogarithmiert. Die Division zweier Dezimalzahlen erfolgt so, daß man den Logarithmus der einen Zahl vom Logarithmus der anderen Zahl subtrahiert.

Ein Rechenschieber arbeitet auf logarithmischer Basis. Er besteht aus zwei Einteilungen, die gegeneinander verschoben werden können. Die Multiplikation oder die Division zweier Dezimalzahlen kann einfach dadurch ausgeführt werden, daß man die Abschnitte der einzelnen Skalen addiert oder subtrahiert.

### Natürlicher oder Neper-Logarithmus

In den Naturwissenschaften und der Mathematik gibt es eine Dezimalzahl, die eine solche Bedeutung erlangt hat, daß man ihr ein eigenes Symbol — das Symbol  $e$  — zugeordnet hat. Fünf Stellen hinter dem Komma ist  $e = 2,71828$ . Die Zahl  $e$  kann man als 'Wachstumszahl' ansehen. Das gesamte Wachstum in der Natur, aber auch beispielsweise die Verzinsung eines Sparguthabens, läuft nach einer sogenannten  $e$ -Funktion ab. Man hat z.B. DM 1 auf dem Bankkonto. Nach einem Jahr hat sich bei einem jährlichen Zinsfuß  $P$  das

*Ein Lava speihender Vulkan. Die Lava tritt bei einer Temperatur von mehr als  $1000^\circ\text{C}$  aus dem Berg heraus. Wenn die Lava sich abkühlt, fällt die Temperatur nach dem Exponentialgesetz, so daß der Logarithmus der Temperatur sich proportional zur verstrichenen Zeit verhält. Das gilt für alle abkühlenden Körper.*

$(1 + 50/100)^2$ , d.h. DM  $(1,5)^2 = \text{DM } 2,25$ . D.h. mit steigender Zahl der Auszahlungsraten pro Jahr steigt auch die akkumulierte Summe. Sie wächst allerdings nicht ins Unendliche, sondern nähert sich bei sehr kleinen Zinszahlungszeiträumen dem Wert  $e = 2,71828$  oder — in DM ausgedrückt — dem Geldbetrag DM 2,71828. Würde zum Beispiel der Zinszahlungszeitraum 1 Tag sein, würde das Ergebnis nach 1 Jahr sein:  $(1 + \frac{100}{365 \cdot 100})^{365} = 2,71456$ , ein Wert, der dem Wert der Zahl  $e$  schon sehr nahe liegt.

Die natürlichen oder Neperschen Logarithmen sind Logarithmen zur Basis  $e$ . Man verwendet den natürlichen Logarithmus immer dann, wenn mit Funktionen gerechnet wird, die nach der  $e$ -Funktion verlaufen. Beispiele hierfür sind die Auf- und Entladung eines Kondensators, die Abnahme der Radioaktivität eines radioaktiven Stoffes oder auch das Wachstum von Bäumen.



## LOGIKSCHALTUNGEN

**Logikschaltungen sind die Grundbausteine für extrem komplexe Baugruppen wie z.B. Computer.**

Die Logik zählte ursprünglich zur Philosophie. Sie wurde entwickelt, um das 'vernünftige Denken' zu verbessern. Die Geschichte der formalen Logik beginnt nach allgemeiner Auffassung mit dem griechischen Philosophen Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.). Vermutlich geht die Pflege des 'vernünftigen Denkens' bis auf das Jahr 2000 v. Chr. zurück. Die Entwicklung der Logik machte von Aristoteles bis zum 17. Jahrhundert nur wenig Fortschritte. Erst Bacon (1561 bis 1626), Leibniz (1646 bis 1716) und Descartes (1596 bis 1650) leiteten die moderne Logik ein.

Die Entwicklung der modernen Logik begann im Jahre 1847 mit dem Erscheinen der beiden Werke 'The Mathematical Analysis of Logic' von G. Boole (1815 bis 1864) und 'Formal Logic or the Calculus of Inference, Necessary and Probable' von A. de Morgan (1806 bis 1871). Mit dem sieben Jahre später erschienenen Werk 'The Laws of Thought' schuf G. Boole die Grundlagen der heute bekannten formalen Logik, die den logischen Gedanken in algebraischer Form ausdrückt. Diese sogenannte Boolesche Algebra kennt nur die beiden Werte '0' oder '1' bzw. 'f' oder 'w'. Sie sind

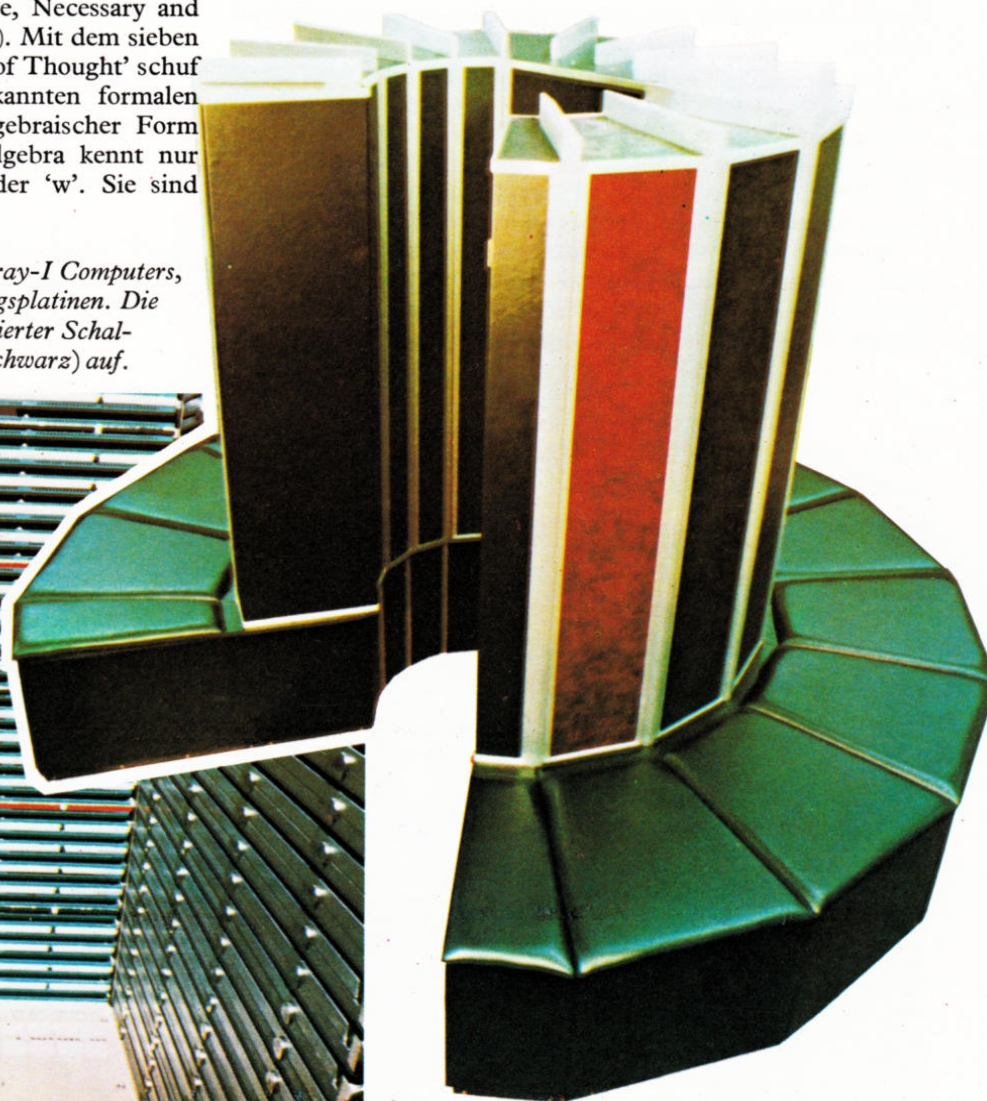
hervorragend geeignet, logische Schaltungen, in denen nur ein Strom fließen oder nicht fließen kann, zu beschreiben. Allerdings bedurfte es hierzu eines Vermittlers zwischen der reinen Mathematik und der Technik. Ein solcher Vermittler war Shannon (geb. 1916), dessen Arbeiten erst die Anwendung der Booleschen Algebra auf moderne logische Gebilde wie den COMPUTER ermöglichten. Die von Shannon geschaffene Untergruppe der Booleschen Algebra heißt Schaltalgebra.

Die Logik kann bei vielen technischen Problemen oder auch bei Problemen des täglichen Lebens angewendet werden. Wendet man die Prinzipien der Logik auf die Problemanalyse an, verfügt man über ein sehr mächtiges Werkzeug zur Lösung der Probleme. In gleicher Weise lassen sich Probleme mit Hilfe logischer Schaltungen, die den Gesetzen der Logik folgen, automatisch lösen. Logische Schaltungen trifft man nicht nur in Computern an, sondern auch bei Telefonsystemen und Geräten im Haus, so wie bei der Steuerung der Zentralheizung oder der Waschmaschine.

**Unten:** Das Innere der Zentraleinheit eines Cray-I Computers, mit einer der 1056 in ihr enthaltenen Schaltungsplatinen. Die gesamte Einheit baut sich aus nur 4 Arten integrierter Schaltungen (weiß) und 2 Arten von Widerständen (schwarz) auf.



CRAY RESEARCH



**Oben:** Die Zentraleinheit des Cray-I-Computers von außen gesehen. Sie hat eine beinahe vollständige zylindrische Form. Der Computer ist einer der leistungsstärksten der Welt. In den bankförmigen Sitzen befinden sich die 12 elektrischen Anschlüsse.



## Hardware

Elektronische Schaltungen beruhen auf elektronischen Bauelementen wie Dioden, Transistoren, Widerständen, Kondensatoren und integrierten Schaltungen. Sie werden in einer Vielzahl verschiedener Anwendungen eingesetzt. Logische Schaltungen müssen nicht ausschließlich aus elektronischen Bauelementen aufgebaut sein. Die ersten Rechenmaschinen arbeiteten rein mechanisch, der erste Computer war aus Relais aufgebaut. Bei industriellen Steuerungssystemen findet man auch heute noch logische Relaisysteme. Zusätzlich hat sich, beispielsweise zur Steuerung in explosionsgefährdeten Räumen, ein eigener Zweig der Logik, die FLUIDIK, herausgebildet. Statt des elektrischen Stromes fließt eine Flüssigkeit.

Das wesentliche Charakteristikum logischer Schaltungen besteht darin, daß sie aus einer Anzahl sehr einfacher Einheiten aufgebaut werden können. In einem Computer sind Millionen solcher Einheiten enthalten. Durch Zusammenschließen der Einheiten und entsprechende Taktsteuerung der Signale können sehr komplizierte logische Systeme aufgebaut werden.

Um die logischen Einheiten so einfach wie möglich zu halten, arbeitet jede logische Schaltung nur mit zwei Signalwerten. Die beiden Zustände der Signalwerte können entweder 'H' (von high = hoch) oder 'L' (von low = niedrig) sein. Bei H-Signal liegt ein gewisser Spannungswert vor, während das L-Signal den niedrigeren Spannungswert anzeigt.

Damit eine logische Schaltung einwandfrei funktioniert, muß nur dafür Sorge getragen werden, daß sich die L- und H-Pegel voneinander unterscheiden. Welcher Spannungswert einem L- oder einem H-Pegel zugeordnet wird, ist weitgehend

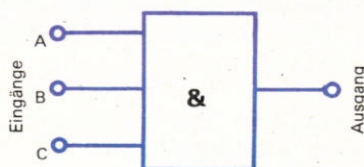
gleichgültig. Man kann beispielsweise einem H-Pegel den Spannungswert +12 V und dem L-Pegel den Spannungswert 0 V zuordnen. Es könnte dem H-Pegel aber auch der Spannungswert -5 V und dem L-Pegel der Spannungswert +7 V zugeordnet werden. Die Spannungsdifferenz beträgt in beiden Fällen 12 V.

## Logische Funktionen

Man benötigt zur Ausführung logischer Operationen nur die drei logischen Funktionen: UND, ODER, NICHT. Um diese logischen Funktionen grafisch darzustellen, kennt man logische Symbole, die nach DIN 40 700 (DIN = Deutsche Industrie Norm) genormt sind.

### UND-Funktion

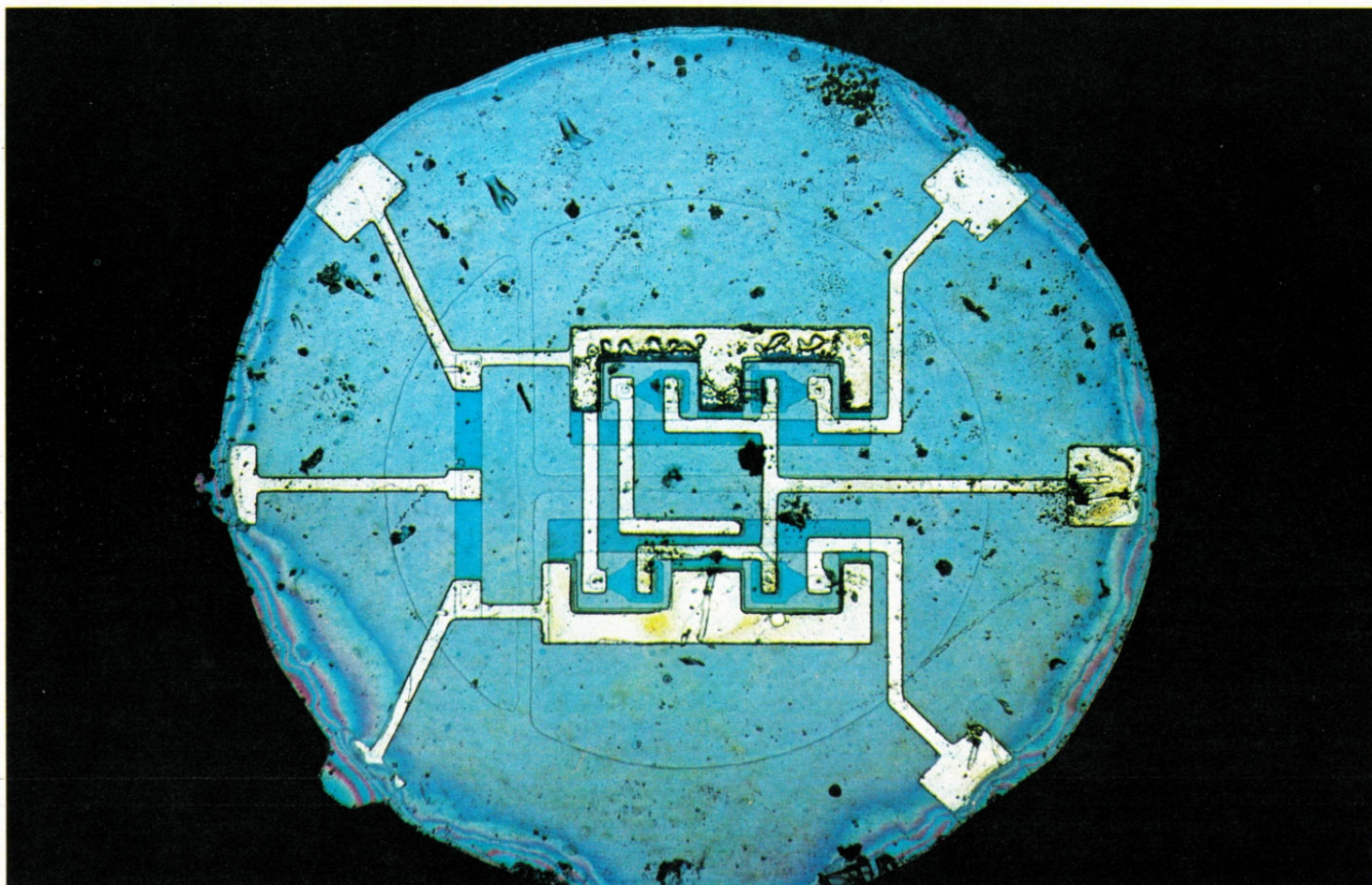
Eine UND-Funktion ist eine logische Schaltung, die zwei oder mehr Eingänge und einen Ausgang hat. Liegt an *allen* Eingängen H-Signal an, tritt auch am Ausgang H-Signal auf. Liegt an nur einem Eingang L-Signal an, tritt am Ausgang L-Signal auf. Die UND-Funktion kann sehr leicht mittels eines elektrischen Stromkreises, in dem Schalter in Reihe



& = Funktionszeichen der UND-Funktion

Eingänge			Ausgang
A	B	C	
L	L	L	L
L	L	H	L
L	H	L	L
L	H	H	L
H	L	L	L
H	L	H	L
H	H	L	L

*Dieser RTL-Baustein (Resistor-Transistor-Logic) war der erste monolithisch integrierte Baustein.*





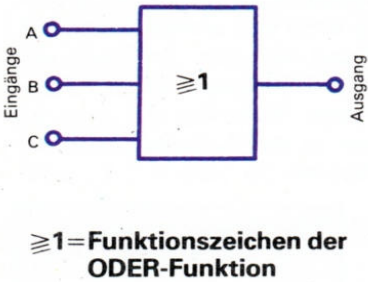
geschaltet sind, verstanden werden. Sind alle Schalter geschlossen, brennt eine im elektrischen Schaltkreis befindliche Glühlampe. Wird nur ein Schalter geöffnet, geht die Glühlampe aus.

Das logische Symbol einer UND-Funktion (&) mit drei Eingängen ist in der Abbildung zu sehen. Zur Beschreibung der UND-Funktion kann man auf eine Wertetabelle (Wahrheitstabelle, Funktionstabelle) zurückgreifen. Den L-Pegel bezeichnet man mit L, den H-Pegel mit H.

