

# WIE GEHT DAS

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





---

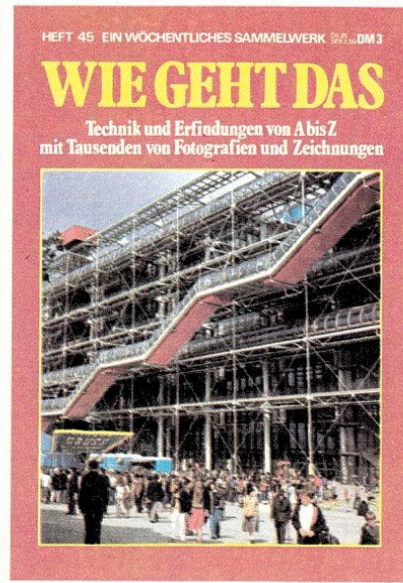
scan: **IGDL**

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Raumsonden	1205
Rechenmaschinen	1211
Reflektor	1215
Registrierkasse	1216
Reissverschluss	1220
Relais	1221
Relativitätstheorie	1224
Rennwagen	1229

## In Heft 45 von Wie Geht Das



Bei der Beförderung einer größeren Anzahl von Personen sind Rolltreppen leistungsfähiger als Fahrstühle, insbesondere, wenn sie nur zwischen ein oder zwei Stockwerken verkehren. Alles über Rolltreppen im nächsten Heft von 'Wie Geht Das'.

Röntengeräte stellen für jedes moderne Krankenhaus eine notwendige Einrichtung dar. Sie werden auch häufig in der Industrie eingesetzt. Lesen sie alles über die Beschaffenheit der Röntgenstrahlen, wie sie hergestellt und wozu sie verwendet werden nächste Woche in 'Wie Geht Das'.

### 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.

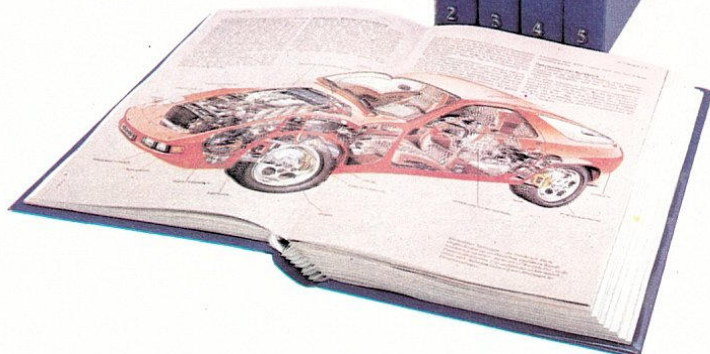
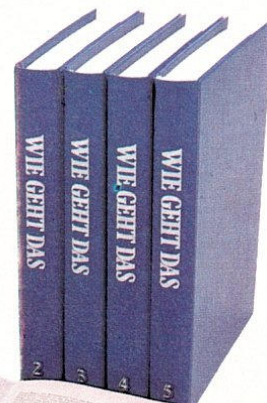
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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 leserlich enthalten.





## RAUMSONDEN

**Raumsonden sind die kompliziertesten Roboter, die je gebaut wurden. Sie erfassen Informationen über andere Planeten und müssen auf den langen Reisen im Weltraum den Menschen ersetzen.**

Ein Erdsatellit sendet Messungen und zuweilen auch Fotografien von Gebieten der Erde, die er gerade überfliegt. Raumsonden hingegen müssen vielfach sehr genaue Manöver durchführen, um an die den Menschen interessierenden Informationen zu gelangen. Sonden wurden zum Mond und zu den Planeten Mars, Venus, Merkur, Jupiter sowie Saturn geschickt. Sie haben die Sonne umkreist, um die der Erde abgewandte Seite der Sonne zu untersuchen. Außerdem haben sie während ihres Fluges durch den Weltraum die dort befindlichen Teilchen ermittelt.

*Techniker der amerikanischen Weltraumbehörde NASA arbeiten im Forschungszentrum in Mountain View, Kalifornien, an einer Raumsonde der Serie 'Pioneer Venus'. Die im Bildhintergrund zu sehende Pioneer-Venus-Sonde diente der Erforschung der Venusatmosphäre. Beide Raumsonde wurden im Jahre 1978 gestartet und erreichten die Venus Ende 1978 nach einer Flugzeit von über sechs Monaten.*

### Aufbau

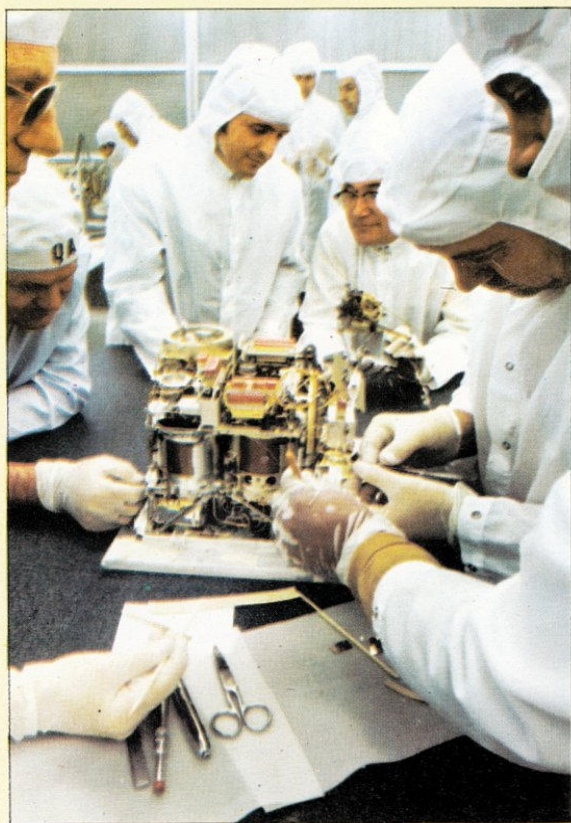
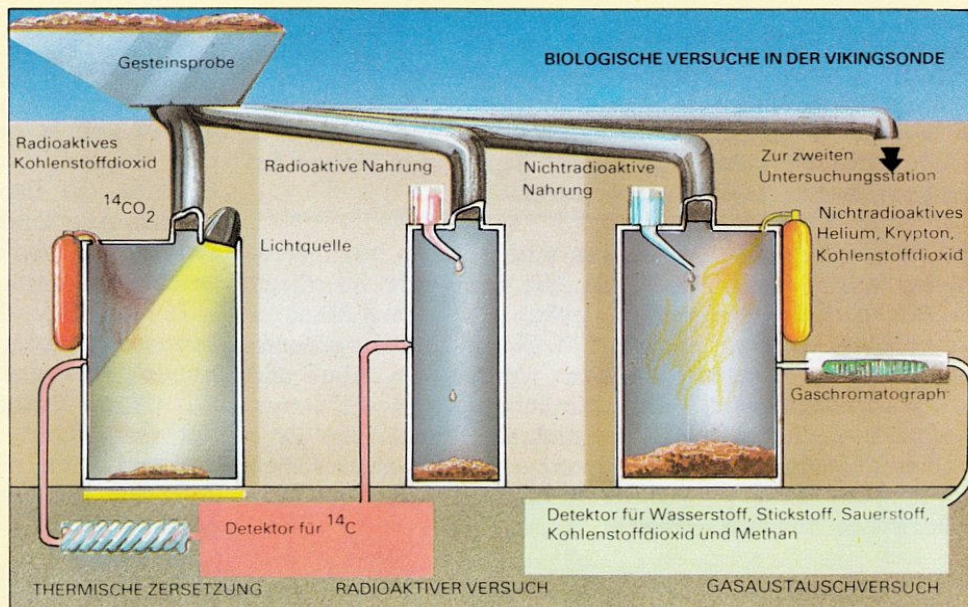
Der Aufbau einer Raumsonde hängt im wesentlichen von den Aufgaben ab, die sie bei einem Projekt bewältigen soll. Im großen und ganzen haben alle Raumsonden und Satelliten den gleichen Grundaufbau, dem dann die verschiedenen Systeme, die Experimente durchführen sollen, hinzugefügt werden. Alle Sonden des gleichen Typs, wie z.B. die Mariner-sonden, die zu den Planeten Merkur, Venus und Mars geschickt wurden, haben einen sehr ähnlichen Aufbau.

In der Nähe der Sonne treten kaum Probleme bei der Spannungsversorgung für Sonden auf. Solarzellenanordnungen versorgen die Raumsonde über mehrere Jahre mit elektrischer Energie. Hingegen treten Probleme hinsichtlich der elektrischen Energieversorgung bei Raumsonden auf, die zum Mars oder darüber hinaus fliegen sollen, da die Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen weit geringer als in der Nähe der Sonne ist.



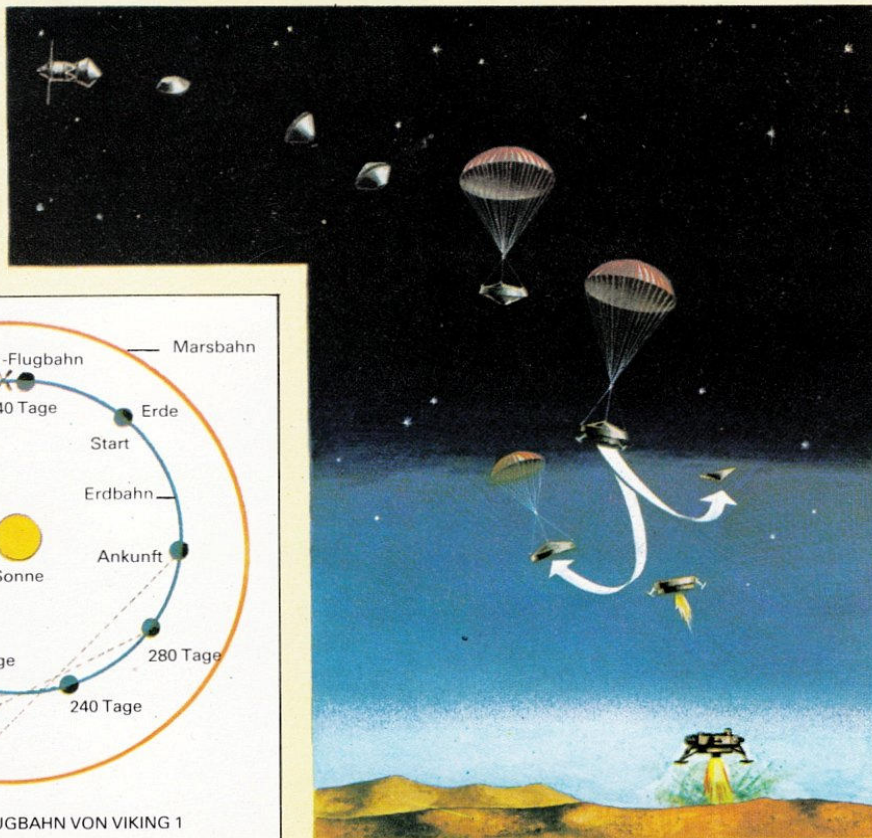


**Rechts:** Die biologischen Untersuchungen, die von Viking durchgeführt wurden. Bei der thermischen Zersetzung wurde eine Marsprobe in einen Behälter gelegt, in dem zur Marsatmosphäre noch Kohlenstoffdioxid, das radioaktiven Kohlenstoff-14 enthielt, zugefügt wurde. Die Probe wurde Licht ausgesetzt, das dem Sonnenlicht auf dem Mars ähnlich war. Anschließend wurden die Gase abgesaugt und die Probe erhitzt, um zu sehen, ob  $^{14}\text{C}$  abgegeben wird. Dieser Versuch sollte zeigen, daß den Gasen  $^{14}\text{C}$  durch einen photosynthetischen Vorgang entzogen wurde. In dem Radioaktivversuch wurde die Probe mit einem Nahrungsmittel, das  $^{14}\text{C}$  enthielt, behandelt. Ein lebender Organismus, der die Nahrung aufnimmt, würde  $^{14}\text{C}$  an die Umgebung abgeben.