## ODER- und NICHT-Funktionen

Eine ODER-Funktion hat zwei oder mehr Eingänge und einen Ausgang. Liegt an *einem* der Eingänge H-Signal an, tritt am Ausgang auch H-Signal auf. In Analogie zum elektri-

Eingänge			Ausgang	
A	B	C	ODER	EOR
L	L	L	L	L
L	L	H	H	H
L	H	L	H	H
L	H	H	H	L
H	L	L	H	H
H	L	H	H	L
H	H	L	H	L
H	H	H	H	H



schen Stromkreis kann man sich vorstellen, daß die einzelnen Schalter in dem elektrischen Stromkreis parallel angeordnet sind. Wird nur einer der Schalter geschlossen, geht die Glühlampe an.

Die Darstellung zeigt das logische Symbol ( $\geq$ ) und die Wertetabelle für eine ODER-Funktion mit drei Eingängen. Wie schon erwähnt, hat die ODER-Funktion dann am Ausgang ein H-Signal, wenn an einem Eingang H-Signal anliegt. Es existiert noch eine weitere ODER-Funktion, die unter dem Namen Exklusives ODER (auch Antivalenz-Funktion, modulo-2-Summe, EOR) bekannt ist. Sie hat am Ausgang dann und nur dann H-Signal, wenn nur *ein* Eingang oder alle drei Eingänge mit H-Signal belegt sind. Die Wertetabelle einer Exklusive-ODER-Funktion für drei Eingänge ist oben angegeben.

Die NICHT-Funktion hat nur einen Eingang und einen Ausgang. Am Ausgang liegt das negierte Eingangssignal an. Liegt am Eingang z.B. H-Signal an, tritt am Ausgang L-Signal auf. Die technische Realisierung der NICHT-Funktion heißt auch Inverter oder Negations-Glied.

## NAND- und NOR-Funktionen

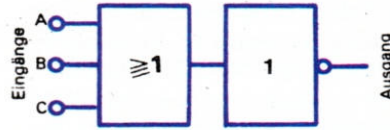
Aus den Grundfunktionen UND, ODER, NICHT lassen sich komplexe logische Systeme aufbauen. Eine einfache zusammengesetzte Verknüpfung ist die Verknüpfung einer UND-

Eingänge			Ausgang
A	B	C	
L	L	L	H
L	L	H	H
L	H	L	H
L	H	H	H
H	L	L	H
H	L	H	H
H	H	L	H
H	H	H	L



Funktion mit einer NICHT-Funktion. Diese Funktion heißt NAND-Funktion (vom Englischen NOT-AND), an deren Ausgang nur dann L-Signal auftritt, wenn an allen Eingängen H-Signal anliegt.

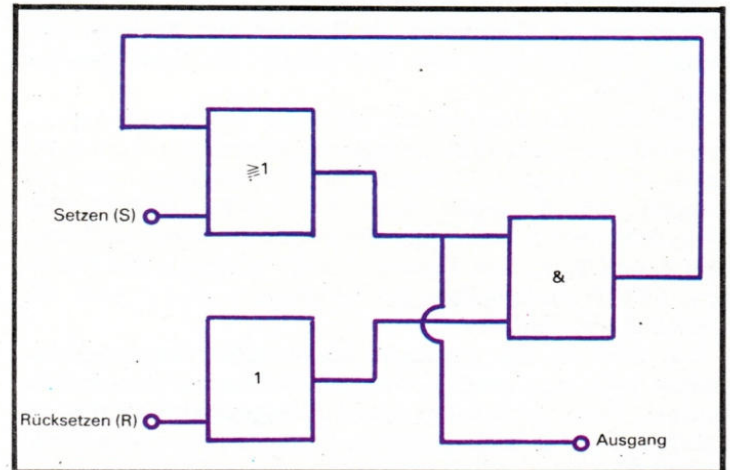
Eingänge			Ausgang
A	B	C	
L	L	L	H
L	L	H	L
L	H	L	L
L	H	H	L
H	L	L	L
H	L	H	L
H	H	L	L
H	H	H	L



Wird eine ODER-Funktion mit einer NICHT-Funktion verknüpft, spricht man von einer NOR-Funktion (vom Englischen NOT-OR). Sie liefert dann am Ausgang H-Signal, wenn an allen Eingängen H-Signal anliegt.

## Statische Speicher

Einer der wichtigsten, etwas komplizierteren Logikbausteine ist der statische Speicher. Er kann Signale speichern. Er verfügt über einen Setz-Eingang, bei dessen Aktivierung in



den Speicher ein H-Signal eingeschrieben wird, und einen Rücksetz-Eingang, mit dem ein L-Signal eingeschrieben werden kann. Der statische Speicher kann aus einem UND-, einem ODER- und einem NICHT-Baustein aufgebaut werden.

Die Wirkungsweise des statischen Speichers ist folgende: Liegt an den S- und R-Eingängen und am Ausgang des UND-Glieds L-Signal an, liegt am Ausgang des ODER-Glieds L-Signal und am Ausgang des NICHT-Glieds H-Signal an, d.h. der Ausgang des ODER-Glieds bzw. der Ausgang des statischen Speichers liegt auf L-Signal. Gibt man dem S-Eingang H-Signal, tritt am Ausgang des statischen Speichers H-Signal auf. Ebenso tritt am Ausgang des UND-Glieds H-Signal auf, da das Ausgangssignal des NICHT-Glieds ebenfalls auf H-Signal (das Signal an R ist nach wie vor L-Signal) liegt.

Liegt der Ausgang des UND-Glieds auf H-Signal, bleibt der Ausgang des ODER-Glieds selbst dann auf H-Signal, wenn auch der S-Eingang auf L-Signal zurückgesetzt wird. D.h. das ODER-Glied 'hält' das einmal eingegebene Signal. Wird nun das R-Signal in den H-Zustand gebracht, wird sein Ausgang zu L, d.h. am Ausgang des UND-Glieds liegt



nun auch L-Signal an. Da nun beide Eingänge des ODER-Gliedes im L-Zustand sind, ist auch der Ausgang des ODER-Gliedes und somit der Ausgang des statischen Speichers im L-Zustand. Dies bedeutet, daß sich jetzt der 'Speicherinhalt' des ODER-Gliedes geändert hat.

Diese Art Schaltung wurde zum ersten Mal von W. H. Eccles und F. W. Jordan im Jahre 1919 beschrieben. Die von ihnen beschriebene Schaltung verwendete Elektronenröhren als Trioden zur Darstellung der NICHT-Elemente. Werden die statischen Speicher zusätzlich von einem Takt angesteuert, d.h. ist ein Zusatzimpuls notwendig, um die Speicherung der L- und H-Werte zu gewährleisten, spricht

Eingänge		Ausgang
A	B	
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	H

(A=S-Eingang, B=Rückführungsleitung vom UND)

man auch von Flip-flops oder bistabilen Multivibratoren. Diese Bausteine haben große Bedeutung erlangt. Sie werden insbesondere in Computern als Register und Speicher verwendet. Im Bild oben eine Wertetabelle für einen Speicher diesen Typs.

Will man den Vorgang mit Hilfe der Booleschen Algebra beschreiben, nimmt man die logische Summe der Terme, bei denen der Ausgang H-Signal führt. Bezeichnet man den Ausgang mit X, ergibt sich:  $X = (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B)$ . Der Querstrich über A und B gibt die negierten Werte der Variablen A und B an. Die Zeichen  $\wedge$  und  $\vee$  bedeuten die UND- bzw. ODER-Verknüpfung der Eingänge A und B bzw. der Terme  $\bar{A} \wedge \bar{B}$  und  $A \wedge B$ .

Aus dem zu der Funktion äquivalenten Schaltungsdiagramm kann man ersehen, daß die Glühlampe immer dann leuchtet, wenn die Schalter A und B eingeschaltet ODER die Schalter A und B beide gleichzeitig ausgeschaltet (Bedingung: A und  $\bar{B}$ ) sind.

Nachdem von einer zu realisierenden Schaltung ein mathematischer Ausdruck gefunden wurde, kann er gemäß den Regeln der Booleschen Algebra bzw. Schaltalgebra umgeformt werden. Jede praktische Darstellung der einzelnen logischen Ausdrücke ist dann untereinander austauschbar, ohne die Wirkungsweise der Schaltung zu beeinflussen. D.h. es können sehr komplexe Schaltanordnungen dadurch analysiert werden, daß man versucht, eine vereinfachte Form zu finden, um zu sehen, was eine solche Schaltung 'kann'.

## Boolesche Algebra

Die beiden in logischen Schaltungen verwendeten Werte stellen die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten dar. Jede Variable, die in einer der beiden Möglichkeiten ausgedrückt werden kann, heißt eine logische Variable oder ein Boolesches

### Boolesche Algebra bei Verwendung von zwei Variablen

Disjunktion

v	w	f
w	w	w
f	w	f

Konjunktion

$\wedge$	w	f
w	w	f
f	f	f

Negation

x	$\bar{x}$
w	f
f	w

Element. Beim Computer, der intern im Dualsystem arbeitet, ordnet man einer Variablen entweder das Zeichen 'o' (entspricht L) oder das Zeichen 'i' (entspricht H) zu. In gleicher Weise könnte man einer Variablen die Zeichen 'f' (falsch) und 'w' (wahr) zuordnen.

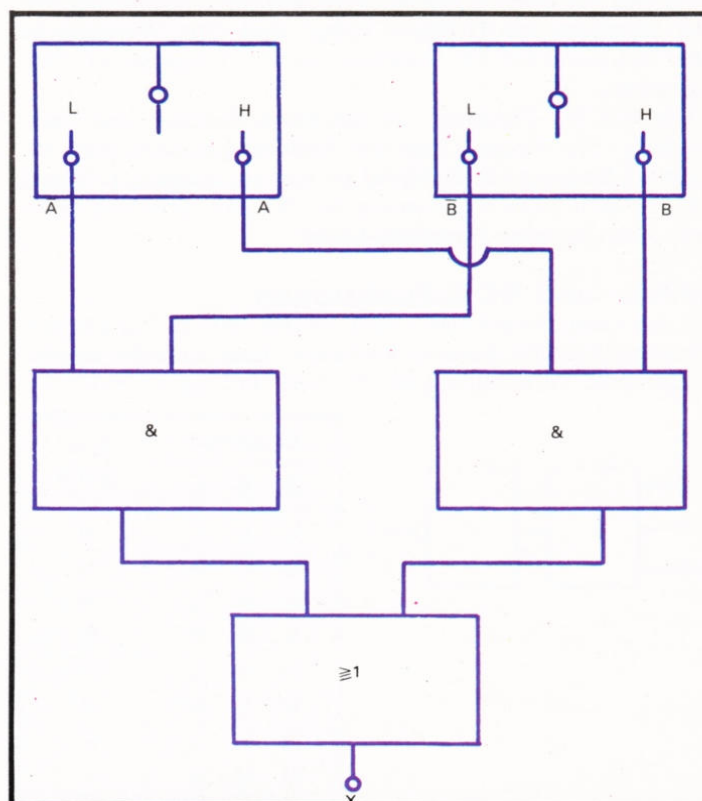
In der Booleschen Algebra spricht man von der Disjunktion statt von der ODER-Verknüpfung (Funktionszeichen:  $\vee$ ), von der Konjunktion statt von der UND-Verknüpfung (Funktionszeichen:  $\wedge$ ) und von der Negation statt von der NICHT-Verknüpfung (Funktionszeichen: Querbalken über der Variablen, d.h.  $\bar{X}$ ). Die oben angeführten Wahrheitstabellen können als Alternative zur Definition von Disjunktion, Konjunktion und Negation angesehen werden.

Eine einfache Synthese (Aufbau einer Schaltung) ist die Steuerung einer Treppenbeleuchtung, die von den beiden Schaltern A und B gesteuert wird. Jeder Schalter hat zwei Zustände, die mit L und H bezeichnet werden. Man nimmt an, daß das Licht an ist ( $X=H$ ), wenn sich sowohl Schalter A als auch Schalter B im H-Zustand befinden. Bei Änderung einer der beiden Schalter in den L-Zustand soll die Treppenbeleuchtung ausgehen. Bei einer Änderung des noch im H-Zustand befindlichen Schalters in den L-Zustand soll das Licht wieder angehen. Als Wertetabelle ausgedrückt heißt dies:

A	B	X
L	L	H
L	L	H
H	L	L
H	H	H

$$X = (\bar{A} \wedge \bar{B}) \vee (A \wedge B)$$

Die Steuerungsschaltung würde also folgendes Aussehen haben:





## LUFTSCHLEUSE

Immer wenn Arbeiter Unterwassertunnel oder Senkkästen betreten oder Astronauten ihr Raumfahrzeug verlassen, um einen 'Weltraumspaziergang' zu machen, müssen Sie zuvor eine Luftschleuse passieren.

Die Luftschleuse ist nach ihrem Aufbau eine Kammer, die es zuläßt, daß man sich zwischen Räumen mit unterschiedlich hohem Luftdruck oder auch zwischen einem Raum mit Über- oder Unterdruck und der Atmosphäre bewegen kann.

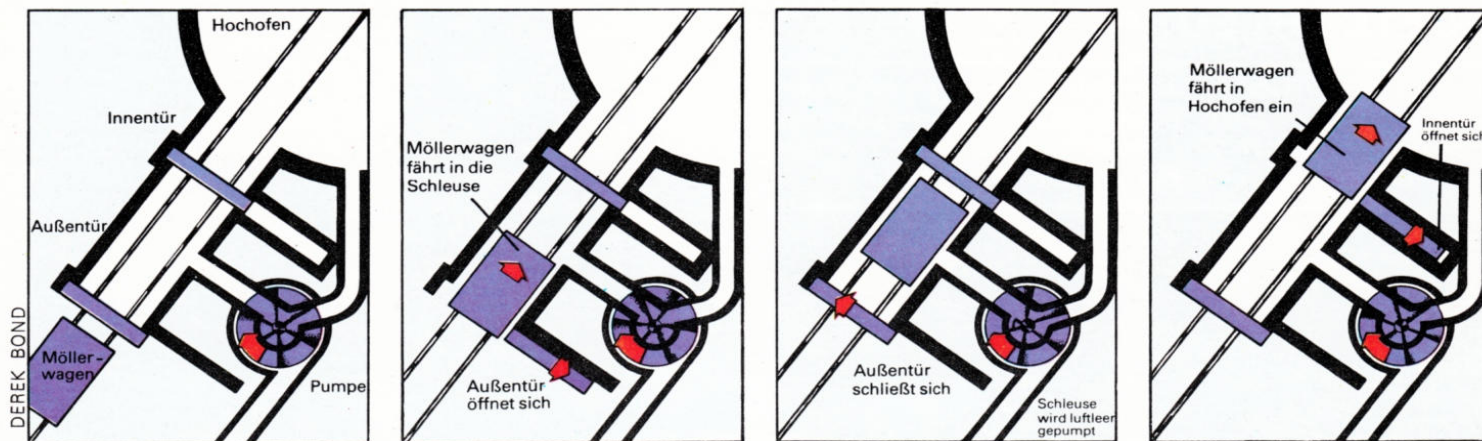
### Die Luftschleuse bei Senkkästen

Weit verbreitet finden sich Luftschleusen bei Senkkästen (Caissons). Hierbei ist das Arbeitsprinzip recht deutlich zu erkennen. Mit Hilfe von Senkkästen führt man Arbeiten an Unterwasserfundamenten für Brücken, Hafenbauten und so weiter durch. Ein Caisson besteht aus einer senkrechten Röhre mit großer Innenweite, die von der Oberfläche bis zum Arbeitsplatz hinabreicht.

*Der amerikanische Astronaut Scott steigt zu einem 'Weltraumspaziergang' aus einem Apolloraumschiff. Der Ausstieg und der Einstieg erfolgt durch eine Luftschleuse.*







**Oben:** Ein mit Metall gefüllter Möllerwagen fährt an die Außentür(1) heran. Sie öffnet sich und läßt ihn in die Schleuse einfahren(2). Die Pumpe evakuiert die Schleuse(3), erst dann wird die Innentür geöffnet(4).

Um Wasser aus der Röhre fernzuhalten, muß der Luftdruck darin dem Wasserdruck an seinem unteren Ende entsprechen, d.h. auf jeden Fall höher sein als der Luftdruck an der Oberfläche.

Dies könnte man einfach durch Verschließen des Senkkasten-Oberteiles mit einer luftdichten Klappe und Einpumpen von Luft bis zum Erreichen des nötigen Druckes erzielen. Sobald aber jemand die Klappe zu öffnen versuchte, um den Senkkasten zu betreten oder zu verlassen, würde die unter Druck stehende Innenluft aus- und Wasser in den Senkkasten einströmen.

Gelöst wird diese Schwierigkeit durch Verwendung von zwei luftdichten Klappen mit einem Raum dazwischen — der Luftschleuse. Will ein Arbeiter hinaus, werden Ventile zwischen dem Arbeitsbereich und der Luftschleuse geöffnet, und der Luftdruck in beiden Räumen wird ausgeglichen.

Nun kann der Arbeiter über die Leiter zur Luftschleuse steigen, hingehen und die Klappe sowie die Ventile hinter sich schließen, um die Arbeitskammer wieder abzudichten.

Wenn der Arbeiter sich keiner Dekompression (Druckausgleich) unterziehen muß, kann er die obere Tür öffnen und aussteigen. In diesem Fall entweicht ein Teil der Luft, die unter Hochdruck steht, ohne daß dies Einfluß auf den Luftdruck in der Arbeitskammer hätte.

Ist eine Dekompression erforderlich, wird der Druck der Luftschleuse durch Entlüften über weitere Ventile in der Außentür allmählich auf den atmosphärischen Druck verringert.