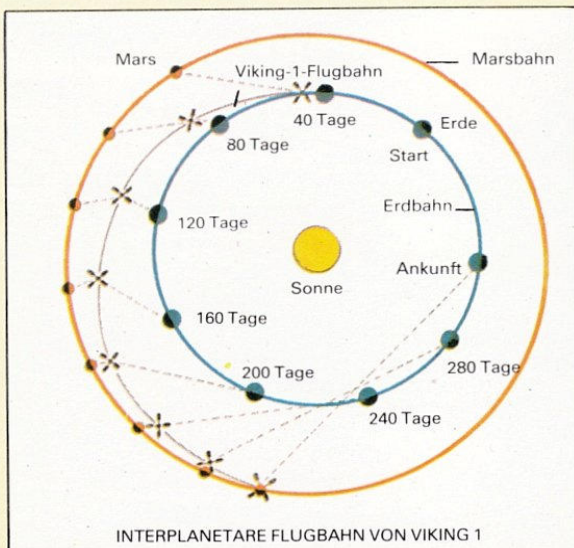


**Links:** Die geringen Abmessungen der bei den Viking-Landungen auf dem Mars eingesetzten Mini-Laboratorien sind im Bild erkennbar. Jedes der Laboratorien enthielt automatisch arbeitende Einheiten zur Durchführung der Experimente zum Nachweis von Leben auf dem Mars sowie Zusatzgeräte für Bodenproben und einen Computer. Die Bodenproben wurden mit einem teleskopischen Arm von der Marsoberfläche ins Laboratorium gebracht. Die Experimente wurden mit sterilisierten Bodenproben wiederholt, wobei eventuell vorhandene Organismen abgetötet wurden.

**Rechts:** Das Gerät, das zur Untersuchung des Marsgesteins auf mögliches Leben von Viking 1 und 2 verwendet wurde. Drei Arten von Untersuchungen wurden vorgenommen: Thermische Zersetzung zur Feststellung von photosynthetischen Vorgängen, ein Radioisotopenexperiment zur Erkennung von Stoffwechsel und eine Gasuntersuchung zum Feststellen von Veränderungen. Man hätte daraus auf eine Art von Atmungsaktivität des Gesteins schließen können. Die Experimente verliefen negativ, d.h. bisher konnte noch keinerlei Form organischen Lebens auf dem Mars festgestellt werden.

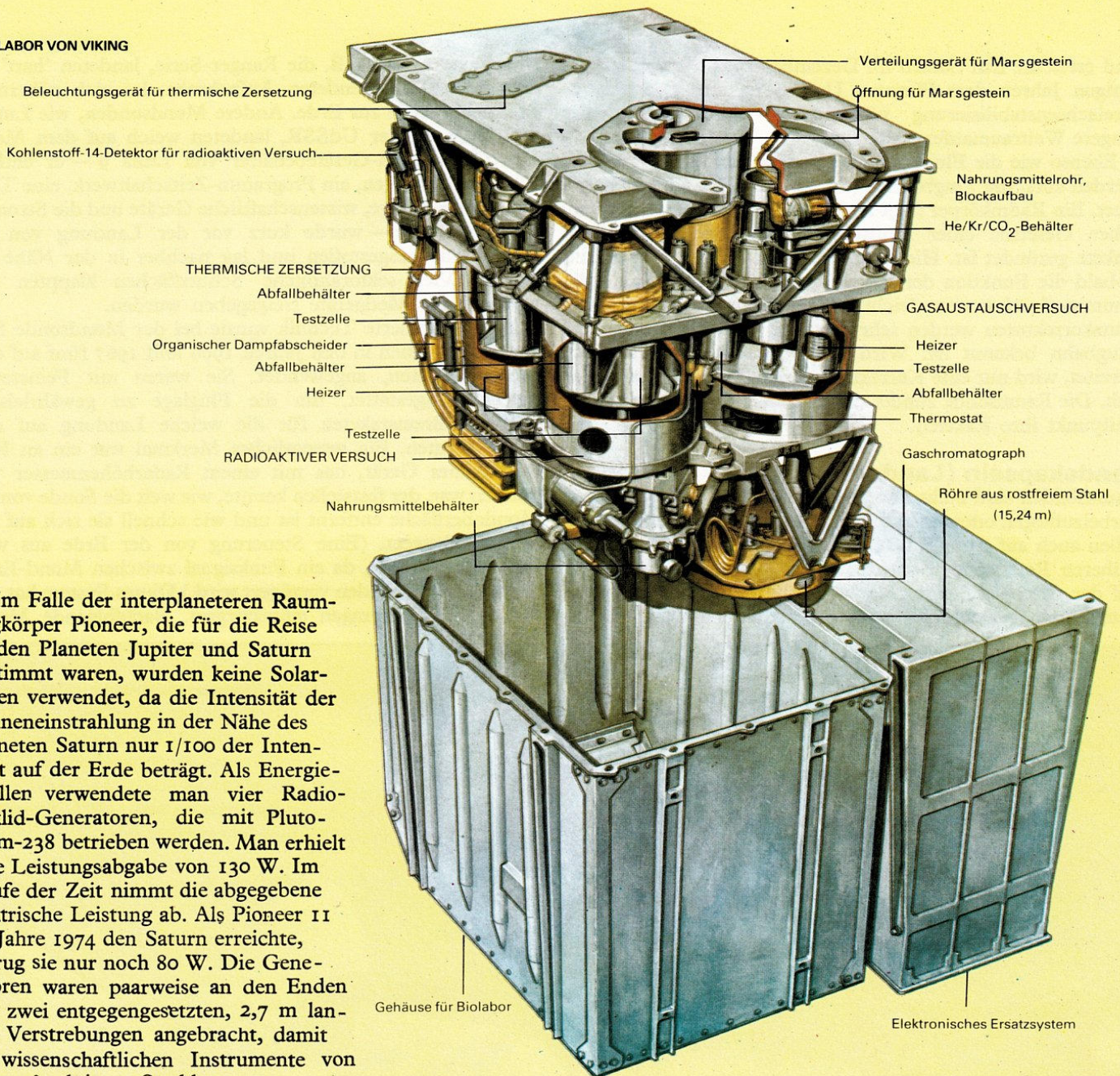


**Rechts:** Die Marssonnen Viking 1 und 2 setzten sich aus dem Orbiter, der den Planeten umkreiste, und dem Lander (Landegerät), der auf dem Mars landete, zusammen. Das Diagramm zeigt die interplanetare Flugbahn und den Abstieg des Landers.





## BIOLABOR VON VIKING



Im Falle der interplanetaren Raumflugkörper Pioneer, die für die Reise zu den Planeten Jupiter und Saturn bestimmt waren, wurden keine Solarzellen verwendet, da die Intensität der Sonneneinstrahlung in der Nähe des Planeten Saturn nur 1/100 der Intensität auf der Erde beträgt. Als Energiequellen verwendete man vier Radionuklid-Generatoren, die mit Plutonium-238 betrieben werden. Man erhielt eine Leistungsabgabe von 130 W. Im Laufe der Zeit nimmt die abgegebene elektrische Leistung ab. Als Pioneer 11 im Jahre 1974 den Saturn erreichte, betrug sie nur noch 80 W. Die Generatoren waren paarweise an den Enden von zwei entgegengesetzten, 2,7 m langen Verstrebungen angebracht, damit die wissenschaftlichen Instrumente von der radioaktiven Strahlung nicht beeinflusst wurden. Derartige Verstrebungen werden bei Raumflugkörpern des öfteren verwendet, wenn spezielle Geräte — z.B. Magnetometer — durch andere Geräte negativ beeinflusst werden können.

Ein anderes wesentliches Teil beim Entwurf einer Raumsonde ist die Telemetricantenne. Die Leistung des Übertragers ist im allgemeinen sehr klein (einige Watt). Um eine optimale Ausnutzung der auf die Erde gesendeten Signale zu erhalten, wird ein Parabolreflektor, der einen sehr engen Richtstrahl aussendet, verwendet. Der Parabolreflektor mit einem Durchmesser von 2,7 m ist bei Pioneer 10 und 11 das hervorstechendste Bauteil. Zusätzlich enthielten diese Raumsonden noch eine Stabantenne schwacher Leistung, die Signale aussenden sollte, wenn der Hauptstrahl nicht auf die Erde abgeglichen war. Sehr große Parabolantennen auf der Erde mit bis zu 64 m Durchmesser werden dazu verwendet, die schwachen Signale von den Raumsonden zu empfangen.

Damit der Raumflugkörper seine Antenne in der vorgegebenen Richtung ausrichten kann, muß er stabilisiert sein. Man kennt bei Raumfahrzeugen zwei Arten der Stabilisierung: Spinstabilisierung und Dreiaxsenstabilisierung. Bei der Spinstabilisierung hat der rotierende Weltraumkörper ähnlich einem Kreisel das Bestreben, seine Richtung im Raum beizubehalten. Den dafür notwendigen Drehimpuls erhält er vielfach von der ebenfalls drallstabilisierten Raketenoberstufe.

Sollen in kurzer Folge verschiedene Bilder aufgenommen oder eine Anzahl Experimente durchgeführt werden, die in verschiedene Richtung weisen, ist die Drallstabilisierung nicht geeignet. Viele Raumsonden werden deshalb dreiaxsenstabilisiert, d.h. es erfolgt eine gleichzeitige Stabilisierung der Fluglage in drei Achsen im Raum. Hierzu werden Sonnen- und Sternsensoren verwendet, um die Richtung festzulegen. Die Sonne ist als Orientierungsobjekt wegen ihrer Helligkeit geeignet. Des weiteren wird nur ein Stern zur Festlegung der Flugrichtung des Weltraumkörpers benötigt. Im allgemeinen wird der Stern Kanopus herangezogen, weil er der zweithellste Stern am Himmel ist und — von der Erde aus gesehen — einen sehr großen Winkelabstand zur Sonne hat.

Kleine Einwirkungen, wie z.B. die Gravitationskräfte von Planeten, können die Fluglage des Raumkörpers beeinflussen. In diesem Falle wird die Fluglage durch kleine Gasdüsen korrigiert. Bei einer anderen Methode wird eine Anordnung von Reaktionsschwungrädern im Inneren des Weltraumkörpers verwendet. Dreht sich eines dieser Schwungräder, kann sich die Raumsonde langsam in die umgekehrte Richtung drehen.

Die Raumsonde Pioneer ist spinstabilisiert. Diese Raumsonden sind auf lange Lebensdauer ausgelegt. Pioneer 6 beispielsweise wurde im Jahre 1965 eingesetzt und sendete viele Jahre Daten. Pioneer 11 wurde im April 1973 gestartet



und erreichte den Saturn im Dezember 1974. Er soll sich in einigen Jahren dem Planeten Uranus nähern. Die bei der Dreiaachsenstabilisierung verwendeten Gase reichen für längere Weltraumaufenthalte aus.