Der Einstieg erfolgt im Prinzip genau umgekehrt, nur hat die in der Luftschleuse befindliche Luft beim Eintreten des Arbeiters Außendruck. Daher wird, nachdem die Tür hinter ihm geschlossen ist, der Luftdruck in der Schleuse erhöht, bis er die zum Betreten der Arbeitskammer erforderliche Höhe hat.

Ähnliche Schleusen setzt man beim Bau von Tunneln unter dem Meeresboden oder unter Flüssen ein. In den Arbeitsbereich wird mit hohem Druck Luft gepumpt, um das Wasser am Eintritt zu hindern. Der Druck wird durch ein Schott aufrechterhalten. Bei dieser Luftschleuse handelt es sich um eine Durchgangsschleuse mit einer luftdichten Tür jeweils zu beiden Seiten des Schotts.

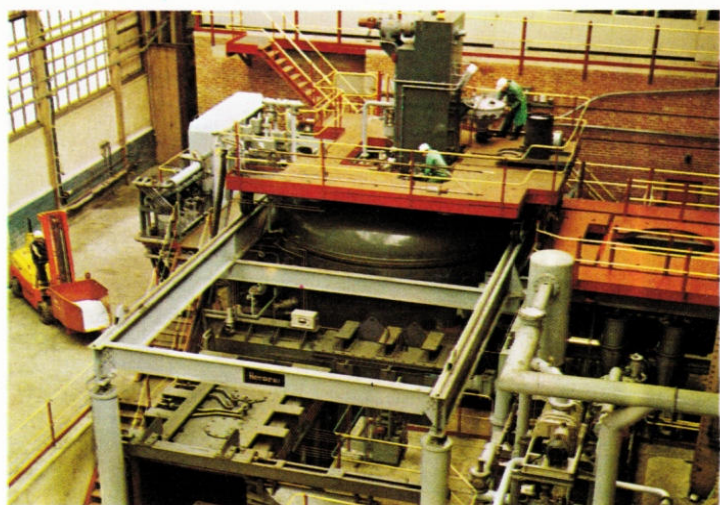
### Die Luftschleuse in U-Booten

Eine weitere Art der Luftschleuse findet sich in U-BOOTEN. Sie soll der Besatzung in Notfällen das Aussteigen oder Tauchern Arbeiten am Schiffskörper ermöglichen. Der

Unterschied besteht darin, daß der Luftdruck in einem U-Boot stets unter dem Druck des umgebenden Wassers liegt. Daher würde das Boot beim Versuch, es einfach durch Öffnen eines Lukdeckels zu verlassen, schnell volllaufen.

Eine Luftschleuse gestattet es dem Taucher, der das U-Boot verläßt, die erste Klappe und damit den Druckkörper hinter sich dicht zu verschließen und dann die Ventile des Außenluks zu öffnen, so daß das Meerwasser eindringen kann. Wenn die Schleuse mit Wasser gefüllt ist, kann er den Verschluss öffnen und das Fahrzeug verlassen.

Beim Wiedereintritt schließt er den Verschluss, bläst das Seewasser mit Preßluft aus und schließt die Außenventile. Danach stellt er den Druckausgleich zum Innendruck des U-Bootes so schnell wie möglich her, wodurch es nicht zu der



**Oben:** Luftschleuse an einem Unterdruck-Umschmelz-Hochofen, in dem Metalle unter Ausschluß der oxidierenden Umgebungsluft geschmolzen werden.

Dekompressionskrankheit (Taucherkrankheit) kommt, und steigt wieder in den Druckkörper ein.

### Andere Verwendungsbereiche

Mit ähnlichen Luftschleusen werden Taucher aus Unterwasser-Labors allmählich wieder an den Normaldruck auf ihren Versorgungsschiffen gewöhnt, können Astronauten sich aus ihren Raumschiffen in die luftarme Atmosphäre des Weltraums begeben und Arbeiter bestimmte Bereiche von Kernkraft-Reaktoren, deren Umgebungsluft verseucht ist, betreten und wieder verlassen. Bisweilen benötigt man Luftschleusen noch für andere Zwecke. Eine ungewöhnliche Art der Luftschleuse dient dazu, einen Hochofen zu beschicken, der unter hohen Unterdruck gehalten werden muß.



# LUMINESZENZ

Durch die Untersuchung der Erscheinung der Lumineszenz, die in der Natur z.B. beim Blitz oder bei Leuchtkäfern auftritt, ist es dem Menschen gelungen, so verbreitete Geräte wie Fernsehschirme oder Fluoreszenzleuchten zu entwickeln.

LICHT entsteht durch zwei grundlegend verschiedene Prozesse: Das von einem heißen Körper (Glühlampe, Gasleuchte) ausgesendete Licht kommt durch das 'Temperaturleuchten' zustande, während alle Arten der Lichtabstrahlung ohne diese starke Erhitzung durch 'Lumineszenz' verursacht werden.

Die Lumineszenz ist seit über 3000 Jahren dokumentiert. Aus dieser Zeit stammen die ältesten Aufzeichnungen über das von Leuchtkäfern und Glühwürmchen zum Anlocken eines Partners ausgesendete Licht. Diese 'Biolumineszenz' bei diesen und anderen Tieren ist häufig Gegenstand literarischer Träumereien gewesen, aber erst in unserer Zeit sind wissenschaftliche Untersuchungen über die Ursachen der Biolumineszenz unternommen worden. Weit mehr Aufsehen

*Praktische Anwendung von Lumineszenz bei einer Armbanduhr. Die Zeiger und Ziffern geben nicht nur sichtbares Licht ab, während die Atome des Materials angeregt werden, sondern auch nachher. Daher spricht man von Phosphoreszenz.*

erregte die erste, rein zufällige Synthese eines lumineszenten Materials durch den Italiener Cascariolo ungefähr im Jahre 1603. Bei seiner Suche nach Gold erhitze er interessant aussehende Steine mit etwas Kohle. Nach dem Abkühlen ergab sich ein poröses Gebilde, das bei Tageslicht ganz alltäglich aussah. Nachts aber sandte es ein dunkelblaues Licht aus. Die Substanz absorbierte Sonnenlicht und strahlte Lumineszenzlicht ab, das wegen seiner geringen Intensität nur im Dunkeln sichtbar wurde.

## Lumineszente Materialien

Beim Erhitzen eines Stoffes werden seine Atome oder Moleküle angeregt. Durch Stöße zwischen den Atomen kommt es zur Abstrahlung eines Teiles der Energie, die von außen zugeführt wird. Meistens wird die Energieabgabe als Strahlungswärme wahrgenommen, mit steigender Temperatur wird jedoch ein wachsender Anteil auch als sichtbares Licht abgegeben. Das

Material wird rot- und bei höherer Temperatur weißglühend. Bei lumineszenten Materialien gelangen die Atome durch die zugeführte Energie in einen nichtstabilen Zustand: Elektronen werden auf höhere Energieniveaus gebracht, womit die Energie gespeichert und als sichtbares Licht abgegeben wird, wenn die Elektronen zu ihren Gleichgewichtszuständen zurückkehren.

Man unterscheidet als Formen der Lumineszenz 'Fluoreszenz' und 'Phosphoreszenz'. Von Fluoreszenz spricht man, wenn die Lumineszenz nur während der Anregung der Atome



oder Moleküle auftritt, während die Phosphoreszenz auch noch nach dem Aufhören der Anregung andauert. Dieses Nachleuchten kann je nach Material und Temperatur eine Millionstel Sekunde oder mehrere Wochen dauern.

Auch nach der Art der Anregung lassen sich verschiedene Formen der Lumineszenz unterscheiden. Bei der Chemilumineszenz kommt die Anregungsenergie aus einer chemischen Reaktion, bei der Biolumineszenz aus einer biochemischen Reaktion, bei der Photolumineszenz erhält man die Anregung durch Absorption von Licht, bei der Elektrolumineszenz durch elektrische Felder, und bei der Röntgenlumineszenz wird die Energie aus einem Röntgenstrahl bezogen.

## Anwendungen

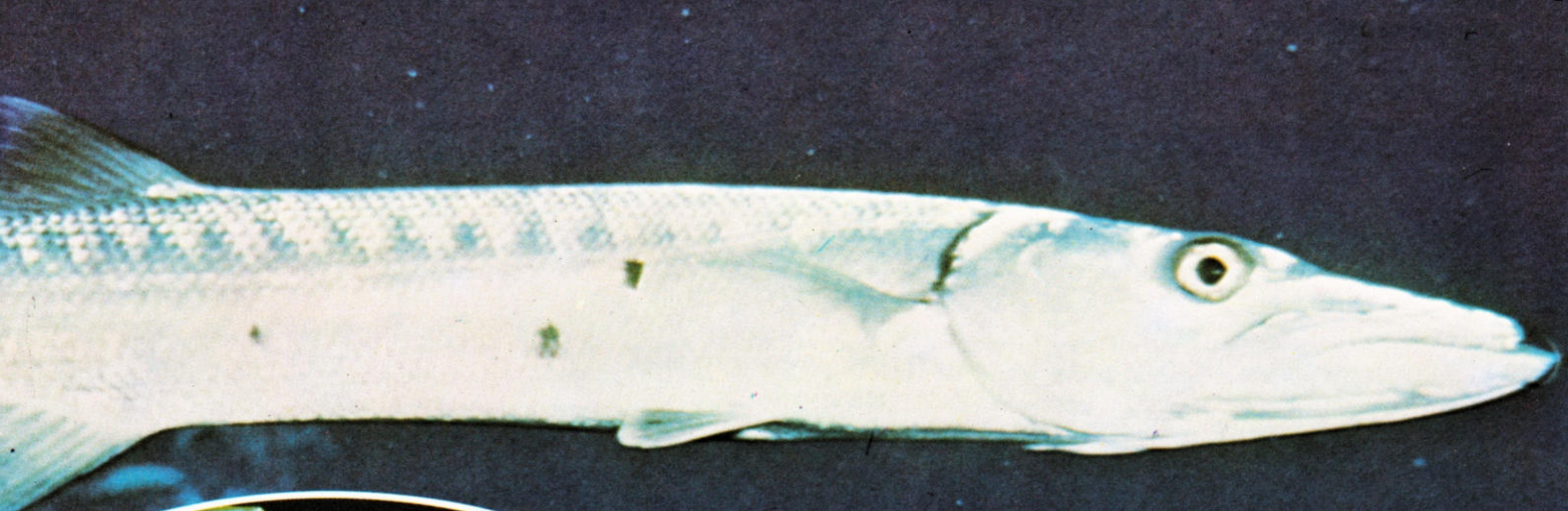
Die naheliegendste Anwendung eines lichterzeugenden Prozesses ist seine Verwendung zur Beleuchtung. Der Beschuß von Gasmolekülen mit Elektronen in einem Entladungsrohr erzeugt angeregte Zustände, die unter Lichtaussendung zerfallen. Hier handelt es sich um ein Beispiel für die Elektrolumineszenz. Die erste öffentliche Beleuchtungsanlage mit Gasentladungslampen entstand im Jahre 1904 in Newark, im US-Staat New Jersey. Damals enthielt die Leuchtröhre noch Luft bei niedrigem Druck. Heute füllt man Entladungsröhren mit Neon (für Werbezwecke) und mit Natriumdampf (zur Straßenbeleuchtung). Das von einer Gasentladungslampe abgegebene Licht hat eine für das Füllgas charakteristische Farbe, die man aber durch das Aufbringen photolumineszenter Leuchtstoffe innen an der Wand verändern kann. In einer gebräuchlichen Leuchtstoffröhre wird z.B. Quecksilberdampf zur Gasentladung benutzt, und mit verschiedenen Leuchtstoffen, die das bei der Gasentladung entstehende Licht absorbieren, erhält man verschiedene Farben. Durch

MAURITIUS

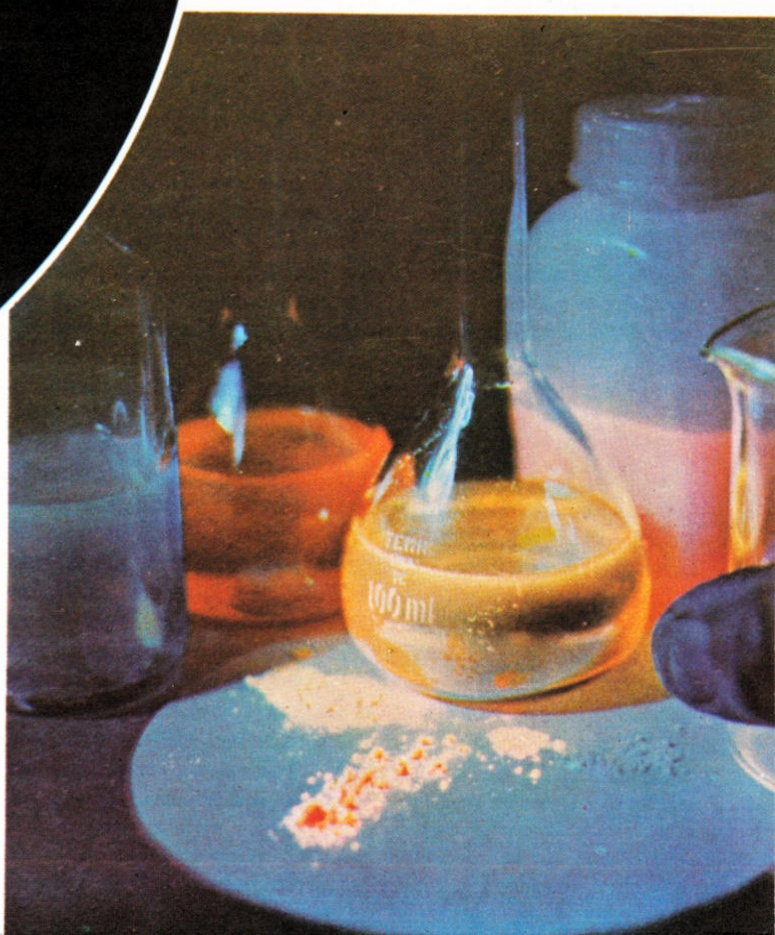


PICTUREPOINT





**Links:** Ein lumineszenter Meeresorganismus aus der Familie der Rippenquallen. Die lumineszenten Zellen befinden sich in den Wimperblättchen. **Bild Mitte:** Zahlreiche Tiefseefische haben besonders ausgeprägte Sehorgane und lumineszente Sehhilfen, um die Dunkelheit durchdringen zu können, die in großen Meerestiefen herrscht. **Oben:** Ein lumineszenter Barakuda in der Karibischen See. **Rechts:** Bei der Laserforschung verwendetes lumineszentes Material in einem Laboratorium.



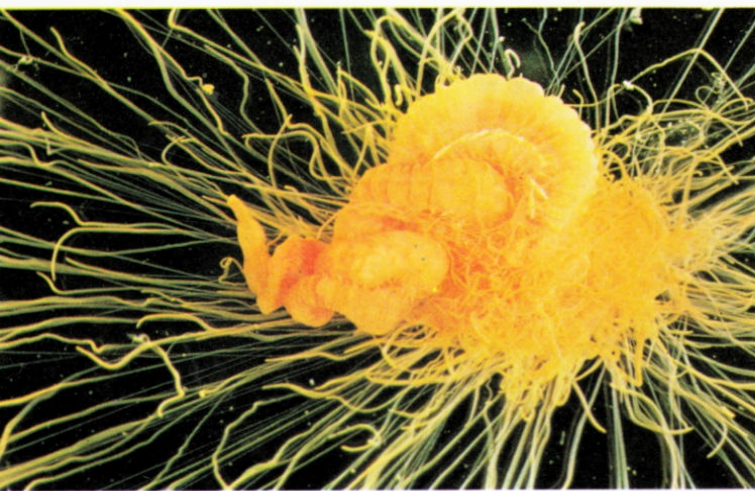


**Rechts:** Biolumineszenz bei einem Leuchtkäfer. Eine chemische Substanz mit dem Namen Luziferin wird in den Leuchtzellen des Leuchtkäfers erzeugt und oxidiert unter Mithilfe eines Enzyms (Luziferase). Während der Oxidation wird Licht ausgestrahlt.

eine passende Mischung verschiedener Leuchtstoffe kann man verschieden getöntes 'weißes' Licht, wie wir es von den üblichen Leuchtstoffröhren kennen, erzeugen. Große Mühe wurde und wird darauf verwendet, für Geschäftsräume, Büros und Wohnräume jeweils geeignete Weißtönungen zu finden.