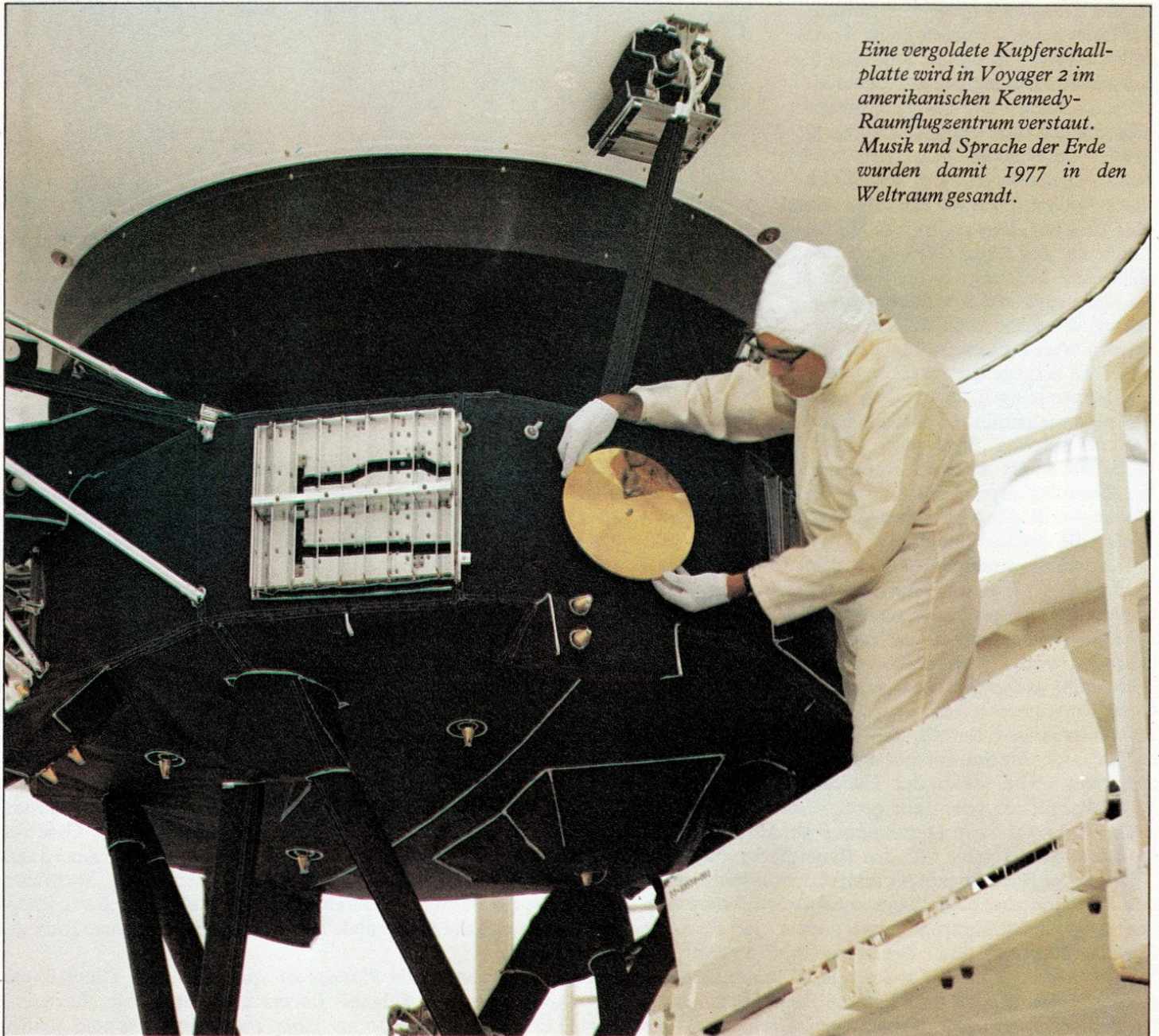
Ebenso wie die Fluglage einer Raumsonde korrigiert wird, werden auch die Flugbahnen (Orbits) von Zeit zu Zeit korrigiert. Ein Raumkörper folgt im Weltraum gemäß den Keplerschen Gesetzen einer Ellipse um die Sonne, solange die Rakete gezündet ist. Hierdurch wird die Flugbahn geändert. Sobald die Funktion der Rakete eingestellt wird, nimmt die Raumsonde eine neue, leicht geänderte Flugbahn ein. Diese Kurskorrekturen werden sehr sorgfältig berechnet, wenn die Flugbahn bekannt ist. Wird das Projekt sehr genau vorbereitet, wird nur eine Korrektur bei dem Raumflug erforderlich. Die Raumsonde zündet dann zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt ihre Raketen.

### Landekapseln (Landers)

Raumsonden sind nicht nur dazu gedacht, an einem Planeten vorbeizufiegen oder einen Planeten zu umkreisen, sondern sie sollen auch auf dem Planeten oder Mond landen. Einige der früheren Raumsonden wurden kaum abgebremst, wenn sie auf der Oberfläche eines Planeten oder auf dem Mond landeten. Man spricht hier auch von harter Landung. Einige

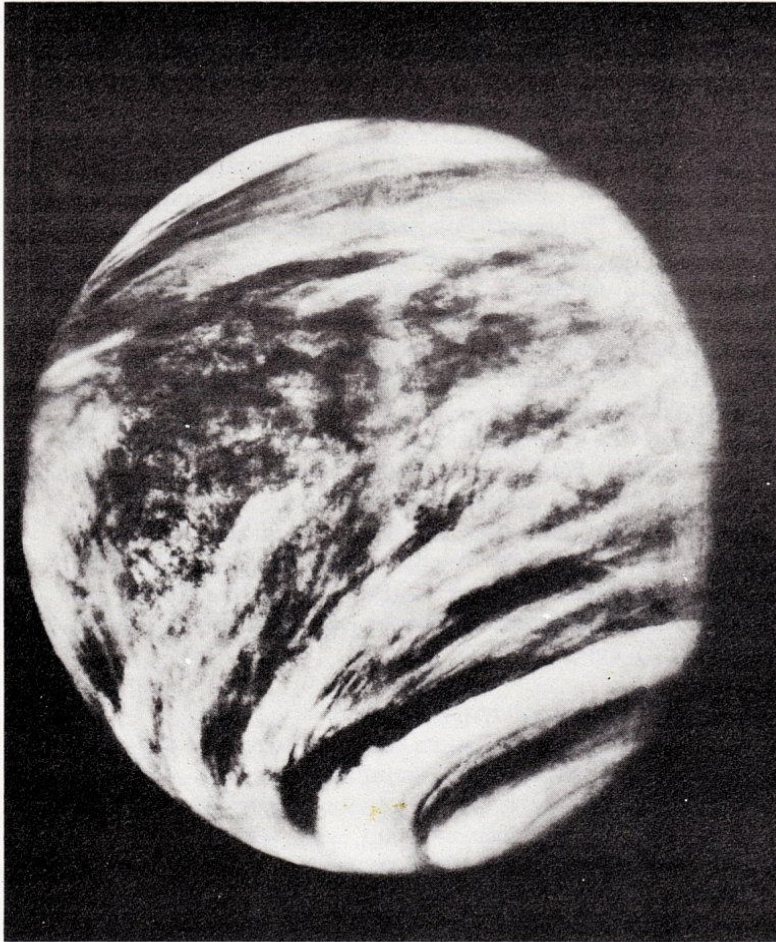
Mondsonden, wie z.B. die Ranger-Serie, landeten 'hart' auf dem Mond. Sie sendeten Aufnahmen der sich nähernden Mondoberfläche zur Erde. Andere Mondsonden, wie Luna 9 und Luna 13 der UdSSR, landeten weich auf dem Mond. Der Oberflächen-Gerätebehälter von Luna 9 — er enthielt Funkeinrichtungen, ein Programm-Zeitschaltwerk, eine Temperaturregelanlage, wissenschaftliche Geräte und die Stromerzeugungsanlage — wurde kurz vor der Landung von der Mondsonde ausgestoßen und lag nachher in der Nähe der Rakete. Vier sektorähnliche Schutzflächen klappten auf, wodurch die Meßgeräte freigegeben wurden.

Eine verbesserte Technik wurde bei der Mondsonde Surveyor, von denen in den Jahren 1966 und 1967 fünf auf dem Mond landeten, angewendet. Sie waren mit Feinsteuerraketen ausgestattet, um die Fluglage zu gewährleisten, während Bremsraketen für die weiche Landung auf dem Mond sorgten. Ein wesentliches Merkmal war ein an Bord befindliches Gerät, das mit einem Radarhöhenmesser verbunden war, der feststellen konnte, wie weit die Sonde von der Mondoberfläche entfernt ist und wie schnell sie sich auf den Mond zubewegt. (Eine Steuerung von der Erde aus wäre schwierig gewesen, da ein Funksignal zwischen Mond-Erde-Mond 2 1/2 Sekunden verzögert wird.) Dieses System hat sich für weiche Landungen eingebürgert. Nachfolgende Mond-



*Eine vergoldete Kupferschallplatte wird in Voyager 2 im amerikanischen Kennedy-Raumflugzentrum verstaut. Musik und Sprache der Erde wurden damit 1977 in den Weltraum gesandt.*





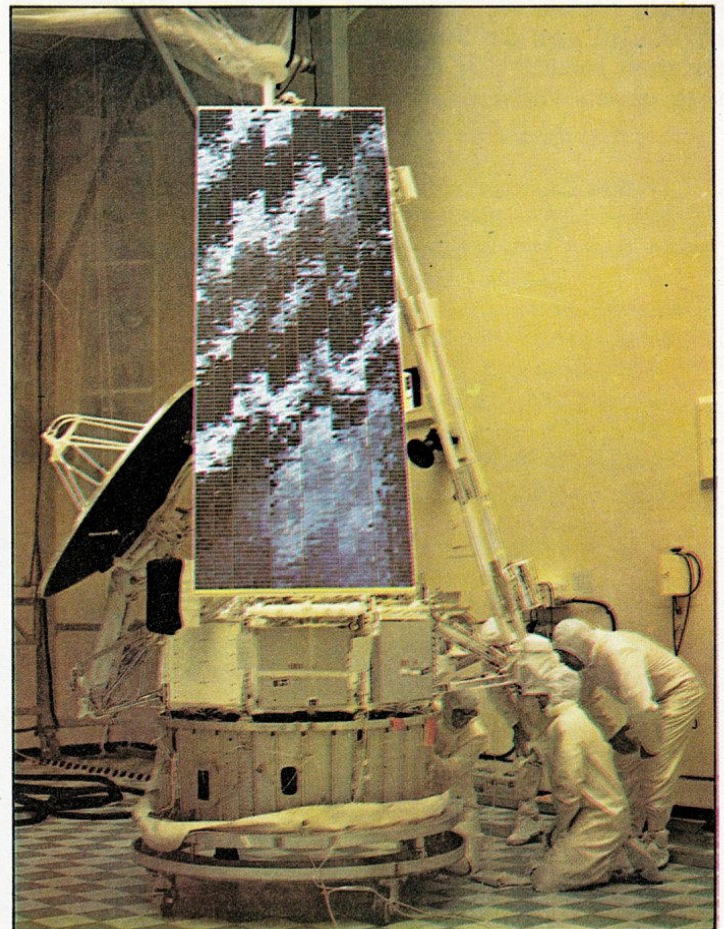
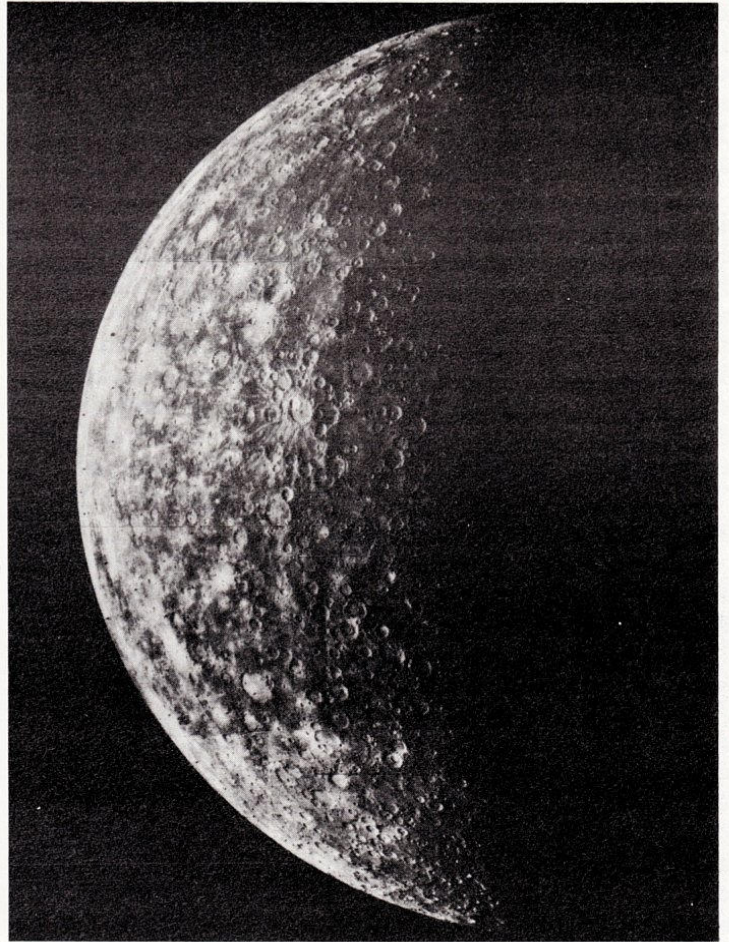
**Oben:** Beide Bilder wurden von der Raumsonde Mariner 10 aufgenommen. Rechts der Planet Merkur. Von der Erde aus konnte man ihn wegen seiner Sonnennähe nur als Scheibe sehen. Auf dem Weg zum Merkur flog Mariner 10 an der Venus vorbei und sendete Aufnahmen dieses Planeten (siehe links oben). Die Venus ist vollständig von Wolken bedeckt, weshalb das Bild mit ultraviolettem Licht aufgenommen wurde. Es zeigt die atmosphärischen Wolkenstreifen.

sonden — z.B. Luna 16 — enthielten Bohrwerkzeuge, die Mondproben entnahmen. Der obere Teil der Mondsonde wurde von ihrem unteren Teil abgeschossen, um mit den Mondproben zur Erde zurückzukehren.

Als nächstes wurde die unbemannte Lunochod-Serie gestartet. Es handelte sich um Mondfahrzeuge, die von der Erde aus gesteuert wurden. Diese Fahrzeuge waren mit einem Röntgenstrahlspektrometer zur Analyse der Mondoberfläche, mit Röntgenteleskopen und Fernsehkameras ausgestattet, die einmal den Weg des Fahrzeuges aufzeigten und zum anderen Bilder hoher Auflösung übermittelten.

Der Mond hat keine Atmosphäre. Die Planeten Mars und Venus hingegen haben eine dünne bzw. dichte Atmosphäre. Nutzt man die Bremswirkung der Atmosphäre aus, kann Brennstoff eingespart werden. Die Viking-Sonde, die im Jahre 1976 auf dem Mars landete, wurde an einem Fallschirm herabgelassen. Damit die Landung wirklich weich verlief — man wollte die Marsoberfläche nicht zerstören, um nicht eventuell bestehendes Leben auf diesem Planeten zu vernichten — wurden Raketen mit vielen Düsen verwendet.

Die sehr dichte Atmosphäre der Venus stellte viele Probleme dar. Die erste erfolgreiche Landung datiert vom Jahre 1977. Der atmosphärische Druck auf der Venus ist etwa 90mal höher als auf der Erde, und die Temperatur beträgt etwa 475°C. Außerdem scheinen hohe Konvektionsströme zu fließen. Nachfolgende Sonden wurden konstruiert, um diesen



**Oben:** Das Bild zeigt Mariner 10 mit den Solarzellenträgern kurz vor dem Start. Die Raumsonde flog über die Venus zum Planeten Merkur, dem sie dreimal begegnete, zuletzt am 17. März 1975.



extremen Bedingungen standhalten zu können: Venera 7 (UdSSR) erreichte im Jahre 1970 offensichtlich die Venusoberfläche; sie sendete allerdings nur 23 Minuten lang sehr schwache Signale aus. Venera 9 und 10 haben schon größere Erfolge aufzuweisen; sie sendeten Panoramafotos der Venus zur Erde.

### Instrumentierung

Das Ziel von Raumsonden ist, genaue Daten über einen Planeten zu erhalten und über den zurückgelegten Weg Daten zu senden. Die Kameras zur Wiedergabe der Planetenoberfläche sind keine einfachen Fernsehkameras. Die Mondsonden Ranger und Surveyor waren mit Spezialkameras ausgestattet, die nicht — wie bei Fernsehkameras üblich — kontinuierlich Signale aussendeten, sondern jedes Bild erst 'lasen', bevor sie es übertrugen. Ein Grund hierfür liegt in der Bandbreite bei Telemetrie. Es kann hier nicht genügend Information in der geforderten Zeit übertragen werden.

Die Probleme der ungenügenden Bandbreite in Verbindung mit der Entfernung von der Erde und der geringen Versorgungsspannung führten zu einer Reihe von verschiedenen Übertragungsmethoden der Signale. Die Bilder mit der besten Qualität lieferte der Mondsatellit Lunar Orbiter, der den Mond als künstlichen Satelliten kurz vor dem bemannten Apolllouunternehmen umkreiste. Zwei Kameras fotografierten die Mondoberfläche. Die Mondaufnahmen wurden auf Film und nicht auf Magnetband gespeichert. Die Filmentwicklung erfolgte in dem Raumflugkörper. Die Bilder wurden dann abgetastet und auf einen Bildschirm übertragen. Das Licht, das durch die verschiedenen Teile des Filmes trat, wurde von einem Fotovervielfacher aufgegriffen, in ein elektrisches Signal verwandelt und zur Erde gesendet. Nachdem man die elektrischen Signale rückverwandelt hatte, waren die Bilder so scharf, daß man die Struktur der ursprünglichen Emulsion erkennen konnte. Fast die gesamte Mondoberfläche wurde nach diesem Verfahren aufgenommen. Die Mariner-Sonde,

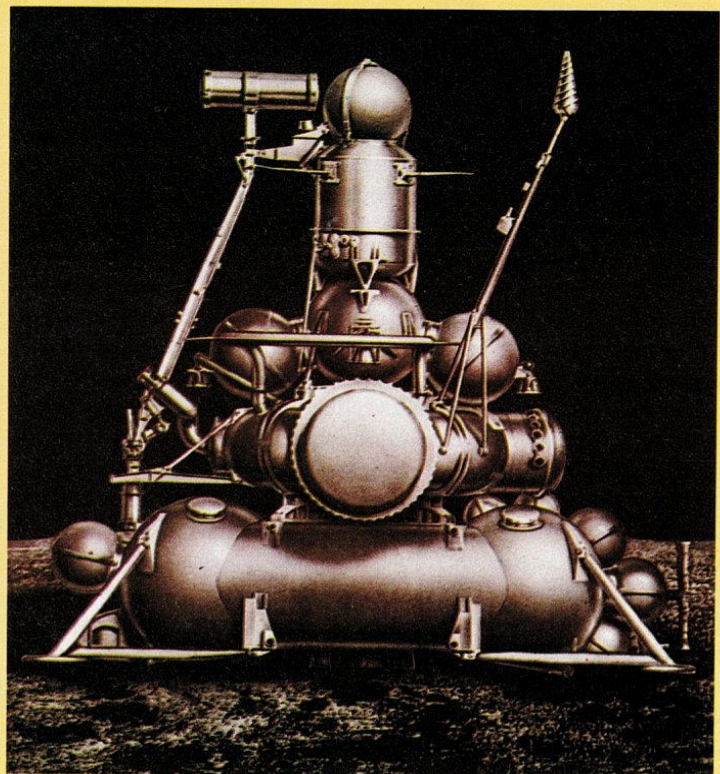
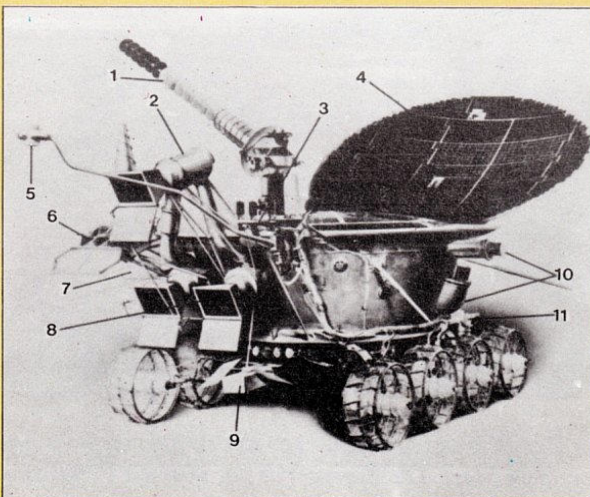
die zum Mars, zur Venus und zum Merkur gesendet wurde, war mit Magnetbändern ausgestattet, die die von dem Kameraausgang kommenden Informationen abspeicherten. Die Übertragung zur Erde erfolgte dann zu einem späteren Zeitpunkt. Mariner 9 z.B. sendete im Laufe eines Jahres 7 329 Bilder vom Mars. Zwei Kameras, die in Wirklichkeit kleine astronomische Fernrohre waren, benutzten verschiedene Filter, um die Farbe und Polarisation der Marsoberfläche zu bestimmen. Zusätzlich wurde ein Infrarotdetektor, der in gleicher Richtung wie die Kamera eingestellt war, zur Bestimmung der Oberflächentemperatur verwendet. Ein Spektrometer (siehe SPEKTROSKOP) beobachtete die Infrarotabsorption, die durch Kohlenstoffdioxid — die Hauptkomponente der dünnen Marsatmosphäre — auftrat.

Im Falle der spinstabilisierten Jupitersonden Pioneer 10 und 11 wären fotografische Aufnahmen nur schwer zu realisieren gewesen. Stattdessen verwendete man ein Abbildungssystem, das auf einen sich langsam drehenden Spiegel gerichtet war. Die vom Spiegel reflektierten Lichtstrahlen wurden von einem Detektor erfaßt. Da sich die Sonde um ihre Achsen drehte, wurde zeilenweise ein Bild (ähnlich einem Fernsehbild) aufgebaut.

### Neuere Entwicklungen

Pioneer 11 erreichte den Saturn im Jahre 1979 und fliegt nun in Richtung Uranus. Die Raumflugkörper des Voyager-Programmes, die sehr viele Informationen über den Planeten Jupiter sendeten, befinden sich auf dem Weg zum Saturn. Aus den zur Erde gesendeten Fotografien ist zu entnehmen, daß sich der Planet Jupiter zwischen März 1979 (Vorbeiflug von Voyager 1) und Juli 1979 (Vorbeiflug von Voyager 2) verändert hat. Es wurden auch die Jupitermonde fotografiert. Es zeigte sich, daß jeder Mond eine andere Oberflächenstruktur hat. Io z.B. hat eine sehr aktive vulkanische Oberfläche, während Europa eine Eiskruste hat. Es bestehen Pläne, eine Sonde zu einem Kometen zu schicken.

**Unten:** Lunochod 2, das zweite von der UdSSR gestartete, fernlenkbare Mondmobil. Es wurde am 16. Januar 1973 von Luna 21, die am Rande des 'Heiteren Meeres' landete, zum Mond befördert. Die Ausrüstung von Lunochod 2 bestand aus: 1. Richtantenne, 2. und 8. Fernsehkameras, 3. Fotorezeptor, 4. Solarzellenträger, 5. Magnetometer, 6. Laserreflektor, 7. Astrophotometer, 9. Analyseeinheit für Mondgestein, 10. Telephotometer, 11. Aufnahmevorrichtung für Mondgestein. Das Mondmobil legte insgesamt eine Strecke von 37 km zurück.