Neben der Beleuchtung finden sich äußerst vielfältige Anwendungen der Lumineszenz. Sehr wichtig ist ihre Anwendung in Katodenstrahlröhren, ohne die es kein Radar oder Fernsehen gäbe. Das Bild kommt dadurch zustande, daß die in der Röhre beschleunigten Elektronen auf den mit einem lumineszenten Material beschichteten Bildschirm auftreffen.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet ist der Gebrauch lumineszenter Materialien als Auffrischer ('Weißmacher') in Textilien. Die meisten ungefärbten Garne sind gelblich, und nach der klassischen Methode färbte man sie mit etwas blauem Farbstoff, um das Gelb zu kompensieren. In der modernen Färbereitechnik benutzt man eine fluoreszierende Verbindung, die die ultraviolette Komponente des Tageslichtes absorbiert und blaues Licht abgibt, das mit Gelb weißes Licht ergibt. Nach der neuen Methode erhält man ein 'helleres' Weiß als auf dem alten Wege. Diese fluoreszierenden Substanzen werden sehr deutlich sichtbar in Bars oder Disko-



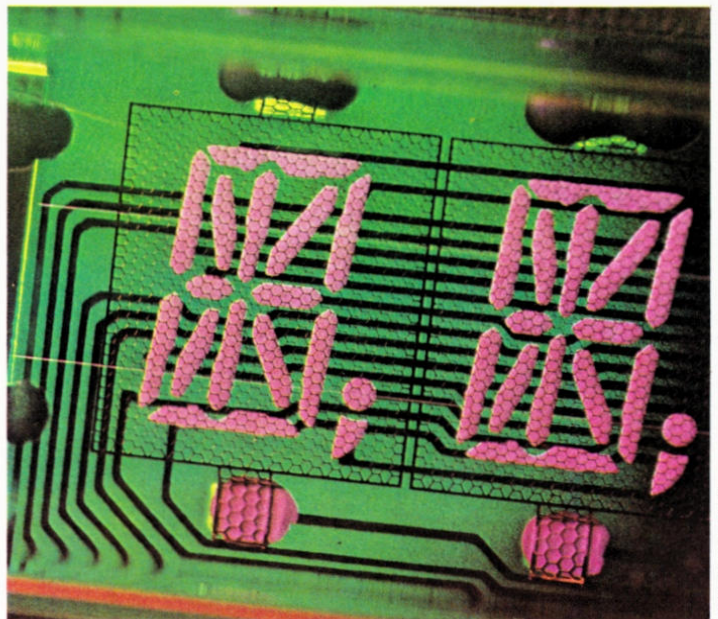
**Oben:** Terebellid polychaete, ein lumineszenter Wurm, sendet, wenn er in der Dunkelheit aufgeschreckt wird, ein helles Licht aus. Hier wird ATP (Adenosin-Triosphat), die chemische Form, in der der Wurm Energie speichert, in Lichtenergie umgewandelt.

theken, wo ultraviolettes Licht für spezielle Effekte benutzt wird. Weiße Textilien treten dort mit einem blauweißen Leuchten hervor. Solche optischen Weißmacher findet man in den meisten Waschmitteln.

Auch die Tatsache, daß lumineszente Substanzen in kleinsten Mengen leichter nachzuweisen sind als normale Farbstoffe der gleichen Farbe, läßt sich vorteilhaft nutzen. So kann man z.B. die organische Verbindung Fluoreszein noch in einer Verdünnung von einem zu vierzig Millionen Teilen nachweisen. Deshalb werden solche Substanzen in der medizinischen Diagnose, als Farbspuren für in Seenot



Geratene, die aus der Luft geortet werden sollen, bei der Suche nach Lecks und selbst bei der Erforschung von Flußquellgebieten (z.B. Rhone) eingesetzt. Röntgenlumineszente Materialien werden in der Röntgendiagnose gebraucht. Auch gewissen Farbzusammensetzungen werden manchmal lumineszente Substanzen beigemischt, weil sie so gut vom Auge wahrgenommen werden. Normale Farben bestehen aus Farbstoffen, die eine bestimmte Farbe reflektieren und andere absorbieren. Ein lumineszenter Anstrich enthält zusätzlich eine Substanz, die die gleiche Farbe aussendet, die vom Farbstoff reflektiert wird, wodurch ein unnatürlicher, leuchtender Eindruck entsteht. Die lumineszente Substanz kann je nach Einsatzbedingungen fluoreszieren oder phosphoreszieren, z.B. auf Anzeigetafeln, Verkehrsschildern oder Armbanduhren. Moderne Anwendungen der Lumineszenz finden sich beim Laser, bei den lichtemittierenden Dioden (LEDs), bei der Notbeleuchtung von Flugzeugen (durch Chemilumineszenz) und bei der automatischen Postsortierung (durch die abgestrahlte Farbe eines Aufdrucks oder einer Marke).



**Oben:** Diese Aufnahme zeigt eine lichtemittierende Diode. Die Diode läßt alphanumerische Werte aufleuchten, wenn entsprechende elektrische Signale erfolgen. Solche Dioden werden z.B. in Computern und ähnlichen Geräten verwendet.



# M

## MAGNETBAND

Das Magnetband ist nicht nur eine der genauesten und bequemsten Einheiten zur Speicherung und späteren Wiedergabe von Informationen, sondern es ist auch eine sehr wirtschaftliche Einheit, da die gespeicherten Informationen gelöscht werden können und eine erneute Speicherung von Informationen auf dem Magnetband ermöglicht wird.

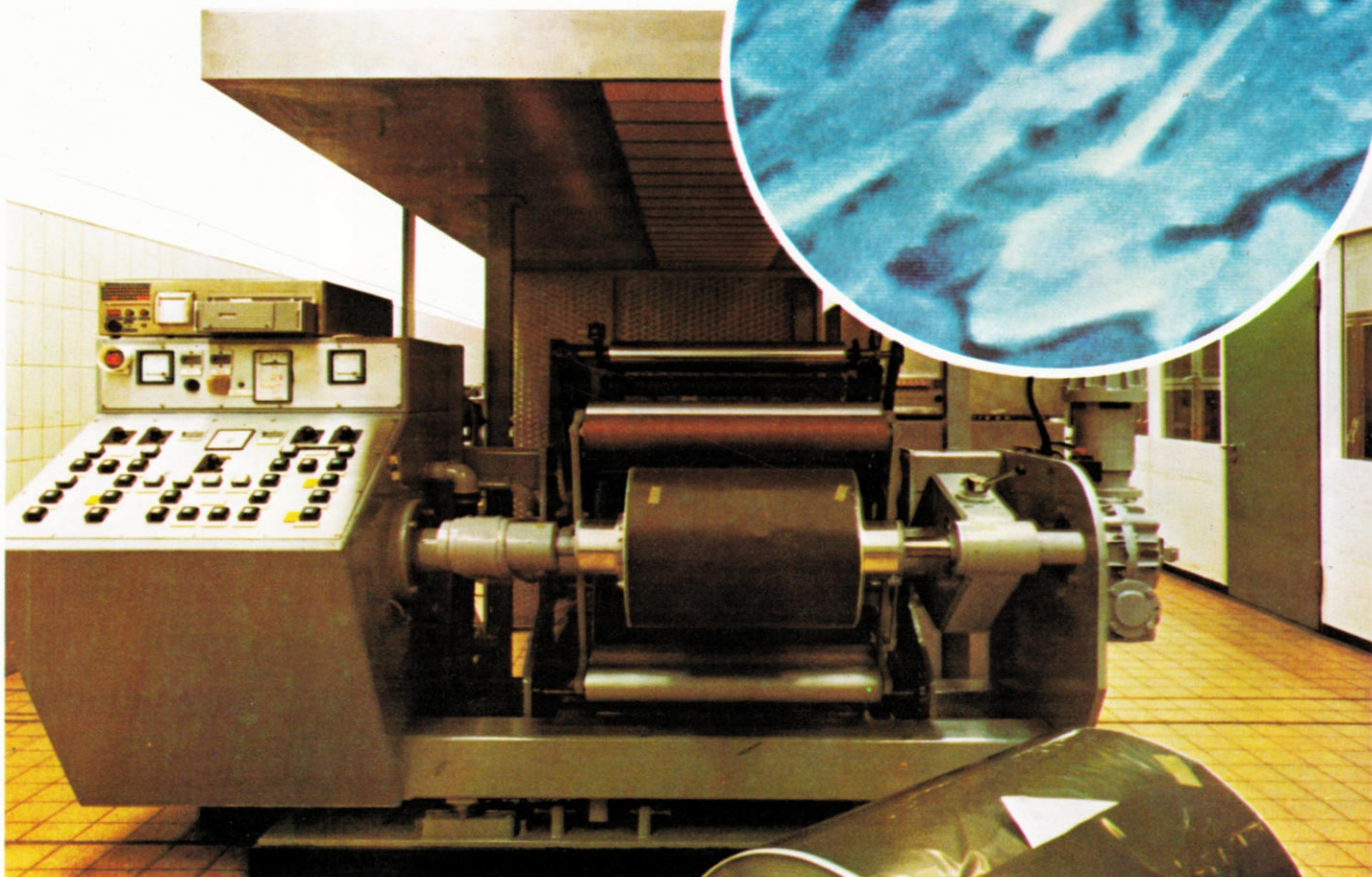
Mit dem Magnetband können alle Informationen gespeichert und wieder abgerufen werden, die sich in elektrische Signale umwandeln lassen. D.h. es können Töne (z.B. Musik und Stimmen), Videosignale, Daten aus dem Computer und elektrische Pulse zur automatischen Steuerung von Maschinen auf dem Magnetband abgespeichert werden. Ein Magnetband

*Unten:* Magnetbänder werden aus einer Basis von Polyester-kunststoff hergestellt. Die Folie wird gesäubert, beschichtet und getrocknet und dann auf der hier zu sehenden Maschine auf Hundertstel von mm genau zugeschnitten.

besteht aus einer Schicht pulverisierten magnetischen Materials, das durch einen Kunststoffkleber zusammengehalten wird. Diese Schicht wird auf ein Kunststoffband als Trägermaterial, das hohe mechanische Belastungen aushält, gebracht

Das Basismaterial besteht aus einem Polyesterkunststoff, dessen Dicke zwischen 0,05 mm (bei Standardmagnetbändern)

*Unten: (kreisförmiges Bild):* Eine Mikrofotografie von magnetischen Teilchen, mit denen die Bänder beschichtet werden. Hier, zwanzigtausendfach vergrößert, eine der üblichen Oxidbeschichtungen.







**Oben:** Das sogenannte 'Führungsband' wird vorbereitet. Es wird dann an die Enden des Magnetbandes geklebt; an ein Ende kommt ein rotes, ans andere ein grünes Band.

und 0,008 mm (bei Cr120-Kassetten) beträgt. Die Breite schwankt zwischen 3,8 mm für Magnetbänder in Kassetten, 6,35 mm für Magnetbänder auf Tonbandgeräten, 12,7 mm für Computermagnetbänder und bis zu 50,8 mm für Magnet-

bänder, die im Radio- und Fernsehbereich benötigt werden.

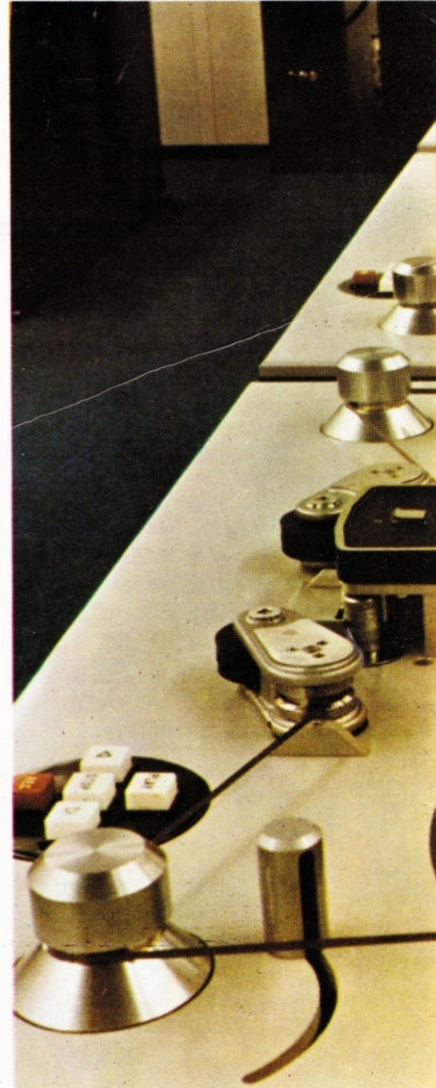
Die magnetische Schicht ist zwischen 0,003 mm und 0,0125 mm dick. In jedem Zentimeter des Bandes befinden sich mehrere Millionen magnetischer Teilchen. Jedes Teilchen verhält sich wie ein kleiner Magnet. Die Abmessungen dieses Teilchens sind so klein, daß sie nur unter einem Elektronenmikroskop sichtbar gemacht werden können.

Das bei Magnetbändern verwendete magnetische Material ist die sogenannte  $\gamma$ -Form des Eisen(III)-oxids ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), das dem Magnetband die charakteristische braune Färbung gibt. Manche Bänder sind schwarz, weil sie zusätzlich mit fein verteiltem Ruß überzogen sind, um keine statische Elektrizität, z.B. beim Vorbeilaufen des Bandes am Aufnahmekopf, aufkommen zu lassen. Zur Verbesserung der Magnetbändereigenschaften werden heute statt Eisenoxide Cobalt/Eisen-Oxide und Chromdioxid verwendet.

### Aufzeichnung

Während der Aufzeichnung werden die Eingangssignale verstärkt und dem Sprechkopf zugeführt. Er besteht grundsätzlich aus einer auf einen Ringmagneten gewickelten Spule, die von Strom durchflossen wird. Der Ringmagnet hat einen kleinen Spalt, an dem die beschichtete Oberfläche des Magnetbandes vorbeiläuft. Ist das eintreffende Signal ein Wechselstromsignal, ändert sich die Magnetisierung in dem Ringkern. An dem Luftspalt ändert sich folglich der magnetische Fluß, der sich auch auf die am Luftspalt vorbeilaufende Magnet-schicht auswirkt.

Die magnetischen Teilchen durchdringen beim Bewegen des Bandes das zwischen dem Luftspalt entstandene Magnet-





**Rechts:** Die von der Kunststoffrolle kommenden Magnetbänder werden für die Kassetten passend geschnitten.

feld. Die Teilchen können sich in dem Magnetfeld nicht bewegen, da sie auf der Magnetbandoberfläche fest haften. Die Magnetisierung der Teilchen erfolgt nur analog einer Hysteresisschleife (siehe MAGNETISMUS). Wenn sie am Sprechkopf vorbeigelaufen sind, haben sie eine gewisse Remanenz (bleibende Magnetisierung), deren Stärke von der Stärke des Magnetfeldes im Luftspalt abhängt. Das Magnetband erfaßt also die Änderungen des Magnetfeldes, d.h. es speichert das Originalsignal.

### Wiedergabe

Soll das Tonband abgespielt werden, läuft es an einem Hörkopf vorbei, der dem Sprechkopf ähnlich ist. Die Wiedergabe der Signale erfolgt in umgekehrter Richtung zur Aufnahme. Das Magnetfeld auf der Oberfläche des Kopfes wird durch das remanente Magnetfeld auf dem Tonband verändert,

**Unten (links):** Musikkassetten werden mit der 32fachen Geschwindigkeit gegenüber der Abspielgeschwindigkeit bespielt. Links ist das Urband, das eine kontinuierliche Schleife bildet und daher nicht auf einen Wickelkern aufgewickelt werden kann.

**Unten (rechts):** Einige Aufnahmegeräte, die die Signale vom Urband auf das Tonband der Kassette übertragen. Diese Geräte können Musikkassetten überspielen.



d.h. der zugehörige magnetische Fluß in dem Ringkern wird geändert, wodurch in die Spulen ein elektrischer Strom induziert wird. Der elektrische Strom wird verstärkt und einem Lautsprecher zugeführt, der das ursprünglich aufgenommene Signal wiedergibt.

Die Magnetisierung auf dem Band bleibt beim Abspielen unbeeinflusst, so daß das aufgenommene Signal immer wieder empfangen werden kann. Das Tonband kann gelöscht werden, indem man es an einem Löschkopf vorbeilaufen läßt. Der Löschkopf hat einen relativ breiten Spalt. Das Löschen erfolgt mit Hilfe eines hochfrequenten Wechselfeldes, wodurch die Remanenz wieder aufgehoben wird.

### Mehrspur-Aufzeichnung

Macht man die Luftspalte an den Köpfen in ihrer Breite kleiner als die Bandbreite und ordnet man mehrere Köpfe übereinander an, kann ein Band mehrere Tonspuren aufzeichnen. Diese Mehrspuraufzeichnung kann die Abspielzeit eines Tonbandes erhöhen, indem man erst eine Spur abspielt und dann die nächste usw., oder man kann das Tonband im Stereobetrieb ablaufen lassen, wozu man jeweils zwei Spuren benötigt.

### Anwendungen

Magnetbänder als Tonbänder werden vorwiegend bei der Aufnahme im Tonfrequenzbereich bei Tonbandgeräten oder Kassettenrecordern eingesetzt. Typische Bandgeschwindigkeiten sind 4,75 cm/s für Sprach- und 9,5 cm/s für Musikaufzeichnungen. Tonbandgeräte werden mit Geschwindigkeiten von 4,75 cm/s, 9,5 cm/s, 19 cm/s oder 38,1 cm/s betrieben. Die höheren Bandgeschwindigkeiten werden hauptsächlich in Studios und im Hi-Fi-Betrieb eingesetzt.

Magnetbänder für Computer haben Geschwindigkeiten von 508 cm/s. Die Signale sind eine Serie von Pulsen, die auf 7 oder 9 parallel liegenden Kanälen 'geschrieben' werden.

Durch Verwendung eines dünneren Trägermaterials aus Polyester kann eine größere Tonbandlänge auf einer Bandspule untergebracht werden. Die üblichen Ton- und Computerbänder sind etwa 0,05 mm dick. Diese Bänder werden auch beim professionellen Aufzeichnen von Tönen eingesetzt. Bänder für lange Videowiedergaben und zur Aufnahme wissenschaftlicher Informationen sind 0,04 mm dick. Zweispurige Bänder für Tonaufnahmen sind 0,025 mm dick. Eine Dicke von 0,02 mm haben Tonbänder mit drei Spuren sowie die C60-Bänder. C90- und C120-Bänder haben vier Spuren und eine Dicke von 0,012 mm. Bänder mit 5 Spuren sind 0,008 mm dick.





## Kassetten

Die Anwendung von Tonbändern wurde dadurch sehr vereinfacht, daß man sie in einer Kassette unterbrachte.