**Oben:** Die unbemannte Mondsonde Luna 16 (UdSSR), die im September 1970 zum Mond gestartet wurde. Sie sammelte Mondgestein, das zur Analyse auf die Erde gebracht wurde.



## RECHENMASCHINEN

Durch die Fortschritte bei der integrierten Schaltungstechnik können elektronische Taschenrechner in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden.

Der in vielen Ländern des Ostens noch häufig verwendete Abakus ist das älteste Rechengerät. Es dürfte ihn seit Tausenden von Jahren geben. Der ABAKUS besteht aus einer Anordnung von kleinen Kugeln, die auf dünne Stäbe, die sich in einem rechteckigen Rahmen befinden, aufgebracht sind. Obwohl der Abakus nur für elementare arithmetische Opera-

= 0,6021, d.h. den Logarithmus von 4. Die Addition bzw. Subtraktion von Logarithmen basiert auf dem Exponentialgesetz:  $10^a \cdot 10^b = 10^{a+b}$ .

Die Erfindung der Logarithmen führte in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zur Entwicklung des Rechenschiebers durch Edmund Günter und William Oughtred (1574 bis 1660). In der einfachsten Ausführung hat der Rechenschieber zwei Skalen, bei denen eine fest und die andere beweglich angebracht ist. Die Werte auf den Skalen sind im logarithmischen Maßstab aufgetragen. D.h. eine Addition oder Subtraktion von Zahlenwerten entspricht in Wirklichkeit einer Multiplikation bzw. Division der Zahlenwerte. Der moderne Rechenschieber geht auf eine Entwicklung von Amédée Mannheim (1831 bis 1906) im Jahre 1859 zurück.

### Mechanische Rechenmaschinen

Die erste mechanische Rechenmaschine wurde im Jahre 1642



tionen verwendet werden kann, lassen sich diese Operationen ähnlich schnell ausführen wie mit einem elektronischen Taschenrechner.

Der erste Erfolg nach dem Abakus wurde beim Rechnen mit Zahlen im 17. Jahrhundert erzielt. John Napier (1550 bis 1617) führte im Jahre 1614 das Rechnen mit Logarithmen (siehe LOGARITHMUS) ein. Dekadische Logarithmen werden als Exponenten zur Basis 10 angesehen. Beispielsweise kann die Dezimalzahl 100 auch als  $10^2$  geschrieben werden, weshalb der Logarithmus von 100 gleich 2,0000 ist. Die Dezimalzahl 3 ist gleich  $10^{0,4771}$ , d.h. ihr Logarithmus ist 0,4771.

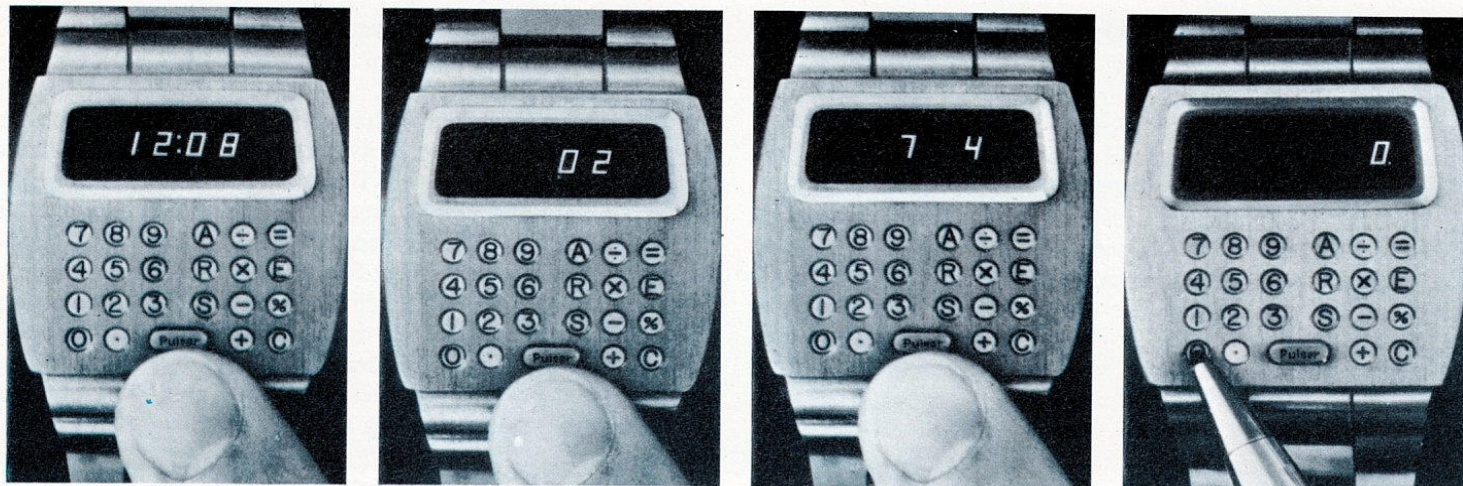
Mit Hilfe von Tabellen, den sogenannten Logarithmentafeln, lassen sich komplizierte Multiplikations- und Divisionsaufgaben auf einfache Additions- oder Multiplikationsvorgänge zurückführen. Die dekadischen Logarithmen der Dezimalzahlen 3 und 4 lauten: 0,4771 bzw. 0,6021. Bei der Multiplikation werden diese beiden Logarithmen addiert und ergeben 1,0792, was dem Logarithmus der Dezimalzahl 12 entspricht, d.h. das Ergebnis von  $3 \times 4 = 12$ . Die Division wird durch Subtraktion von Logarithmen ausgeführt. Division der Dezimalzahl 12 durch die Dezimalzahl 3 ergibt mit Hilfe der Logarithmenrechnung:  $1,0792 - 0,4771$

**Oben:** Drei verschiedene Ausführungen von Casio-Taschenrechnern, wie sie heute von den meisten Firmen angeboten werden. Entweder als Tischrechner im Kleinformat (rechts oben), im Brieftaschenformat mit Notizblock (oben links) oder als eine Kombination beider Formate (unten rechts).

von Blaise Pascal (1623 bis 1662) in Frankreich vorgestellt. Die Rechenmaschine beruhte auf der Rotation von Zahnrädern, um die Ziffern anzeigen zu können; sie wurde im Jahre 1671 von Gottfried Leibniz (1646 bis 1716) verbessert. Er führte das Stufenrad ein. Nach diesem Prinzip wurden bis zu den sechziger Jahren unseres Jahrhunderts etliche mechanische Rechenmaschinen gebaut.

Die Ideen von Pascal und Leibniz wurden Ende des 19. Jahrhunderts von Baldwin, Odhner und Burkhardt durch den Bau kompakterer und wirksamerer Rechenmaschinen verfeinert. Mechanische Rechenmaschinen wurden in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts weiter verbessert. Es kamen elektromechanische Rechenmaschinen, deren Zahnräder von einem Elektromotor angetrieben wurden, auf den Markt.





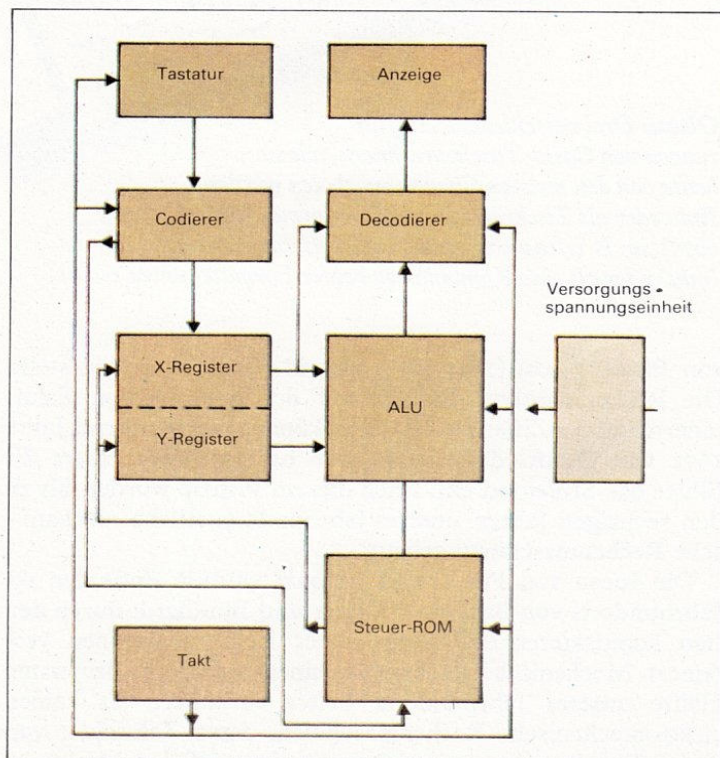
**Oben:** Die vier Bilder zeigen verschiedene Funktionen einer Armanduhr, die sowohl Rechner als auch Uhr ist. Von links nach rechts zeigen die Bilder: Die Zeit in Stunden und Minuten, Sekunden, Datum und Rechnerfunktion.

## Elektronische Taschenrechner

Die elektronischen Taschenrechner entwickelten sich aus dem Fortschritt, der in der Computertechnologie erzielt wurde. Die ersten Computer beruhten auf elektromechanischen (Relais, um 1940) und elektronischen Bauelementen (Elektronenröhre, um 1950). Diese Computer hatten riesige Abmessungen. Nach Erfindung des Transistors im Jahre 1948 wurde Anfang der sechziger Jahre der Computer in den Abmessungen kleiner und hatte auch keinen so hohen Leistungsverbrauch mehr. Gleichzeitig wurden die Computer zuverlässiger und in ihrem Aufbau komplexer.

Der erste Computer, der auf der Halbleitertechnik basierte,

**Unten:** Blockdiagramm des Aufbaus eines modernen Taschenrechners. Heutzutage sind bis auf die Tastatur, die Anzeige und die Batterien alle anderen Einheiten in einer integrierten Schaltung, deren Chip (Siliciumplättchen) eine Abmessung von  $0,3 \text{ cm}^2$  hat, enthalten.

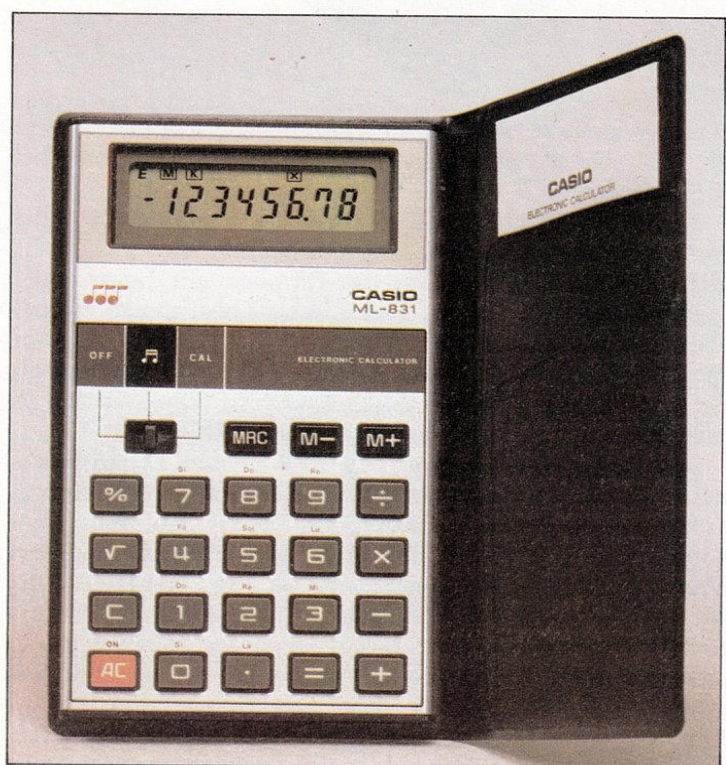


war der in England gefertigte 'Bell Punch Anita'-Rechner (1963). Er enthielt Tausende von Einzeltransistoren. Aus heutiger Sicht war er ein schwerfälliges Instrument. Aber er leitete die Ära der modernen Elektronenrechner ein, die heute im elektronischen Taschenrechnerbereich mechanische Rechenmaschinen und Rechenschieber vergessen lassen.

Mit der Einführung von integrierten Schaltungen durch die Firmen Fairchild und Texas Instruments in den frühen sechziger Jahren begann das Zeitalter des Elektronenrechners. Eine hochintegrierte Schaltung enthält Tausende von Transistoren und Zubehöriteile wie Widerstände oder Kondensatoren auf einem Siliciumplättchen von nur  $0,3 \text{ cm}^2$ . Der erste Taschenrechner, der auf integrierten Schaltungen beruhte und als Ausgabemedium lichtemittierende Dioden benutzte, wurde im Jahre 1971 von der Firma Bowmar vorgestellt. Seit dieser Zeit hat sich der Taschenrechnermarkt in einem unglaublichen Maße ausgeweitet. Als Folge hiervon trat ein regelrechter Preisverfall ein. Heute kann man für DM 20,00 einen Taschenrechner kaufen, der die Leistungsfähigkeit der frühen Taschenrechner hat.

## Grundlagen

Wie ein Taschenrechner arbeitet, ist nicht ganz einfach zu verstehen. Es kann jedoch das Grundprinzip seiner Arbeitsweise anhand einfacher Berechnungen gezeigt werden.





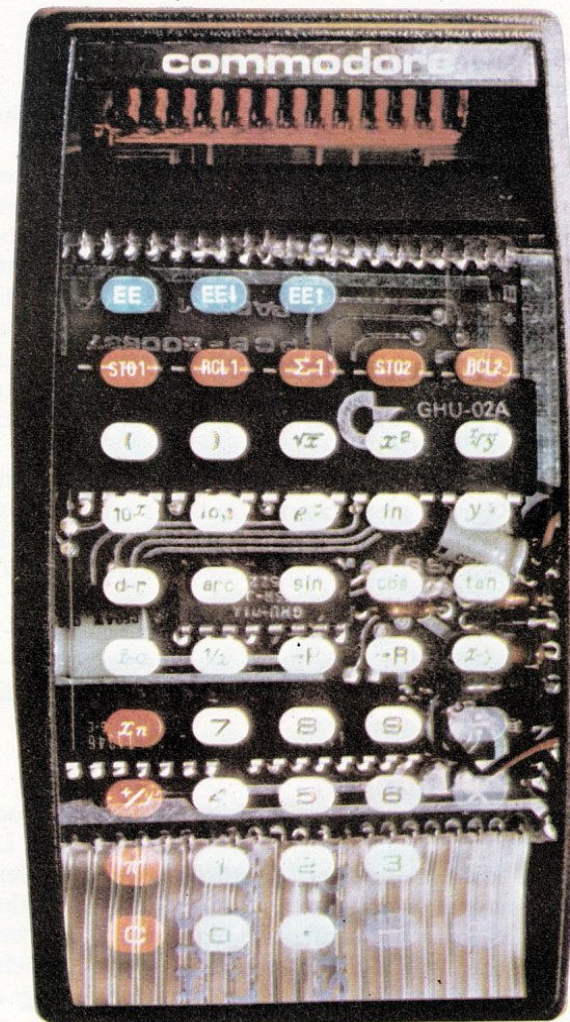
Die Arbeitsweise eines Taschenrechners wird von einer Taktschaltung, die Taktimpulse abgibt, gesteuert. Sie dienen dazu, die Arbeitsweise anderer Teile im Taschenrechner zu synchronisieren. Die Taktfrequenz bei einfachen Taschenrechnern beträgt etwa 250 000 Pulse pro Sekunde, d.h. er kann 250 000 Arbeitsvorgänge pro Sekunde durchführen.

Taschenrechner arbeiten intern mit dem Dualsystem, d.h. einem Zahlensystem zur Basis 2. Eine Dualzahl lässt sich durch Kombination der beiden Zeichen '1' und '0' darstellen. Einem Wert '1' kann z.B. der An-Zustand einer Schaltung zugeordnet werden; entsprechend stellt der Wert '0' ihren Aus-Zustand dar.

Viele Großcomputer benutzen bei der Verarbeitung von Daten ein sogenanntes dualcodiertes Dezimalsystem, d.h. die Ziffern des Dezimalsystems werden dual verschlüsselt dargestellt. Da man im angloamerikanischen Sprachraum hierfür die Bezeichnung 'Binary Coded Decimal' hat, spricht man auch von einem BCD-Code. Auch Taschenrechner arbeiten in diesem System. Sie verfügen über einen Codierer, der über Tastatur eingegebene Dezimalzahlen in die BCD-Form umwandelt. Sollen aus dem Taschenrechner wieder Daten ausgegeben werden, entschlüsselt ein Decodierer die BCD-Information und gibt sie dezimal, z.B. auf einer Anzeigeneinheit, aus.

Die Dualzahl '1010' entspricht der Dezimalzahl '10', denn von rechts nach links gelesen bedeutet dies:  $0 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 8 = 10$ . Im BCD-Code wird jeder Dezimalziffer eine entsprechende vierstellige Dualziffer zugewiesen. Die Dezimalzahl '87' hat im BCD-System (von rechts nach links gelesen) die dual verschlüsselte Dezimalziffer 8 (1000) und die dual verschlüsselte Dezimalziffer 7 (0111), also die Darstellung 1000 0111.

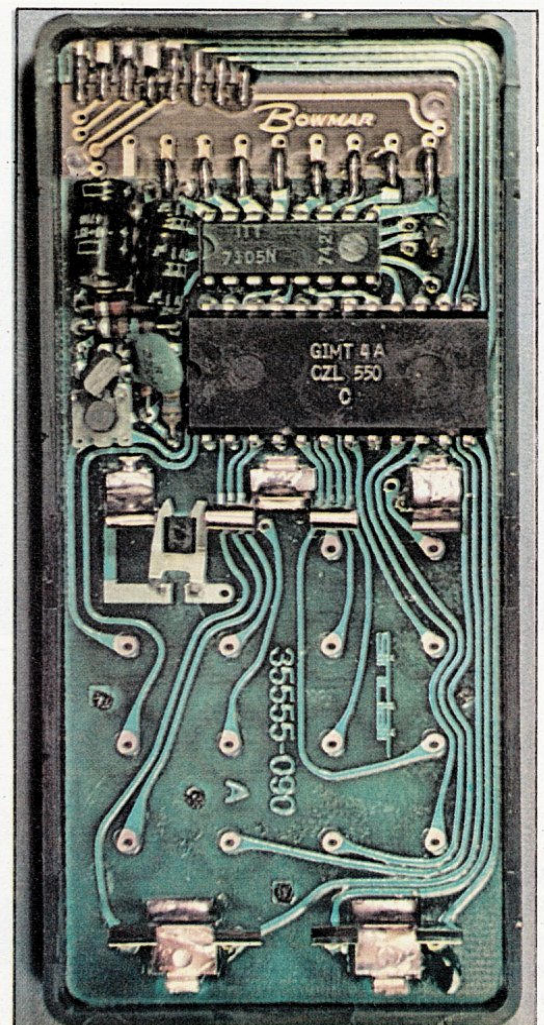
CBM



**Oben rechts:** Der wissenschaftliche Taschenrechner Commodore SR 4148 R. Seine Abdeckung wurde entfernt, um die interne Schaltung zeigen zu können. Dieser Taschenrechner verfügt über zwei voneinander unabhängige Speicher und wird durch wiederaufladbare Batterien betrieben.

**Rechts:** Der Taschenrechner von Sinclair Cambridge ist ein älteres Taschenrechnermodell mit einer achtstelligen LED-Anzeige. Das rechte Bild zeigt den geöffneten Taschenrechner auf der Rückseite — die Batterien sind entfernt worden. Die integrierte Schaltung befindet sich in dem rechteckigen, schwarzen Plastikgehäuse. Die kleinere, sich genau darüber befindliche integrierte Schaltung stellt die Steuerungsschaltung für die LEDs dar.

**Links:** Wenn man den 'Notenknopf' dieses Taschenrechners von Casio drückt, kann man bis zu 11 Noten spielen. Der Klang kommt dem von kleinen elektronischen Orgeln nahe.





## Einfache Rechnungen

Angenommen, man möchte über den Taschenrechner die Addition der beiden Dezimalzahlen 5 und 9 durchführen lassen:

Die erste eingegebene Dezimalzahl (5) wird in die entsprechende BCD-Zahl umgewandelt und im X-Register abgespeichert sowie auf der Ausgabeanzeige wiedergegeben. Das nächste einzugebende Zeichen ist der '+'-Operator. Nach der Eingabe wird auch dieses Zeichen BCD-codiert und in einem Steuerbaustein abgespeichert. Dieser Steuerbaustein ist das 'Gehirn' des gesamten Rechners. Er steuert den Ablauf der ALU (Arithmetic Logic Unit=arithmetisch-logische Einheit), die für die Ausführung der Rechenoperation zuständig ist.

Die Dezimalzahl '9' wird als nächstes eingegeben, codiert und in dem X-Register gespeichert. Die zuvor im X-Register befindliche Zahl (5) wird in das Y-Register geschoben. Die Dezimalzahl 9 wird auf der Anzeigeeinheit ausgegeben. Wird die '='-Taste gedrückt, werden die Inhalte des X- und Y-Registers in die ALU eingelesen und entsprechend dem im Steuerbaustein stehenden Operator weiterverarbeitet — in diesem Falle die Addition. Das Ergebnis '14' wird decodiert und auf der Anzeige ausgegeben.

## Komplexe Rechnungen

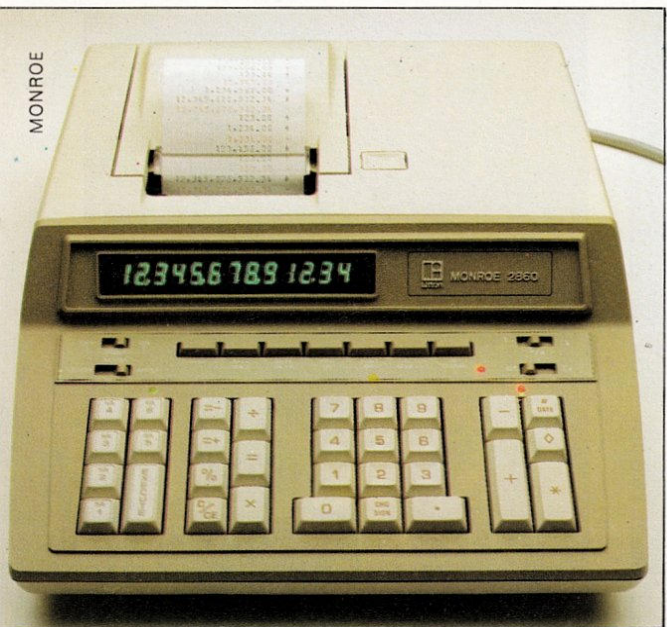
Will man auf dem Taschenrechner auch komplexe Funktionen wie trigonometrische Funktionen ausführen, wird die Leistungsfähigkeit dieser Rechner deutlich. Die komplexen Rechnungen werden nach einer Art Additionsverfahren durchgeführt. Hierbei durchlaufen die einzelnen Zahlenwerte die ALU mehrfach, wobei Zwischenergebnisse abgespeichert und u.U. wieder abgerufen werden. Die Ausführung der einzelnen Operationen erfolgt über ein Steuerprogramm, das

streng gehütetes Geheimnis der Hersteller ist. Je besser der den Programmen zugrundeliegende sogenannte Algorithmus (Rechenverfahren) ist, um so genauer arbeitet der Rechner.