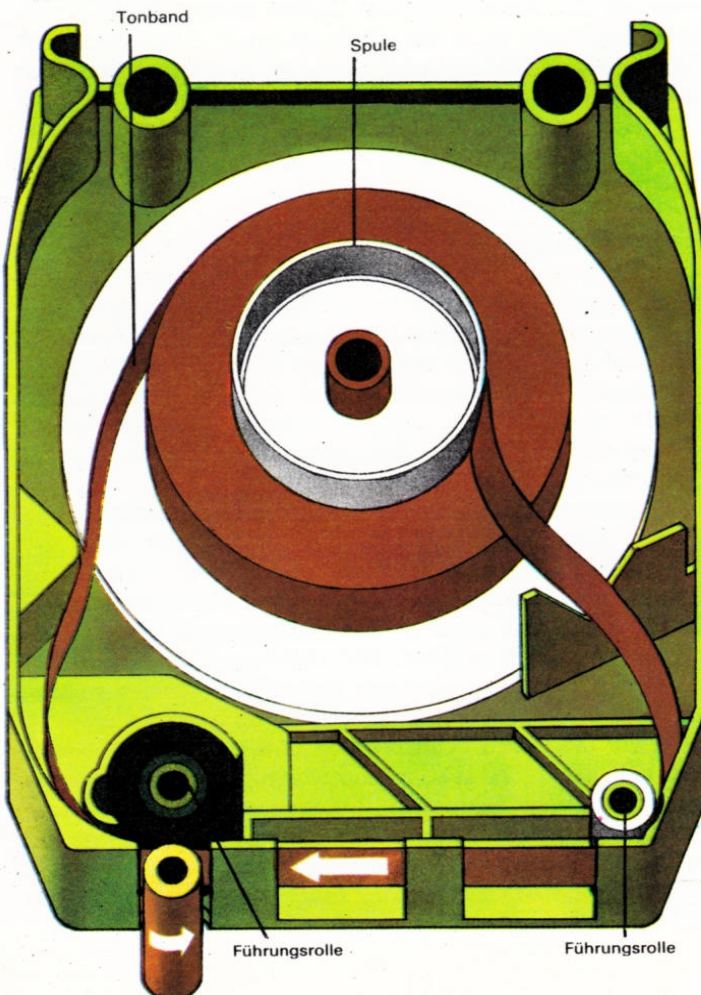
Die sogenannte Kompaktkassette wurde im Jahre 1963 von der Firma Philips herausgebracht. Sie besteht aus einem flachen Kunststoffbehälter, in dem sich das Band zwischen zwei Spulen bewegt. Die Enden des Tonbandes werden mit Hilfe eines an das Tonband angeklebten Plastikbandes an den Spulen befestigt. Transport- und Führungselemente führen das Band an dem Tonkopf (ein Kombikopf — also sowohl Hör- als auch Sprechkopf) vorbei. Eine Andruckplatte in der Kassette gewährleistet einen guten Kontakt zwischen Tonband und Tonkopf. Das Magnetband wird gegen magnetische Streufelder vom Motor durch ein Stück Eisen, das als Schirm bezeichnet wird, geschützt. Er besteht aus einer Nickel/Eisen-Legierung.

Die Kassette hat gegenüber den Tonbandgeräten mit offenen Spulen gewisse Vorzüge: Man muß nicht in langwierigen Verfahren das Band einfädeln, die Kassette kann zu jedem Zeitpunkt gestoppt und aus dem Abspielgerät herausgenommen werden, Verschmutzung durch Staub und die Zerstörung des Bandes durch Fehlbedienung sind auf ein Minimum gesenkt.

Der Hauptvorteil liegt jedoch in den Abmessungen und in der Abspielzeit. Da das Band nicht mehr eingefädelt werden

**Rechts:** Eine Kompaktkassette. Das Tonband wird an jedem Ende mit Hilfe des Führungsbandes an die Wickelkerne angeschlossen. Es bewegt sich frei zwischen den beiden Spulen. Durch einen Spalt entsteht Kontakt mit dem Tonkopf.

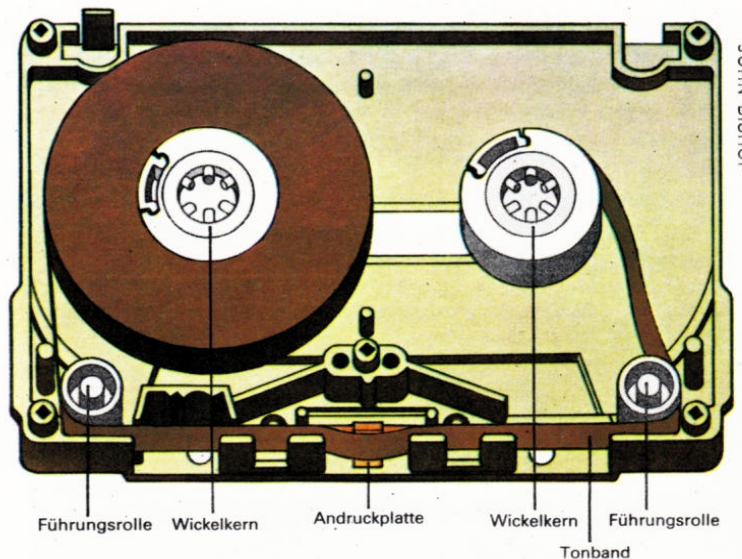
**Unten:** Eine geöffnete Tonbandkassette, um das Funktionsprinzip des Endlosbandes zu demonstrieren. Das Tonband wird vom inneren Rand herausgezogen und auf den äußeren Rand aufgewickelt. Oben im Bild: der Wickelkern.



muß, können die Bänder zwischen 0,0095 mm bis 0,02 mm dick sein. D.h. es kann auf gleichem Raum wesentlich mehr Band untergebracht werden. Dünne Tonbänder haben eine wesentlich bessere Aufnahme- oder Abspielqualität. Deshalb kann man Kassettenrecorder mit Bandgeschwindigkeiten von 4,75 cm/s betreiben; dies entspricht der gleichen Qualität wie 9,5 cm/s bei Tonbandgeräten.

Die Spieldauer wird in Minuten angegeben. Sie kann der Kassettenbezeichnung entnommen werden: C60=60 Minuten, C90=90 Minuten, C120=120 Minuten. Hierbei ist die Gesamtspielzeit gemeint, d.h. das Abspielen oder Aufzeichnen von Signalen auf der oberen und unteren Spur.

Kassetten kann man entweder bespielt oder unbespielt kaufen. Bei bespielten Kassetten hat man an der Rückseite der Kassette Löschsicherungen. Dies sind herausbrechbare Laschen, die von einem Fühlhebel abgetastet werden. Wenn sie entfernt werden, kann die Aufnahme nicht mehr gelöscht oder überschrieben werden. Die meisten Kassetten werden im Unterhaltungsbereich verwendet. In jüngster Zeit finden sie auch bei Kleincomputern als Datenspeicher Anwendung.



## Tonbandkassetten

Die Tonbandkassette — sie wurde im Jahre 1965 von der Firma Learjet in den USA vorgestellt — war ursprünglich für bespielte Unterhaltungsplatten zum kontinuierlichen Abspielen in Wiedergabegeräten gedacht. Sie wurde häufig in Kraftfahrzeugen verwendet. Die Tonbänder haben üblicherweise 8 Spuren zur Aufnahme oder 4 Paare von Stereospuren.

Die Tonbandkassette ist größer als eine Kompaktkassette. Die Breite des Bandes ist 6,35 mm, und die Abspielgeschwindigkeit beträgt 9,5 cm/s. Dies ist die doppelte Geschwindigkeit von Kompaktkassetten. Mithin sollten sie einen besseren Frequenzgang bei höheren Frequenzen aufweisen. Die Kassette enthält ein Endlosband, das dadurch zustande kommt, daß man die beiden Enden des Tonbandes zusammenklebt und es dann auf eine Spule innerhalb der Kassette wickelt. Die Wicklung erfolgt in der üblichen Weise. Das Band läuft aber vom Zentrum beginnend ab. Es gleitet deshalb innerhalb seiner Windungen kontinuierlich, da es mit verschiedenen Durchmessern auf- und abgespult wird. Auf der Rückseite der Bänder befindet sich eine speziell aufgebraute, gleitende Schicht. An einer Stelle des Bandes befindet sich eine Metallfolie, die ein Schaltrelais betätigt. Hierdurch wird der Tonkopf veranlaßt, sich eine Spur weiter auf das nächste Programm zu bewegen. Die Transport- und Führungselemente sowie die Andruckplatte sind ähnlich wie bei Kompaktkassettenrecordern ausgeführt.

Beide Kassettenarten enthalten auch Videobänder, mit denen Bilder und Ton aufgezeichnet werden können.



## MAGNETISMUS

Die bekannte Tatsache, daß ein Magnet Eisenstücke anzieht, wird in vielen Anwendungen wie Lautsprechern, Telefonhörern, Kompassen, Hörgeräten und Geschwindigkeitsmessern benutzt.

Die untere Abbildung zeigt Eisenfeilspäne, die auf einem Stück Pappe liegen. Unter der Pappe befindet sich ein hufeisenförmiger Magnet. Die Eisenfeilspäne ordnen sich so an, daß sie an den Linien des Magnetflusses zwischen den beiden Magnetpolen liegen. Eisenfeilspäne können auch benutzt werden, um die Magnetfelder von Stabmagneten und Elektromagneten zu demonstrieren.



PAUL BRIERLEY

Magnetismus wird oft als eine eigenständige Kraftart angesehen, obgleich er nur eine Erscheinungsform der elektromagnetischen Kraft ist. Er ist mit der elektrostatischen Coulombkraft eng verknüpft: Der Unterschied ist, daß ein ruhendes geladenes Teilchen stets von einem elektrischen Feld umgeben ist, während eine bewegte Ladung zusätzlich in ihrer Umgebung ein Magnetfeld erzeugt. Dennoch ist es möglich, Dauermagnete—dies ist der gebräuchlichste Typ von Magnet—herzustellen, die kein offensichtliches elektrisches Feld umgibt. Die moderne Physik erklärt die Dauermagneten durch den ELEKTROMAGNETISMUS, obgleich—wie bei allen naturwissenschaftlichen Modellen—die Theorie nur anzeigt, wie ein Ereignis abläuft und nicht klären kann, warum das Ereignis so abläuft.

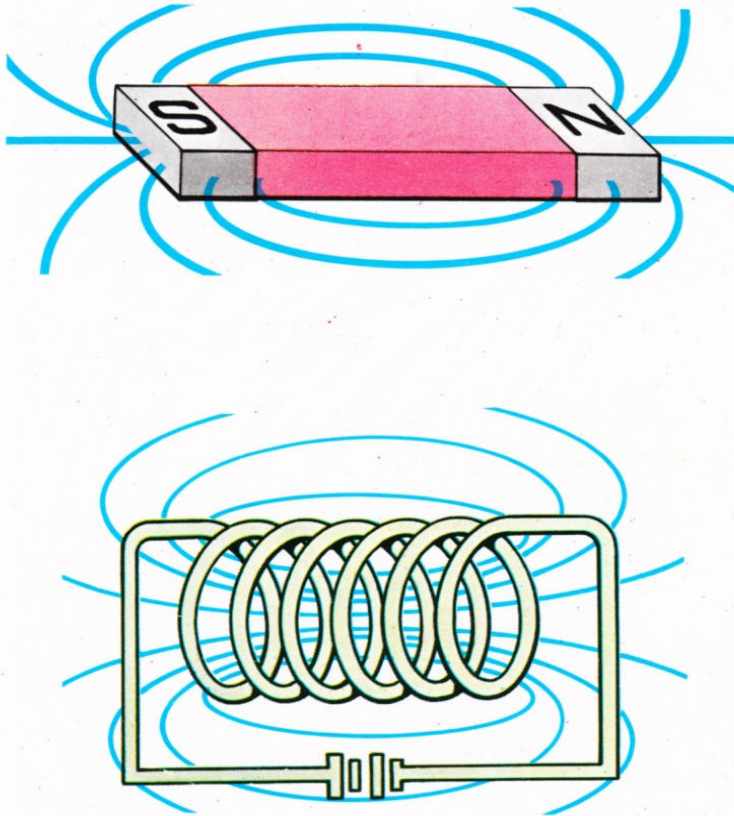
Etwa im Jahre 1830 zeigte M. Faraday (1791 bis 1867) deutlich die Beziehung zwischen elektrischer Ladung und Magnetismus auf. Wird eine elektrische Ladung bewegt, erzeugt sie einen elektrischen Strom. Sobald ein elektrischer Strom fließt, verursacht er im umgebenden Raum ein Magnetfeld, gerade so, als ob der Strom durch ein Magnetsystem von besonderer Gestalt ersetzt würde. Ähnlich dem Druck, der in einem Rohr das Wasser zum Fließen bringt, wird hier eine Spannung benötigt, um die Ladungen in Bewegung zu setzen, das heißt einen elektrischen Strom zu erzeugen. Diese elektrische Spannung wird auch elektromotorische Kraft (EMK) oder heute allgemein Urspannung genannt. In einem elektrisch leitfähigen Körper wird, wie Faraday zeigte, eine Spannung induziert, wenn er durch ein Magnetfeld bewegt



wird, was einen elektrischen Strom zur Folge hat. Wie er ebenfalls nachweisen konnte, tritt auch dann eine Spannung auf, wenn sich das Magnetfeld, in dem sich der Leiter befindet, ändert. Auf diese Art erzeugt elektrischer Strom Magnetfelder und ein magnetisches Feld elektrischen Strom.

### Magnetische Kreise

Die Vorstellung vom nur in geschlossenen Schleifen existierenden Magnetfeld ist sehr nützlich und war schon Faraday bekannt. Experimentell läßt sich zeigen, daß die 'treibende



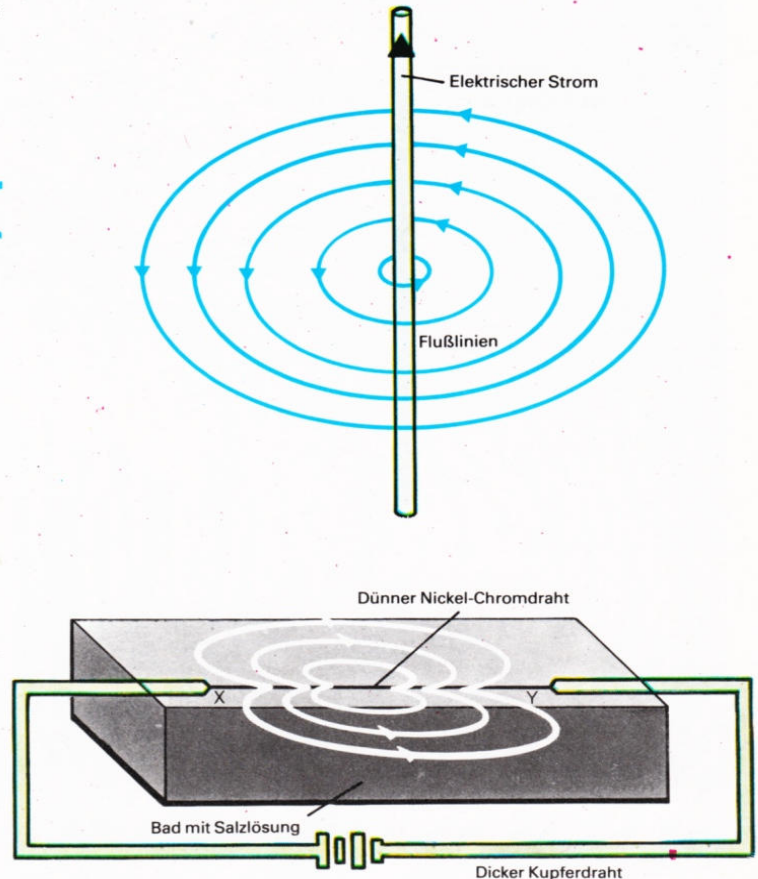
**Oben:** Eine Spule, durch die Strom fließt, baut ein Magnetfeld auf. Dieses Magnetfeld hat die gleiche Form wie das eines Stabmagneten.

Kraft' in einem magnetischen Kreis (analog der elektrischen Spannung in einem elektrischen Stromkreis) sowohl der Zahl der Windungen, die der stromführende Leiter bildet, als auch dem darin fließenden Strom proportional ist. Diese wird magnetomotorische Kraft oder magnetische Spannung genannt und wird in Ampere-Windungen gemessen. Man 'erfindet' eine imaginäre 'Substanz', die man als Ergebnis dieser magnetischen Spannung betrachtet. Sie wird magnetischer Fluß (auch magnetische Induktion) genannt, dessen Einheit das Weber (Wb) ist. Dann läßt sich ein Äquivalent zum Ohmschen Gesetz (siehe STROMKREIS, elektrischer) für magnetische Kreise formulieren, wonach die Spannung, die einen bestimmten Induktionsfluß erzeugt, sich berechnen läßt und umgekehrt. In elektrischen Stromkreisen ist die elektrische Spannung gleich Strom mal Widerstand. In magnetischen Kreisen ist die magnetische Spannung gleich Induktionsfluß mal Reluktanz (dem Widerstand gegen den Induktionsfluß).

### Dauermagneten

Dieses Denkmodell, Elektromagnetismus genannt, wird durch einen Aspekt des Magnetismus gestört, der kein Äquivalent im Gebiet der Elektrizität hat. Denn einige Elemente nehmen,

wenn sie einem magnetischen Feld ausgesetzt werden, Magnetisierung an und bleiben auch nach Entfernung aus dem magnetischen Feld Quelle eines Magnetfeldes, d.h. sie bilden weiterhin ein Flußlinienmuster im sie umgebenden Raum. Diese Stoffe heißen Permanentmagnete und das Phänomen 'Ferromagnetismus', weil Eisen (lateinisch ferrum) eines dieser Elemente ist. Andere ferromagnetische Stoffe sind die weniger bekannten Metalle Cobalt und Nickel, sowie die selten vorkommenden Elemente Gadolinium und Dysprosium.



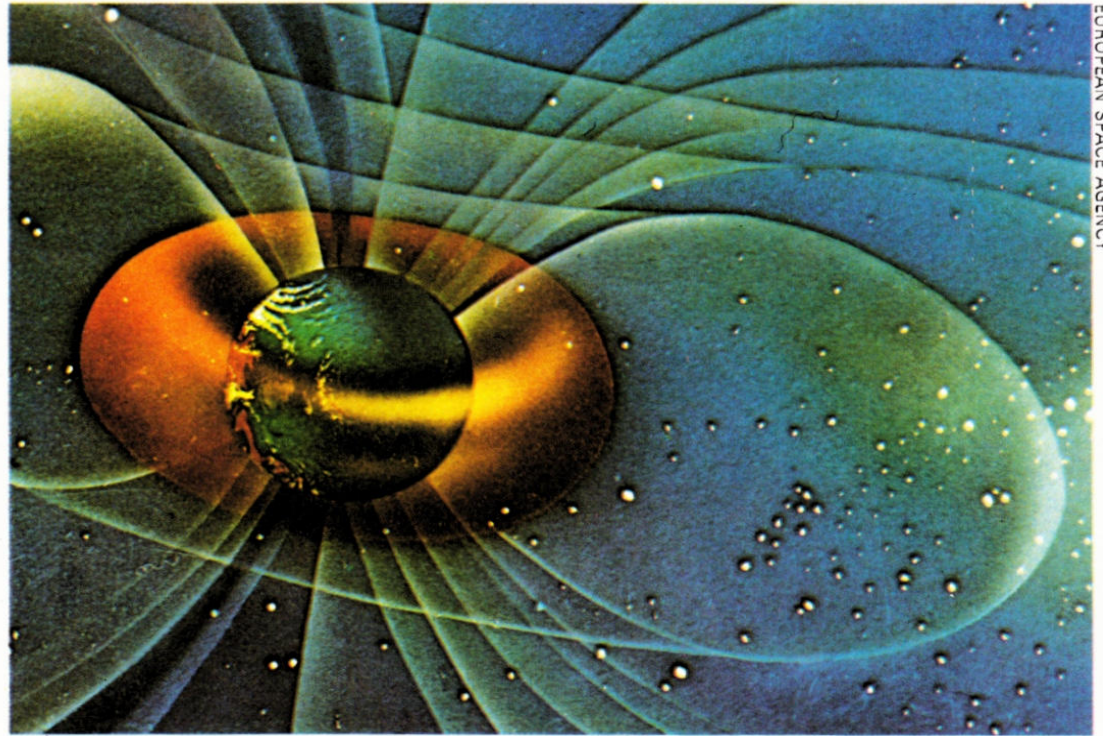
**Oben:** Ein in einem geraden Draht fließender Strom erzeugt ein Magnetfeldmuster. Es gibt keinen magnetischen Isolator, denn alle Materialien leiten den Induktionsfluß. Magnetische Kreise sind deshalb einem stromführenden Draht in einer Salzlösung ähnlich. Der Strom durch die Lösung gleicht dem Bild eines Magnetfeldes mit Polen bei X und Y.

Viele Lehrbücher über Elektrizität und Magnetismus beginnen mit der Entdeckung des Eisenerzes etwa 3000 v. Chr. in China. Dies und die Tatsache, daß Hufeisen- und Stabmagnete schon seit Generationen zum Kinderspielzeug gehören, erzeugt eine Nachfrage nach der Erklärung dieses Verhaltens im frühen Schulalter. Auch die Tatsache, daß die Erde längs einer Achse magnetisiert ist, die grob mit der Drehachse übereinstimmt, wurde schon damals von den Chinesen erkannt, die fanden, daß sich ein frei beweglich aufgehängter Erzstab stets in die gleiche geographische Richtung einstellt. Mit einfachen Regeln wurde gezeigt, daß magnetisiertes Eisenerz 'Pole' hat, die nach Norden und Süden zeigen. Dies wurde aus der Regel geschlossen, wonach sich gleiche Magnetpole abstoßen und ungleiche anziehen.

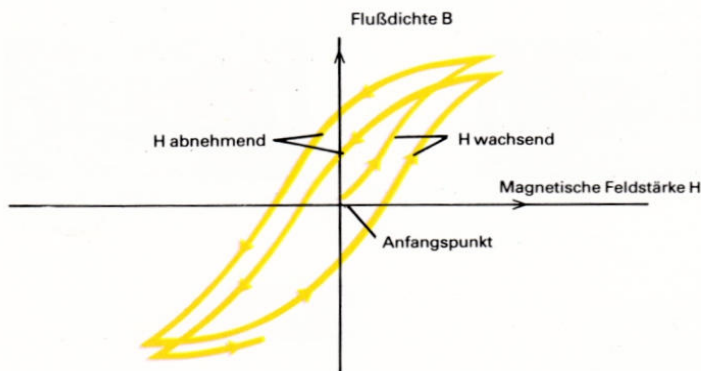
Vom Standpunkt des Unterrichtes her gesehen ist es fraglich, ob die Verfügbarkeit von Permanentmagneten gut oder schlecht ist, da sie die Aufmerksamkeit von der Natur der magnetischen Kreise ablenken, die in der Technik weitaus wichtiger ist als die Pol-Betrachtungsweise. Als Argument gegen das Konzept der magnetischen Kreise wird angeführt,



**Rechts:** Satelliten und Weltraumsonden haben diese Aufnahme unserer 'Magnetosphäre' möglich gemacht. Das Muster, das durch die Kraftlinien, die vom Magnetfeld der Erde ausgehen, entsteht, ist klar zu erkennen. Es wirkt wie eine Schutzhülle, die geladene Teilchen auffängt und die Erde vor elektrischem Bombardement schützt, indem sie den endlosen Teilchenfluß und die Sonneneinstrahlung an unserem Planeten vorbeilenkt.

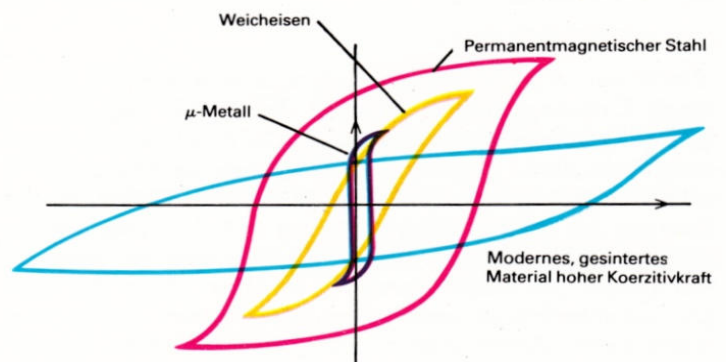
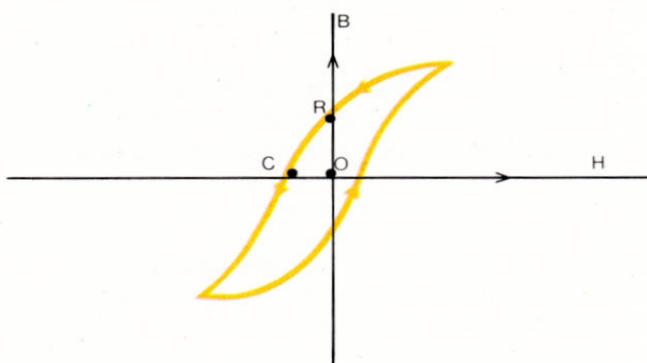


EUROPEAN SPACE AGENCY



**Links:** Eine typische magnetische 'Reise' als Ergebnis einer oszillierenden Magnetfeldstärke  $H$  in einem ferromagnetischen Material. Die letzte beständige Schleife nach Millionen von Durchläufen ist links gezeigt.  $R$  wird Remanenzpunkt genannt. Die Strecke  $OR$  gibt an, welcher Anteil der Induktionsflußdichte  $B$  zurückbleibt, wenn die magnetische Feldstärke  $H$  Null wird. Der Abstand  $OC$  wird Koerzitivfeldstärke genannt.

**Unten:** Die Form der Hystereseschleifen von verschiedenen ferromagnetischen Materialien, die in der Technik gebraucht werden. Permanentmagnetischer Stahl hat kleine Beimischungen anderer Elemente, um die Strecken  $OC$  und  $OR$  sowie die von der Schleife umschlossene Fläche möglichst groß zu halten. Magnetschirme in elektronenoptischen Systemen benötigen höchstmögliche magnetische Leitfähigkeit.



daß magnetische Kreise nicht wie elektrische Stromkreise isoliert werden können (siehe ISOLATOR), da die magnetische Leitfähigkeit der Luft oder auch des Vakuums nur etwa tausendmal kleiner ist als die der besten magnetisch leitenden Stähle. Faraday selbst verglich das Bild der magnetischen Feldlinien eines Permanentmagneten mit dem Erscheinungsbild eines elektrischen Stromkreises in einer Salzlösung, die ein guter Elektrizitätsleiter ist. Während die elektrischen Stromkreise der meisten elektrodynamischen Maschinen komplex sind und häufig aus vielfach gewundenen, dünnen Drähten bestehen, sind die zugehörigen magnetischen Kreise einfach, kurz, dick und bestehen aus einer einzigen Schleife.

Nachteile des Pol-Konzeptes sind, daß es erstens die Vermutung bestärkt, es gebe isolierte Magnetpole im Raum, die bisher jedoch trotz intensiver Suche nicht gefunden wurden (dagegen existieren isolierte elektrische Ladungen), und daß zweitens Schwierigkeiten auftreten, wenn die Reaktionen zwischen Permanentmagneten und zunächst nicht magnetisierten ferromagnetischen Materialien erklärt werden sollen. Dazu wurde das Gesetz des induzierten Magnetismus formuliert, das besagt, daß in einem Weicheisenstück in der Nähe des primären Magnetpols ein entgegengesetzter Pol und ein dem primären Pol gleicher Pol am entferntesten Punkt des Eisenstückes induziert werden. Mehrere Experi-



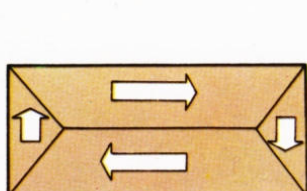
mente sind auf der Grundlage der Pole allein schwer erklärbar, während das Konzept der magnetischen Kreise keine Erklärungsschwierigkeiten bereitet. Die Materialien nehmen danach innerhalb ihrer mechanischen Möglichkeiten stets den Zustand kleinster Reluktanz, d.h. des geringsten Widerstandes gegen den Induktionsfluß an. Diese Theorie der magnetischen Kreise sieht die Magnetpole als eine Reluktanzänderung zwischen verschiedenen Teilen des Magnetkreises an.

### Die Hystereseschleife

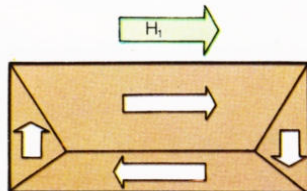
Es gibt noch Schwierigkeiten anderer Art mit Permanentmagneten. Die magnetische Flußdichte  $B$  (die Zahl der

rigsten zu erklärenden Phänomene in der klassischen Physik. Mehrere Generationen lang war Webers Theorie, wonach alle ferromagnetischen Substanzen aus vielen kleinen Permanentmagneten aufgebaut seien, das einzig brauchbare Modell. Die Vorstellungskraft mußte sehr bemüht werden, um die zunehmende Ausrichtung der 'Mikromagneten' beim Durchlaufen einer Hystereseschleife zu erklären.

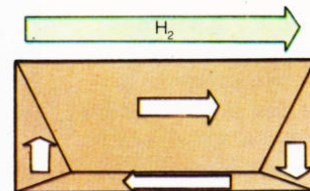
Die moderne Theorie des Ferromagnetismus beginnt mit dem Barkhausen-Effekt, wo Klicken in einem Telefonhörer empfangen wird, wenn eine Spule die ferromagnetische Probe umschließt und diese durch langsames Anwachsen der magnetischen Spannung magnetisiert wird. Pionierarbeit wurde in



**Oben:** Anordnung sättigungsmagnetisierter Bereiche in einem nicht magnetischen Eisenkristall.

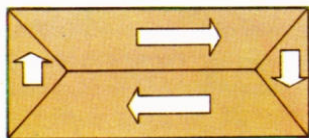
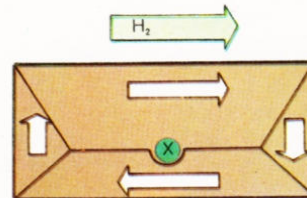
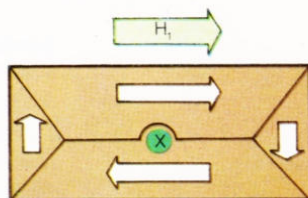


**Oben:** Bezirke, die durch Anglegen eines Magnetfeldes der Stärke  $H_1$  in der angezeigten Richtung entstehen.

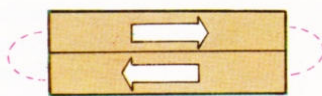


**Oben:** Wird die Stärke des Magnetfeldes auf  $H_2$  verstärkt, wächst der Bereich, der gleich ausgerichtet ist.

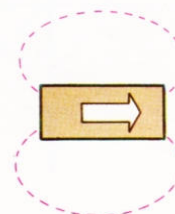
**Rechts:** Dieses Bild zeigt, was eine Verunreinigung an der Bloch-Wand während der Magnetisierung verursacht. Die Bereiche ändern sich plötzlich von (a) nach (b), wodurch sich z.B. das 'Klick' im Telefonhörer vernehmen läßt.



**Oben:** In diesem Falle liegt kein äußeres Magnetfeld vor.



**Oben:** Etwas magnetostatische Energie entsteht durch Verkleinerung.



**Oben:** In einem einzigen Bezirk gibt es keine Bloch-Wand-Energie.

'Flußlinien' pro Flächeneinheit, gemessen in  $\text{Wb}/\text{m}^2$ ), die in einem ferromagnetischen Material durch eine magnetische Spannung induziert werden kann, ist der magnetischen Spannung nicht direkt proportional. Trägt man die Flußdichte  $B$  gegen die magnetische Feldstärke  $H$  auf (eine Größe, die als Quotient der magnetischen Spannung und des dabei zurückgelegten 'magnetischen' Weges gegeben und in Ampere-Windungen pro Meter gemessen wird), so hängt der Magnetisierungszustand eines ferromagnetischen Stoffes von seiner magnetischen Vorgeschichte ab. Nach vielen Durchläufen stellt sich als Bild eine stetige Schleife ein, Hystereseschleife genannt. Die von ihr umschlossene Fläche ist ein Maß für die bei einem Umlauf geleistete Arbeit, die sich als Wärme im Material äußert.

Das Verhältnis  $B/H$  wird Permeabilität  $\mu$  genannt. Es ist klar, daß die Permeabilität  $\mu$  nicht konstant ist, wenn  $B$  sich ändert. Liegt kein ferromagnetisches Material vor, ist die Permeabilität  $\mu$  konstant und die magnetische Leitfähigkeit direkt in der Magnetkreis-Version des Ohmschen Gesetzes benutzbar.

### Theorie des Ferromagnetismus

Das Verhalten von Ferromagneten ist eines der am schwie-

den Bell Telephone Laboratories (USA) durch ein Team mit Bozorth, Dillinger, Shockley (berühmt durch den Transistor) und Williams geleistet. Sie polierten die Oberfläche einer Probe und ätzten sie mit Säure. Dies enthüllte das Muster von Wänden (später Bloch-Wände genannt), die Bereiche verschiedener Magnetisierung trennen. Die Theorie dieser Bezirke wurde zu dem folgenden Modellbild ausgebaut.

Ein Schlüssel zum Verständnis des Unterschiedes zwischen ferromagnetischen und nichtferromagnetischen Materialien wurde in ihrem atomaren Aufbau gefunden. Die den Atomkern umgebenden Elektronen sind in Schalen angeordnet (siehe ATOME UND MOLEKÜLE). Bei den Elementen mit niedriger Ordnungszahl werden nur die innersten Schalen aufgefüllt, während die Schalen mit großem Abstand vom Atomkern dann bei den Elementen hoher Ordnungszahl im Periodensystem (siehe CHEMIE) benutzt werden, wo mehr Elektronen im Atom vorhanden sind. Zur richtigen Beschreibung der Energiezustände eines Atomes erwies es sich als notwendig, sich die Elektronen mit einem Eigendrehimpuls, dem 'Spin', ausgestattet vorzustellen (obgleich es manchmal nötig ist, ein Elektron als Energie und ohne Form anzunehmen).