Einfache Taschenrechner verfügen über ein Speicherregister, das dem X- bzw. Y-Register ähnelt. Das Speicherregister kann von der Tastatur aus gesteuert werden. Vielfach braucht man eine Konstante bei den Berechnungen. Sie kann in dieses Speicherregister abgespeichert und bei Bedarf aufgerufen werden.

Auf den sogenannten wissenschaftlichen Taschenrechnern befinden sich Tasten für mathematische Sonderfunktionen wie Quadratwurzel, hyperbolische Funktion, natürlichen und dekadischen Logarithmus, Fakultätsbildung oder Potenzbildung mit beliebiger Potenz. Dies ist jedoch noch nicht die letzte Taschenrechnerstufe, denn man kennt heute auch programmierbare Taschenrechner. Diese Taschenrechner verfügen über zusätzlichen Speicherplatz, in den ein Programm eingeschrieben werden kann, das auch logische Operationen enthält. Bei sich wiederholenden Rechengvorgängen kann ein solches Programm eine große Zeitersparnis sein, weil nur noch die zur Berechnung notwendigen Zahlen eingegeben werden müssen. Vielfach haben diese Taschenrechner noch den Nachteil, daß beim Ausschalten des Rechners das Programm gelöscht wird. Dieser Nachteil wird jedoch in nicht mehr allzulanger Zeit überwunden sein, wenn es sogenannte 'nichtflüchtige' Speicher geben wird.

Einige der modernen Taschenrechner können das eingeschriebene Programm auf kleine Magnetkarten übertragen. Die auf ihnen stehenden Informationen können dann zu einem späteren Zeitpunkt wieder in den Speicher des Taschenrechners eingeschrieben werden. Diese kleinen Wunder der Technik haben heute schon eine Leistungsfähigkeit, die den ersten Großcomputern entspricht.



**Links:** Ein Tischrechner, der mit einer LED-Anzeige und einer elektronischen Ausdruckeinheit ausgestattet ist. Das Druckwerk kann wahlweise genutzt werden.



**Rechts:** Ein Tischrechner der Firma Casio, der ausschließlich mit einem Druckwerk gelesen werden kann. Das Druckwerk arbeitet elektronisch und ist geräuscharm.



## REFLEKTOR

**Die Reflektoren in Rückstrahlern von Kraftfahrzeugen können so gebaut werden, daß sie das Scheinwerferlicht in zwei unterschiedlichen Höhen reflektieren, und zwar für die Fahrer von Personenkraftwagen und für die höhersitzenden Fahrer von Lastkraftwagen.**

Im Grunde genommen eignen sich alle Oberflächen zur Reflexion von Licht in dem Sinne, daß die Reflexionsfähigkeit von fast Null bei mattschwarzen Oberflächen bis nahezu 100% bei hochpolierten Spiegeln reicht. Ein Lichtstrahl, der auf eine raue unpolierte Oberfläche trifft, wird in die unterschiedlichsten Richtungen gestreut. Die Lichtquelle wirkt zerstreud, wenn sie überhaupt noch erkennbar ist. Andererseits wird ein ebener Spiegel Lichtstrahlen in einer Richtung zurückwerfen, denn der einfallende und der reflektierte Strahl besitzen gleiche Winkel zur Senkrechten auf die Spiegelfläche im Reflexionspunkt (siehe OPTIK). Deswegen kann man im Spiegel ein sehr scharfes Abbild der Lichtquelle sehen.

### Rückstrahler am Auto

In vielen Anwendungsfällen werden besondere Reflektoren benötigt, die den Lichtstrahl auf dem ursprünglichen Weg zurückwerfen können. Dieser Reflektortyp läßt sich besonders gut bei Straßenschildern einsetzen und am Heck von Straßenfahrzeugen anbringen. Solche Rückstrahler bestehen im allgemeinen aus durchsichtigem, oftmals gefärbtem Plastikmaterial und besitzen die Form eines Gehäuses mit einer glatten Frontoberfläche. Auf der rückwärtigen Seite ist ein Prismenmuster eingepreßt.

Das Licht tritt durch die Frontfläche des Rückstrahlers, wird von zwei der Prismenoberflächen an seiner Rückseite zurückgeworfen — ein Vorgang, der als Totalreflexion bekannt ist — und tritt dann wieder in der gleichen Richtung aus der Frontfläche, in die es eingetreten ist, aus. Unabhängig vom Eintrittswinkel an der vorderen Fläche wird der Lichtstrahl immer auf dem Ursprungsweg oder einem in Abhängigkeit von der prismatischen Beschaffenheit der Rückseite vorbestimmten Winkel zurückgeworfen.

Manchmal ist in die Frontfläche ein abgeflachtes Prismenmuster so eingepreßt, daß das reflektierte Licht aus zwei Richtungen austritt; typisch sind dafür die Winkel 20° und

1° 30' über dem Winkel des Einfallstrahles. Damit erhält man Reflexionsstrahlen in der richtigen Höhe für Fahrer von Personen- und von Lastkraftwagen.

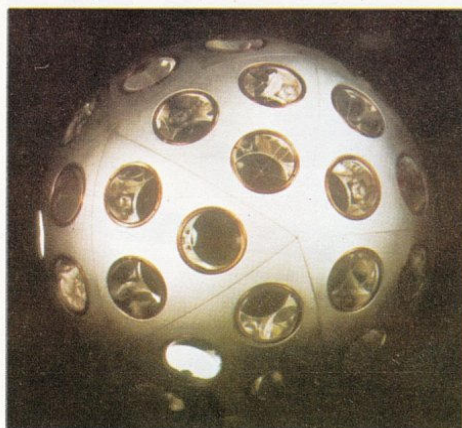
### Laserreflektoren

In besonderen Anwendungsfällen, wie beispielsweise bei hochgenauen Messungen, wo man Laserstrahlen einsetzt, wird oft ein Rückstrahler als Testobjekt zum Ausrichten verwendet. Der einfachste Reflektor dieser Art ist eine durchsichtige Pyramide oder ein Winkelprisma mit vier gleichen Dreiecksflächen. Tritt ein Strahl durch die Grundfläche der Pyramide, wird er immer, ungeachtet seines Eintrittswinkels, in gleicher Richtung zurückgeworfen.

Ein in Frankreich gebauter Laserreflektor wurde auf das sowjetischen Raumschiff montiert, das am 17. November 1970 auf dem Mond landete. In ein herkömmliches optisches Teleskop auf der Erde baute man einen Rubinlaser ein, der zum Reflektor des Mondfahrzeuges gerichtet war. Durch die Messung der Zeit, die der Lichtstrahl auf der doppelten Entfernung zwischen Mond und Erde benötigte, wurde es möglich, die Länge der Strecke zwischen dem Punkt der Lichtquelle auf der Erde und dem Reflektor auf dem Mond mit äußerster Präzision zu bestimmen.

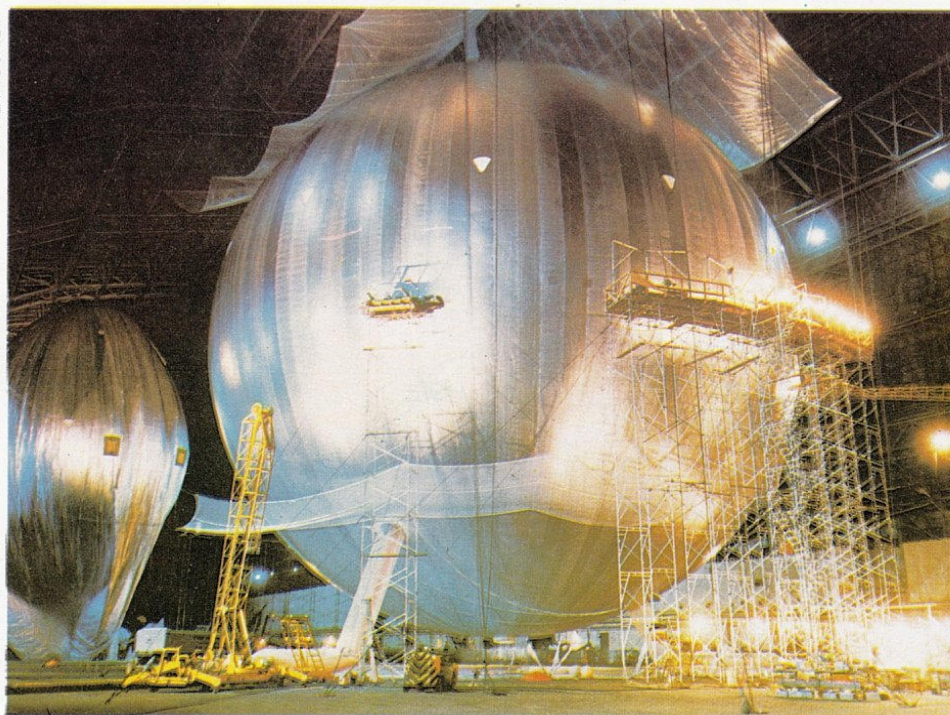


**Oben:** Zur Beschichtung dieser Verkehrszeichen benutztes Material reflektiert Licht in Richtung auf seine Ausgangsquelle. Die Wirkung ist besser als bei fluoreszierender Farbe.



AEROSPATIALE

**Oben und rechts:** Der französische Satellit 'Starlette' wurde für geodätische Zwecke mit 60 Laserreflektoren ausgestattet. Der sich nach dem Start automatisch aufblasende Satellit Echo II hatte eine Plastik-Aluminiumhülle, deren reflektierende Eigenschaften für geodätische und Nachrichtenzwecke genutzt wurden.



PHOTRI



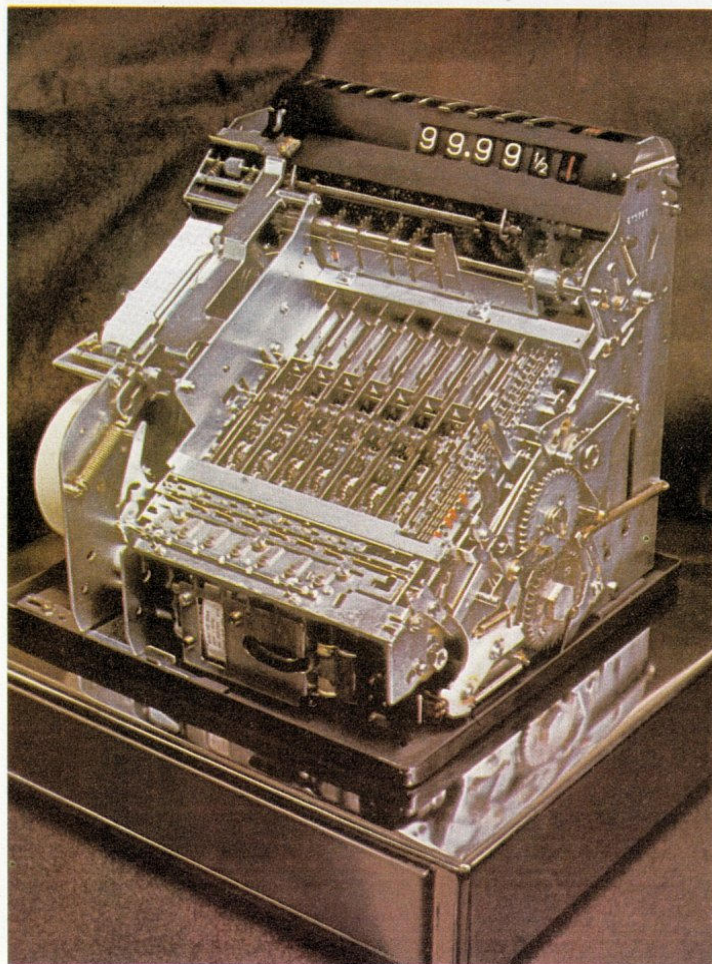
## REGISTRIERKASSE

**Registrierkassen wurden ursprünglich zum Schutz vor Gelddiebstählen durch Angestellte entwickelt. Sie sind inzwischen zu verschiedenartigen Leistungen in der Lage, wozu auch die Überprüfung der Gültigkeit von Kreditkarten gehört.**

Die erste Registrierkasse, die im Jahre 1879 ein amerikanischer Caféhausbesitzer mit Namen James Ritty erfand, ging auf das Prinzip der Umdrehungszähler für Schiffsschrauben zurück. Ihre Anzeige sah aus wie das Zifferblatt einer Uhr, der große Zeiger stand für Cent und der kleine für Dollar. Im Inneren addierten die manipuliersicheren Rollen eines Zählwerks die Gesamtbeträge. Die Kasse war mit einer Sicherungseinrichtung versehen, die verhinderte, daß sich Angestellte am Bargeld vergriffen.