Nur die ferromagnetischen Elemente zeigen im Atomaufbau mindestens ein Elektron in einer äußeren Schale, dessen Spin



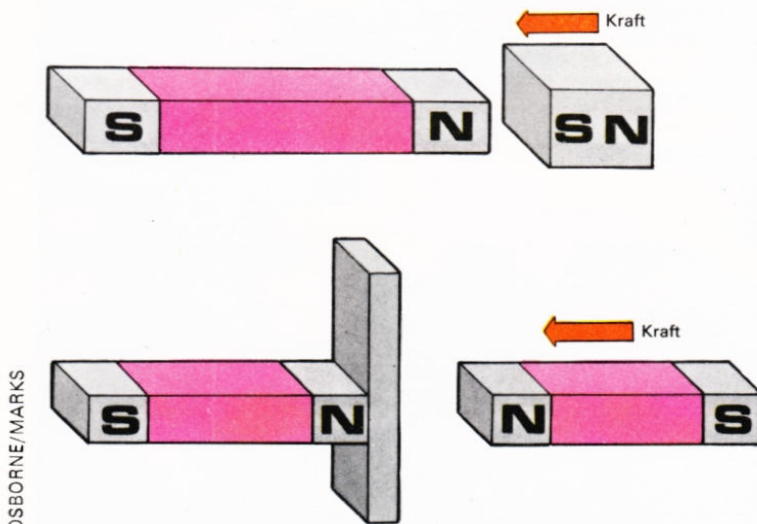
nicht abgekoppelt ist. Auf dieser Grundlage konnte bald gezeigt werden: Sind die Atome in Ferromagneten so angeordnet, daß die Achsen unkompensierter Spins parallel sind, so ist es wahrscheinlich, daß diese Anordnung beibehalten wird und weitere benachbarte Atome gleich ausgerichtet werden. Diese Ausrichtung geschieht schnell und führt zu einer Selbstmagnetisierung in jedem Kristall aus ferromagnetischem Material, solange, bis ein Sättigungszustand erreicht ist.

Bei jedem Einkristall jedoch war das, was bisher als Magnetisierungsgrad definiert wurde, nicht dadurch zustande gekommen, daß jeder Kristallteil bis zum gleichen Anteil des Sättigungszustandes magnetisiert ist. Vielmehr ist der Kristall in Teile oder Bereiche aufgeteilt, die alle im Zustand der Sättigungsmagnetisierung sind; aber nicht alle Bereiche sind magnetisch gleich ausgerichtet. Die Gesetzmäßigkeiten dieser Bereiche können durch Ätzen experimentell untersucht werden. Die theoretische Betrachtung geht davon aus, daß der Kristall als Ganzes den Zustand der geringsten Gesamtenergie annimmt.

Die verschiedenen Energieformen in einem magnetischen Metall können folgendermaßen klassifiziert werden: Erstens gibt es magnetostatische Energie dort, wo der Induktionsfluß aus dem Kristall austritt und durch den Raum verläuft. Zweitens gibt es Magnetostruktionsenergie durch die Längenänderung des Kristalles bei der Magnetisierung, die mechanische Formänderungsarbeit bewirkt. Drittens existiert

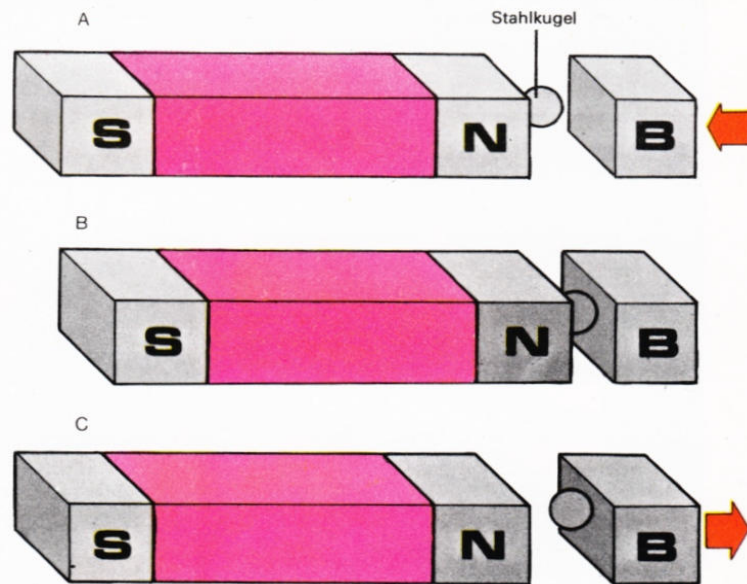
die Energie der Bloch-Wände auf Grund der Spannung im Atomgitter, wo innerhalb weniger Atomdurchmesser der Spin entgegengesetzt gerichtet ist.

Wird ein ferromagnetisches Metall in immer kleinere Teile zerlegt, wird die Bedingung, das Minimum der Energie anzunehmen, durch die Magnetisierung in einer Richtung erfüllt. Diese Erkenntnis gab einer neuen Magnettechnologie Auftrieb, in der feines metallisches Puder geschüttelt wird, bis es eine Ausrichtung zeigt (genau wie Webers Theorie es voraussagt) und dann gesintert (erhitzt) wird, um einen Permanentmagneten mit sehr großer Koerzitivkraft zu erzeugen. (Koerzitivkraft ist die Kraft, die nach einer Anfangsmagnetisierung den magnetischen Fluß auf Null bringt.) Diese Technik kann auch auf alle Stoffe ausgedehnt werden, die keine reinen Metalle sind; die sogenannten Ferrite. Dies sind keramische Materialien, die auf der Basis von Eisenoxid mit Beimischungen von Oxiden der Übergangsmetalle—wie Cobalt und Nickel—hergestellt werden. Im Falle nicht-metallischer magnetischer Materialien wurde gefunden, daß nicht alle Elektronen-Spins in einem Bereich gleich ausgerichtet sind. Vielmehr sind die nicht kompensierten Spins eines Teiles der Atome in eine Richtung eingestellt, während die Spins der restlichen Atome entgegengesetzt gerichtet sind. Solche Stoffe enthalten deshalb äußerlich keinen so hohen Induktionsfluß wie metallische Substanzen. Diese Ferrite werden ferrimagnetisch genannt und in Mikrowellen-Apparaturen benutzt, wo es wichtig ist, daß das



**Oben:** Es wird gesagt, ein Permanentmagnet induziere Pole in einem ursprünglich nicht magnetisierten Weicheisenstück. Das dem Nordpol am nächsten gelegene Ende wird — wie gezeigt — Südpol, und das Eisenstück wird vom Magneten angezogen. Wenn aber ein dünner Streifen unmagnetisierten Stahles am Nordpol des Magneten angebracht wird (1), ergibt sich eine Anziehungskraft auf den Nordpol eines anderen Magneten (2). Dieses Verhalten ist mit dem Polkonzept schwer erklärbar, aber es kann aus der Natur der magnetischen Kreise leicht erklärt werden: Das System nimmt stets den Zustand kleinster Reluktanz an.

**Oben rechts:** Eine anfänglich nicht magnetische Stahlkugel kann stets vom Pol eines primären Permanentmagneten mit Hilfe eines nicht magnetischen Eisenstückes abgelöst werden (B), wie in (A) bis (C) gezeigt wird. Auch dieses Verhalten kann durch das Pol-Modell nicht beschrieben werden, jedoch durch das Konzept der magnetischen Kreise. Es wird damit erklärt, daß die Anordnung die geringste Reluktanz hat, wenn die Kugel am Eisen (B) angebracht wird.



Material nicht leitfähig ist. Weiterhin kann hier der Grad der Sättigungsmagnetisierung durch die Materialmischung beeinflusst werden.

Neuere Entwicklungen sind flexible und sogar flüssige magnetische Materialien, die durch die Puder-Metallurgie aus Mischungen von Barium-Ferrit und anderen ähnlichen Stoffen, eingebettet in Gummi, Polyvinylchlorid oder andere Kunststoffe, hergestellt werden. Flüssigkeiten werden so erzeugt, daß jedes Ferriteilchen in eine Schicht von Molekülen eines langkettigen Polymers eingebettet wird. Die Kapseln gleiten scheinbar ohne Reibungswiderstand gegeneinander. Wenn zum Beispiel eine Suspension in Wasser hergestellt wird, so hat die Flüssigkeit die Viskosität von Wasser, da die Teilchen so klein sind, daß sie sich auf Grund der Wärmebewegung nicht absetzen können.



## MAGNETOHYDRODYNAMIK (MHD)

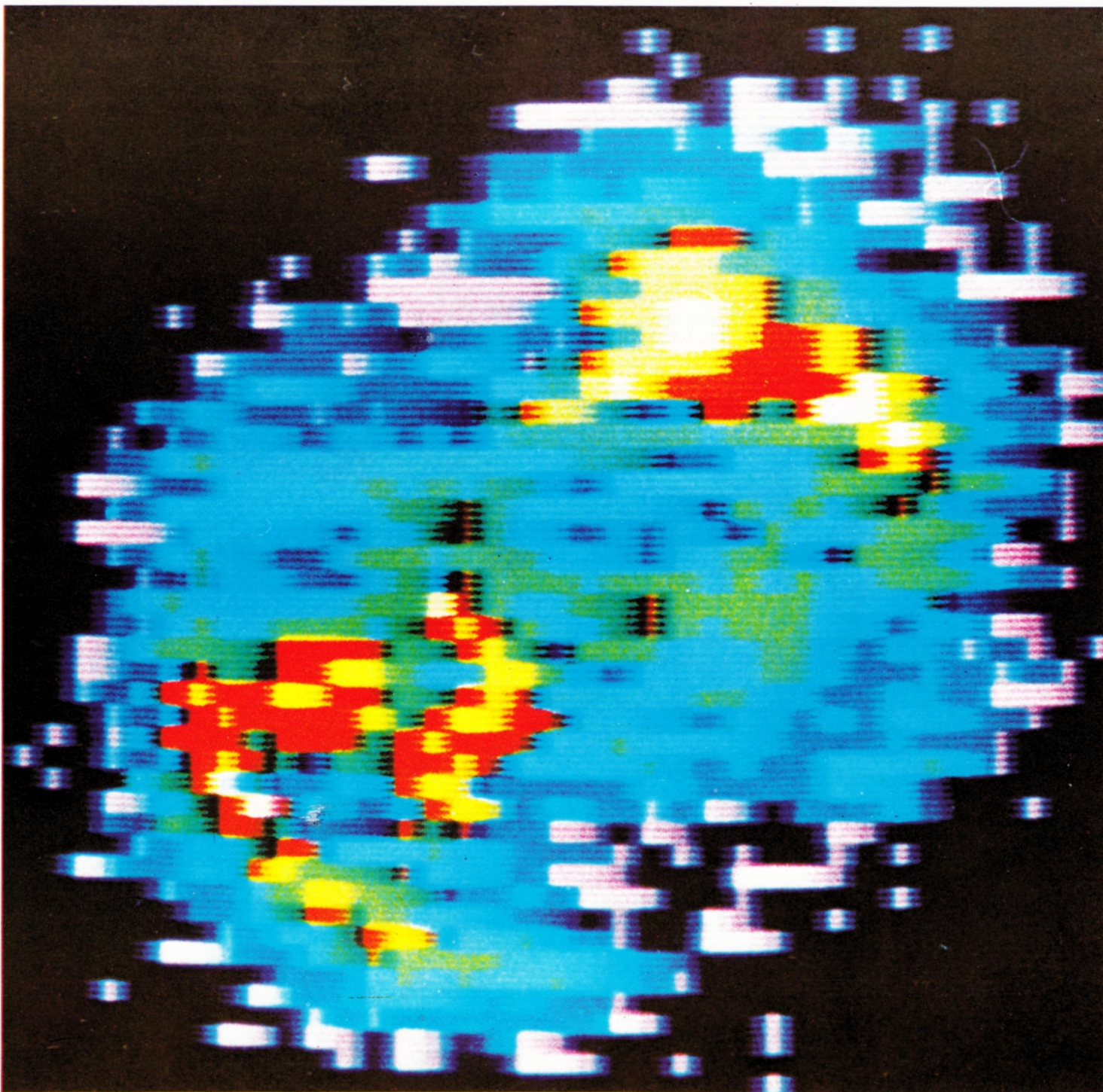
**Magnetohydrodynamische Erscheinungen können bei der Erzeugung von Elektrizität genutzt werden. Beim magnetohydrodynamischen Umwandler vermeidet man die bei Turbinen anfallenden Probleme und Energieverluste.**

Während die HYDRODYNAMIK sich mit den Bewegungen von Wasser und anderen Flüssigkeiten und Gasen beschäftigt, ist die Magnetohydrodynamik die Wissenschaft von den Strömungsvorgängen in elektrisch leitenden Flüssigkeiten und Gasen unter dem Einfluß magnetischer Felder. Als flüssige Leiter eignen sich z.B. Quecksilber, flüssiges Natrium und wäßrige Salzlösungen. Die Leitfähigkeit in Gasen ergibt sich durch Ionisation (siehe IONEN UND IONISATION), die man durch

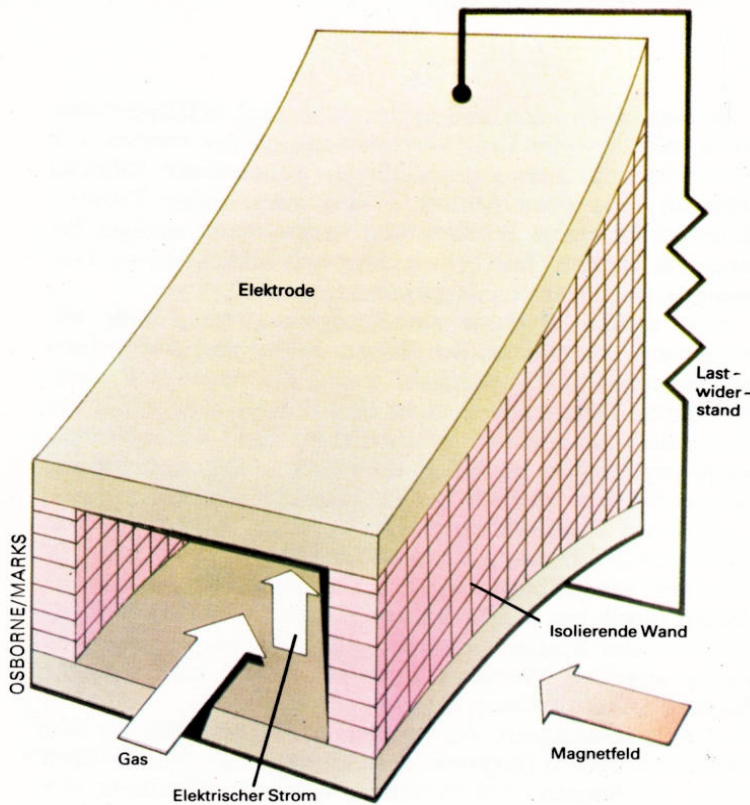
Erhitzen oder durch andere Arten von Energiezufuhr erreichen kann. Ein ionisiertes Gas heißt 'Plasma'.

Wenn sich elektrische Ladungsträger durch ein Magnetfeld bewegen, das zu ihrer Bewegungsrichtung senkrecht steht, wird in der zu beiden Richtungen senkrechten Richtung eine Spannung induziert (Induktionsgesetz). Ein typisches Beispiel ist die Dynamomaschine, bei der die Elektronen eines Kupferleiters als Ladungsträger dienen. Die gleichen Gesetze gelten aber auch für Ladungsträger in Gasen und Flüssigkeiten. Zusätzlich zu den elektromagnetischen Gesetzen muß man jedoch bei Gasen und Flüssigkeiten berücksichtigen, daß die

***Unten:** Digitalisiertes Spektrogramm der Sonne (Satellitenaufnahme), auf dem die Sonnenfleckentätigkeit sichtbar wird. Magnetohydrodynamische Effekte können in den Strömungsvorgängen des Sonnenplasmas studiert werden. Die Aktivität nimmt von den weißen über die gelben zu den roten Flecken ab.*







**Links:** Grundanordnung eines MHD-Wandlers. Das heiße Plasma tritt in die Kammer und verhält sich wie ein schnell bewegter elektrischer Leiter. Das Magnetfeld liegt senkrecht zur Strömungsrichtung des Plasmas, damit die ionischen Ladungsträger ein Maximum an magnetischem Fluß durchschneiden — entsprechend dem bei der konventionellen Dynamomaschine verwendeten Prinzip. Die induzierte Spannung liegt zwischen den beiden Elektroden (oben und unten).

und das Fließen eines Stromes durch einen mit den Elektroden verbundenen Lastwiderstand) dienen. Auf diesem Wege wird die thermische Energie, z.B. einer Flamme, direkt in elektrische Energie umgewandelt, d.h. ohne die üblichen Zwischenstufen wie Erhitzen von Wasser zur Dampferzeugung, Antreiben einer Dampfturbine und Bewegen eines Generators. Wegen dieser Direktumwandlung verspricht die Magneto-hydrodynamik erhebliche Vorteile.

Ein wichtiger Faktor bei der MHD-Umwandlung ist die Leitfähigkeit des Plasmas, die von der Art des Gases und von der Temperatur abhängt. Bei einer Temperatur von  $3000^{\circ}\text{C}$  ist normalerweise nur jedes millionste Atom eines Gases ionisiert. Bei  $4000^{\circ}\text{C}$  mag die Konzentration auf ein Zehntausendstel ansteigen, aber selbst dieser Wert ist noch viel zu niedrig, um eine brauchbare Leitfähigkeit zu erzielen.

Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Ionenkonzentration besteht im Zusatz eines 'Saatmittels', eines Elementes, das bei der Arbeitstemperatur leichter ionisiert werden kann. So erreicht man durch Zusatz von etwa einem Prozent Kaliumdampf eine Ionisation von etwa einem Tausendstel bei 3000°C. Das Gas hat dann eine Leitfähigkeit von 40 S/m bis 50 S/m (S = Einheit Siemens = 1/Ohm), also einen spezifischen Widerstand von etwa 0,02 Ohmmeter.