Rittys 'Langfingerschreck' war kein Erfolg auf dem Markt beschieden. Doch hielt er, als er das Patent für nur \$1 000 verkaufte, bereits das Nachfolgemodell Typ IV mit den uns vertrauten Springziffern oben am Gehäuse und einem Kontrollstreifen, auf dem die Registriervorgänge 'gedruckt' erschienen, bereit. An diesem ersten Modell stachen beim Betätigen der Tastatur Nadeln in einer bestimmten Reihenfolge in den Kontrollstreifen, so daß der Inhaber eine Möglichkeit zur Berechnung seiner Tageseinnahmen hatte.

*Unten: Zwei Ansichten einer elektromechanischen Registrierkasse, der Sweda 5.000. Der dabei verwendete Mechanismus ähnelt sehr stark dem einer mechanischen Rechenmaschine. Zusätzlich ist jedoch auf der linken Seite eine Vorrichtung, die Angaben über einzelne Produkte und Gesamtsummen auf einen Kontrollstreifen ausdruckt. Dies ist eine Ergänzung zur mechanischen Anzeige traditioneller Art.*



## Mechanische Rechenmaschinen

Nach diesen Grundprinzipien arbeiten, von Ergänzungen abgesehen, im großen und ganzen noch heute mechanische Registrierkassen. Doch sogar noch die einfachste, mit einer Drehkurbel betätigte mechanische Registrierkasse unserer Tage ist ein feinmechanisches Wunderwerk mit rund 2 500 Einzelteilen, die sich im wesentlichen aus Hebeln, Stangen, Zahnsegmenten, Ritzeln, Nocken und Übertragungsgestänge zusammensetzen.

Im Prinzip löst das Niederdrücken und Loslassen einer der Tasten folgende Funktionen aus: Anzeige des eingegebenen Betrags, Ausdruck der zugehörigen Ziffern auf dem Kontrollstreifen, Weitergabe des Betrags an den Summenspeicher, gegebenenfalls Betätigung des jeweiligen Vorgangszählers (z.B. für besonders zu überwachende Positionen) und schließlich Öffnen der Kassenschublade.

## Das Tastenfeld

Auf dem Tastenfeld liegen in Gruppen untereinander 26 Tasten, die jeweils Einern, Zehnern und Hundertern (also Pfennigen, 'Gröschchen' und Mark) zugeordnet sind. Eine Sperreinrichtung bietet die Gewähr dafür, daß immer nur jeweils eine Taste niedergedrückt werden kann. Es kommt allerdings vor, daß man bestimmte Tasten einer Gruppe gleichzeitig drücken kann, um z.B. in einem Arbeitsgang Einer, Zehner und Hunderter eingeben zu können. Eine irrtümlich gedrückte Taste läßt sich löschen, wenn die Bewegung noch nicht abgeschlossen ist. Nach Überschreiten eines bestimmten Punktes allerdings muß der Vorgang zu Ende geführt werden.

## Die Anzeigevorrichtung

Die zum jeweiligen Vorgang gehörigen und oben an der Maschine sichtbaren Zahlen befinden sich auf umlaufenden Zählwerksrollen, so daß die Zahlen auf beiden Seiten der





Maschine sichtbar sind. Der Mechanismus arbeitet in zwei Halbzyklen: Beim Niederdrücken der Taste stellt er die vorher sichtbaren Zahlenreihen auf Null, und der Tastenlösemechanismus stellt die neu eingegebenen Zahlen ein. Beim ersten Vorgang werden die Ritzel an den Zählrollen von den über den Tastenhebel gesteuerten Zahnsegmenten getrennt, in die sie beim zweiten Vorgang erneut eingreifen und so die zur jeweiligen Taste gehörige Ziffer anzeigen. Eine Ausrichtvorrichtung hält diese Zahlen auf gleicher Höhe.

### Summenspeicher und Kontrollstreifen-druckwerk

Die Rollen des Zählwerks und das Druckwerk werden über den Tasten zugeordnete Nocken gesteuert. Ziffern werden wie bei mechanischen Rechenmaschinen automatisch auf die Zählrolle mit dem nächsthöheren Stellenwert übertragen. Erforderlichenfalls kann das Zählwerk mit Hilfe eines besonderen Schlüssels, den im Normalfall die Geschäftsleitung verwaltet, auf Null zurückgestellt werden.

Der Streifendrucker druckt Beträge in dem Augenblick auf die Rolle, in dem sie registriert werden. Außerdem können durch ihn Salden getrennt ausgewiesen werden. Auch hier greifen Ritzel in Zahnsegmente ein, und zwar in Abhängigkeit von der Form des zugehörigen Nockens am unteren Ende einer Eingabetaste. Beispielsweise wird das Druckrad bei Betätigung der Taste für '9 Pf.' um neun Positionen weitergerückt. Eine Druckwalze rückt gegen die Druckrollen vor und bringt das Papier und ein Wende-Farbband gegen die Typen, wodurch ein dauerhafter Abdruck entsteht. Eine handbetätigte Summenabruf-taste ermöglicht es, von den Saldierspeicherwerken Summen auf einen Papierstreifen drucken zu lassen.

Es gibt zusätzliche Zählwerke für 'Kein Verkauf', 'Kunde' und 'Nullstellung'. Sie rücken nach Niederdrücken der zugehörigen Taste, Öffnen der Schublade oder Betätigen des Schlüssels zum Zurückstellen der Zählwerke um jeweils eine Stelle vor und liefern der Geschäftsleitung damit wertvolle Aufschlüsse.

### Die Geldschublade

Die auf Rollen (oft aus Nylon) laufende Geldschublade springt durch Federwirkung unmittelbar vor dem Ende eines Registriervorgangs auf. Die Auslösung geschieht über einen Mechanismus im Funktionsgetriebe, der mit der Hauptnockenwelle verbunden ist.

### Kontrollschloß

Die Maschine ist mit einem Kontrollschloß ausgerüstet, das in fünf Stellungen arbeitet: Nullstellung, Ablesen (von Salden oder Summen), Sperren sowie Betrieb mit offener und geschlossener Schublade. Ein im Besitz einer befugten Person befindlicher Schlüssel zum Ablesen und Rückstellen verhindert Manipulationen. Auch die Tür, hinter der der Kontrollstreifen läuft, kann nur mit Hilfe dieses Schlüssels geöffnet werden. Außerdem ist das Gehäuse mit dem Unter- teil verplombt, wodurch jeder Versuch vereitelt wird, das Gehäuse abzunehmen. Mechanische Registrierkassen mit Handkurbel gelten mittlerweile als veraltet. Man hat sie durch elektromechanische und elektrische Maschinen ersetzt, die sicherer sind und der Geschäftsleitung eine größere Zahl von Informationen liefern. Dazu gehören in einigen Fällen auch Angaben für die Datenverarbeitung über Computer. Trotzdem sind auf der ganzen Welt noch Millionen von mechanischen Registrierkassen im Einsatz.

### Elektronische Registrierkassen

Die Verwendung elektronischer Bauteile bei Registrierkassen hat zu einer völlig neuen Maschine geführt, die einerseits alle



**Oben und unten:** Zwei Ansichten einer modernen elektronischen Registrierkasse, der Sweda 4520. Dies ist keine Registrierkasse im üblichen Sinne mehr, sondern ein Computerterminal. Von der Kasse werden Angaben über Verkäufe und andere Daten an einen Zentralcomputer weitergeleitet. Mit einer solchen Kasse kann auch die Kreditwürdigkeit eines Kunden überprüft werden; Lagerbestände können präzise erfasst und korrigiert werden, und der Computer der Kasse kann auch Steuerberechnungen, etwa den Zuschlag der Mehrwertsteuer auf den Warenpreis, durchführen. Eine solche Kasse beschleunigt den Kassiervorgang und daher ist weniger Personal notwendig.





herkömmlichen Aufgaben besser als die früheren Maschinen erledigt, andererseits aber noch Möglichkeiten ähnlich denen kleiner Computer bietet. Dazu gehört auch die Fähigkeit, vorher in Form eines Computerprogramms festgelegte Anweisungen zu speichern und zu befolgen. Solche fortschrittlichen Lösungen sind durch die Verwendung von integrierten Schaltungen und vor allem von Metalloxid-Halbleitern möglich geworden. Außerdem zeigen Leuchtdioden die Vorgänge an; zur Eingabe der Vorgangsdaten dienen vereinfachte Tastaturen mit zehn Ziffern sowie einer Anzahl von Vorgangstasten. Durch die Verwendung moderner Druckwerke kann die Maschine Belege, Kontrollstreifen usw. ausdrucken.

Gegenwärtig ist eine Vielzahl verschiedener Registrierkassen auf dem Markt, deren Hauptunterschied in der Steuerung, in der Weitergabe der Daten an den Zentralcomputer, in der Verwendung der Etiketten und im automatischen Lesen der Etiketten liegt. Hinsichtlich der Steuerung gibt es Maschinen, die — Kleincomputern ähnlich — alle Funktionen selbst steuern und überwachen, während das andere Extrem eine Kasse ist, die nur einige Grundfunktionen beherrscht und von einem Computer gesteuert wird. Der Computer kann in der Nähe stehen oder seine Aufträge über große Entfernungen durch das Telefonnetz übermitteln.

Die Wahl des Systems hängt weitgehend von der Anzahl der Kassen ab, die in einem Laden benötigt werden, von der Fülle der zu verarbeitenden Daten und den Möglichkeiten zu ihrer Verarbeitung an der jeweiligen Verkaufsstelle. Die Systeme der meisten Hersteller gestatten es, von unabhängig arbeitenden Einzelkassen auf ausgeklügelte Kassensysteme mit Computer-Fernsteuerung umzusteigen.

**Unten:** Die Sweda 80 3500, eine neue Generation elektronischer Registrierkassen, kann multiplizieren, womit zeitraubendes Mehrfachbuchten identischer Artikel entfällt.

## Moderne Einrichtungen

Von den Grundanforderungen abgesehen, die eine Registrierkasse erfüllen muß (dazu gehört auch, daß sie eine Schublade und Sicherheitseinrichtungen hat), wird heute von elektronischen Registrierkassen erwartet, daß sie mit ständig veränderten Forderungen des Wirtschaftslebens Schritt halten. Es sind Rechenkapazitäten für Nebenstellen sowie für die Berechnung von Prozentsätzen für Steuer und Rabatt vorgesehen. Es gibt Einrichtungen zur gesonderten Aufzeichnung von