Leider bleibt aber selbst mit solchen Zusätzen die Leit-

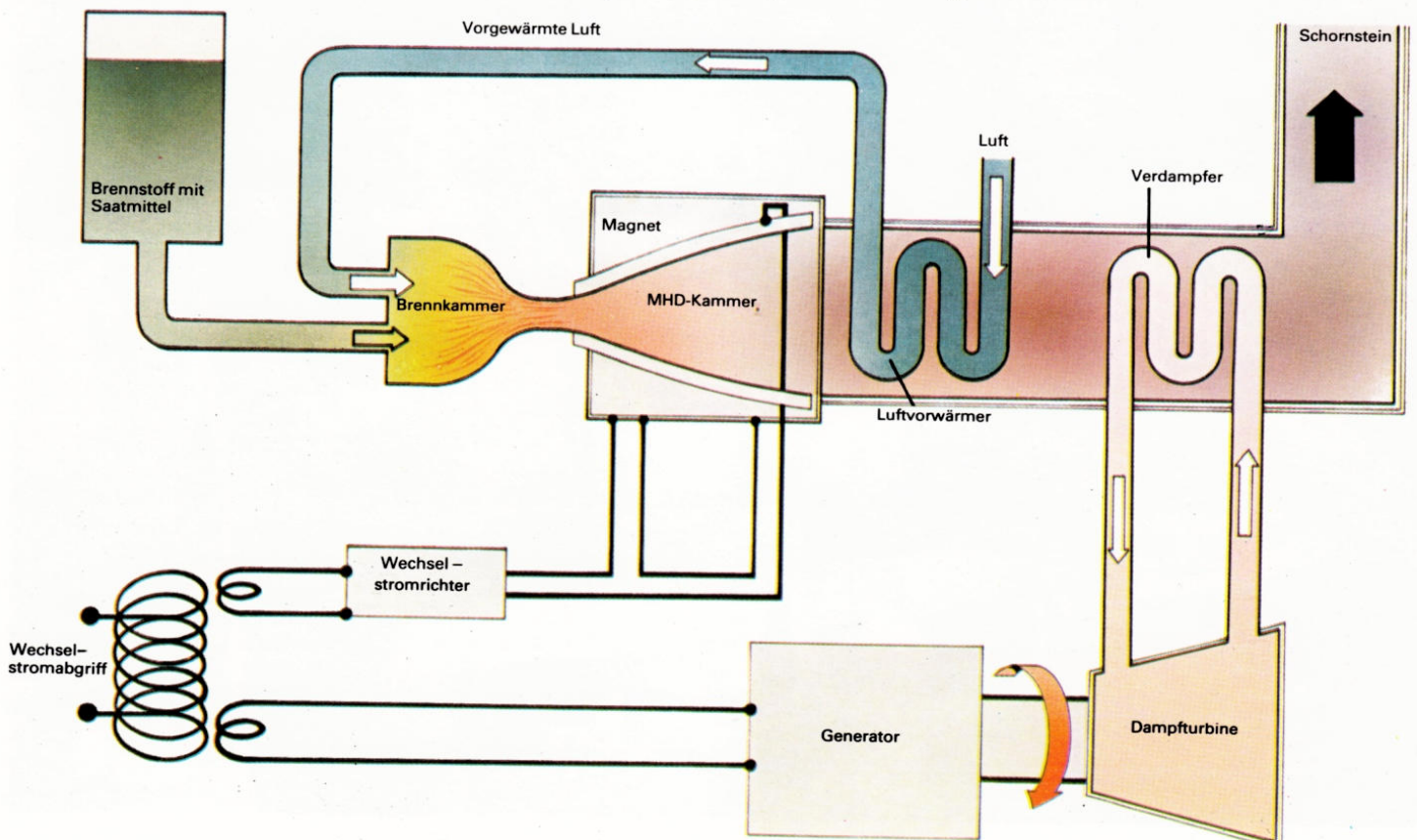
elektromagnetischen Vorgänge auch die Strömungsverhältnisse beeinflussen. Die Kombination der strömungsmechanischen Bewegungsgleichungen mit den elektromagnetischen Gleichungen führt zu den komplizierten Theorien der MHD.

Handelt es sich ausschließlich um Gase, spricht man, in Anlehnung an die russische Sprache, auch von Magnetogasdynamik (MGD) oder von Magnetoplasmadynamik (MPD). Die Franzosen benutzen den Ausdruck 'magnetoaérodynamique'.

## MHD-Umwandlung

Strömt ein heißes Plasma durch ein senkrecht zur Bewegungsrichtung liegendes Magnetfeld, kann ein Elektrodenpaar zur Entnahme elektrischer Energie (über die induzierte Spannung

**Unten:** Schema eines offenen MHD-Systems, das in Verbindung mit einer Dampfturbine arbeitet.





fähigkeit immer noch sehr klein und beträgt bei  $3000^{\circ}\text{C}$  bis  $4000^{\circ}\text{C}$  nur ein Millionstel der Leitfähigkeit des Kupfers bei normaler Temperatur. Das Volumen eines MHD-Wandlers (oder 'MHD-Generators') ist deshalb wesentlich größer als das eines gleichwertigen klassischen Generators mit Kupferspulen; der innere Widerstand ist viel größer, und der Wirkungsgrad als Generator ist deshalb begrenzt.

Die elektrische Energie, die vom MHD-Generator erzeugt wird, stammt von der kinetischen Energie des bewegten heißen Gases und von der Kompressionsenergie. Wenn durch Energieentnahme das Gas auf  $2000^{\circ}\text{C}$  abgekühlt ist, wird es für die MHD-Anwendung unbrauchbar (da der Widerstand zu hoch wird). Die noch beträchtliche thermische Energie kann aber in einem konventionellen Kraftwerk weiter genutzt werden. Deshalb sind MHD-Wandler als thermodynamische 'Vorschaltanlagen' geeignet, die den Gesamtwirkungsgrad eines kombinierten KRAFTWERKS erhöhen.

Die heißen Gase strömen aus einer Brennkammer mit Geschwindigkeiten in der Nähe der Schallgeschwindigkeit (etwa  $1000\text{ m/s}$ ) aus. (Die Schallgeschwindigkeit bei der Verbrennungstemperatur ist etwa dreimal so groß wie bei Raumtemperatur.) Die sehr hohen Temperaturen erreicht man durch Verbrennen des Brennstoffes (Gas, Erdöl oder auch Kohlenstaub) in Sauerstoff. Beim praktischen Einsatz in Großanlagen wird man jedoch auf Verbrennung in Luft angewiesen sein, die durch die noch heißen Abgase vorgeheizt werden kann, ehe diese nach Herausfiltern des Saattmittels in die Atmosphäre entweichen.

Die Wärme- und Reibungsverluste an den Elektroden eines MHD-Wandlers sind enorm (die Verhältnisse ähneln denen an der Düse einer Saturn-Rakete), aber die Energie wird dem ganzen Volumen entzogen. Um erheblich mehr Energie nutzbar zu machen als verloren geht, muß man große MHD-Generatoren mit Leistungen von mehreren Megawatt bauen, bei denen das Verhältnis von Volumen zu Wandfläche günstig wird.

In der Sowjetunion und in den USA sind MHD-Generatoren mit Öl- oder Erdgasverbrennung gebaut worden, die eine elektrische Leistung von einigen Zehntausend Kilowatt während etwa einer Minute liefern, oder einige Tausend Kilowatt für einige Stunden und entsprechend weniger bei längerem Betrieb. Die Entwicklung soll schließlich zu Leistungen von mehreren Megawatt führen.

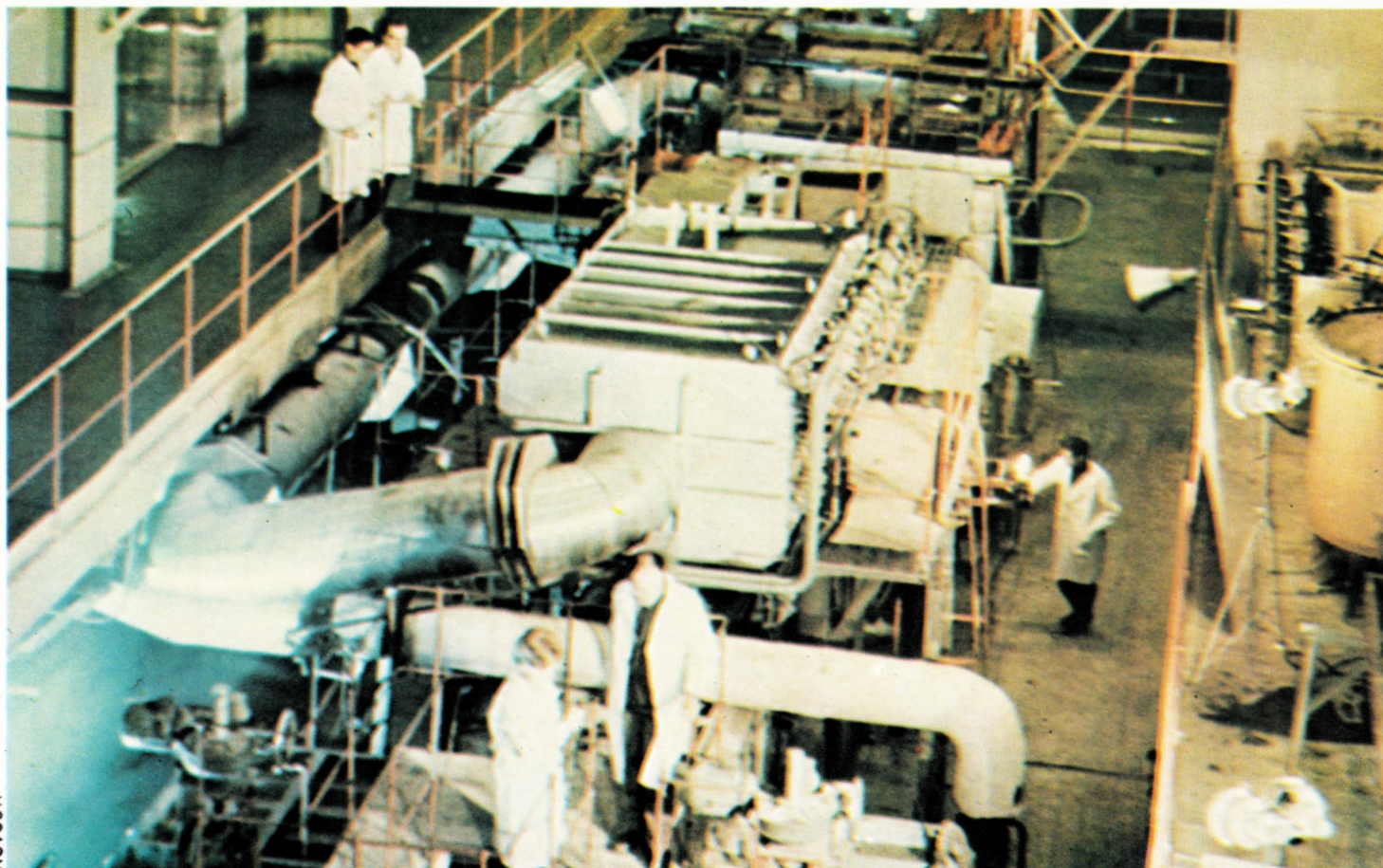
Eine andere Methode zur Energiegewinnung wäre ein Hochtemperaturreaktor, der Helium erhitzt und durch einen geschlossenen MHD-Kreislauf treibt. Da die vom Reaktor gelieferten Temperaturen nicht einmal ausreichen, Gase mit Saattmitteln hinreichend zu ionisieren, sind Nichtgleichgewichtsionisationen zusätzlich erforderlich. Die Entwicklung solcher Systeme wird viel Zeit in Anspruch nehmen.

Auch an Flüssigmetall-MHD-Systemen wird gearbeitet. Die Wärme von einem Kernreaktor könnte ein Metall, z.B. Natrium, verdampfen, und der Dampf würde das flüssige Metall durch ein MHD-System pressen. Obwohl die Leitfähigkeit des flüssigen Metalls sehr hoch ist, ergeben sich bisher ungelöste Probleme durch die Blasen- und Schaumbildung beim Verdampfungsprozeß.

Die Elektromagnete, die bei einem MHD-System ein sehr hohes Magnetfeld (mehrere Tesla) über ein großes Volumen (viele Kubikmeter) liefern sollen, verlangen Hunderte von Tonnen von Kupfer und Stahl sowie einige Megawatt elektrischer Leistung. Eine günstigere Lösung kann sich durch den Einsatz sehr großer supraleitender Magnete ergeben.

Die erfolgreiche Entwicklung der MHD-Umwandlung wird also neue Materialien und neue Methoden einsetzen müssen, um die Probleme bei einigen der höchsten und tiefsten heute möglichen Temperaturen zu meistern.

*Versuchsaufbau eines kommerziellen MHD-Generators. Die in Moskau befindliche Anlage wird hier im Bild gerade zur Inbetriebnahme vorbereitet.*









# Erfindungen 29: RAFFINIEREN VON ZUCKER

Die Entwicklungsgeschichte des Zuckeranbaus ist unklar. Da aber Zuckerrohr in Indien und Südostasien wild wächst, muß Zucker wohl zuerst in dieser Gegend angebaut worden sein. Der erste sichere geschichtliche Nachweis deutet darauf hin, daß er um das Jahr 450 n. Chr. in Persien angebaut wurde. Vor dieser Zeit aber war Zucker vermutlich schon lange in Indien angebaut worden. In entfernten Teilen Indiens wird heute das Raffinieren von Zucker mit solch primitiven Mitteln durchgeführt, daß man fast mit Sicherheit annehmen kann, daß sich das Verfahren während der letzten zweitausend Jahre wenig geändert hat.

## Zerquetschen des Zuckerrohres

Um kristallinen Zucker aus dem Zuckerrohr zu gewinnen, sind mehrere Arbeitsgänge erforderlich. Zuerst muß das Zuckerrohr zerquetscht werden, um den Saft zu extrahieren, der dann filtriert wird. Die unerwünschten Bestandteile im Saft müssen anschließend entfernt und die gereinigte Flüssigkeit zur Herstellung von Hutzucker eingedampft werden. Die früher verwendete Vorrichtung zum Zerquetschen des Zuckerrohres war zwar in ihrer Ausführung sehr einfach, in der westlichen Welt war sie jedoch vor der Einführung des Zuckeranbaues unbekannt. Sie muß daher als eine indische oder südostasiatische Erfindung angesehen werden. Die Zuckerrohr-Quetschanlage war in ihrer Funktion wie eine große Wäschemangel, d.h. sie bestand aus einem Paar Walzen, zwischen denen das Zuckerrohr durchgeleitet wurde. In ihrer einfachsten Form waren die Walzen in einem Rahmen vertikal angeordnet, und eine lange Griffstange war am Ende der einen Walze angebracht. Der Griff wurde entweder durch Menschenkraft oder durch ein angeschirrtes Zugtier, das im Kreis um die Maschine herumlief, betätigt. In die Walzen war eine spiralige Rille eingeschnitten, in der der Saft nach unten in einen Trog floß.

In einigen Teilen Südasiens findet man heute mit Wasserkraft



**Links:** Eine Zuckerrohrzerquetschanlage in Südamerika, dargestellt auf einem spanischen Druck. Das erste Zuckerrohr wurde Ende des 15. Jahrhunderts von Kolumbus importiert.

**Unten:** Raffinieren von Zucker in Indien. Der flüssige Zucker wird mit Kalk aufgekocht. Der Kalk sorgt für Zusammenballen der Feststoffe und Trennung vom Zuckersaft.



MARGARET MURRAY



angetriebene Zuckerrohrquetschanlagen, deren einfache Ausführung auf einen sehr frühen Ursprung schließen läßt. Die Walzen, von denen eine direkt von einem Wasserrad angetrieben wird, sind horizontal in dem Rahmen angeordnet.

Der aus den Quetschanlagen extrahierte Zucker-Dicksaft wurde durch ein Sieb aus grobem Baumwolltuch gegeben, um alle Festkörper, wie z.B. Zuckerrohrsplitter, zu entfernen. In diesem Stadium enthielt der Dicksaft noch einen hohen Anteil an löslichen Stoffen, die entfernt werden mußten, wenn ein ganz weißer Zucker erwünscht war. Der Dicksaft wurde daher mit Löschkalk in großen Bottichen gerührt. Die unerwünschten Bestandteile bildeten einen festen Rückstand, der sich auf dem Boden des Bottichs absetzte und somit gestattete, daß die gereinigte Flüssigkeit (der Dünnsaft) abgelassen

werden konnte. Sie wurde dann in konisch geformte Gefäße gegeben. Das restliche Wasser wurde entweder durch die Sonne oder, wenn dies nicht ausreichend war, durch leichtes Erhitzen verdampft. In einigen Fällen dienten die Blätter und das zerquetschte Zuckerrohr als Brennstoff. Das Produkt dieses Verfahrens war der konische Zuckerhut in der traditionellen Form.

### Die Neue Welt und der Zucker

Die Ausdehnung des Zuckeranbaus und des Raffinierens von Zucker über die Grenzen des Ursprungslandes hinaus ist in erster Linie den Arabern zu verdanken. Aus Persien und Nordwestindien brachten sie die Verfahren nach Syrien, Ägypten, Nordafrika und Spanien. Als die Spanier die Neue Welt entdeckten, waren ihnen die Verfahren des Anbaus und der Raffinerie des

Zuckers schon bekannt. Auf den Westindischen Inseln und im Süden der Vereinigten Staaten errichteten sie Zuckerplantagen und importierten Schwarze zur Sklavenarbeit, um die Plantagen zu bearbeiten. Es dauerte nicht lange, bis andere europäische Nationen von den Spaniern lernten. Zeitgenössische Beschreibungen und Illustrationen der Zuckerindustrie in der Neuen Welt zeigen, was die Europäer den Indern zu verdanken haben. Die Zuckerrohrquetschanlage ist zum Beispiel genau die gleiche wie jene, die in Indien verwendet wurde.

**Links unten:** Zuckerherstellung in Panjab. Das Rohr wird geschnitten, zerquetscht und verbrannt.

**Unten:** Zuckersaft aus frisch zerquetschtem Zuckerrohr dient als Getränk.

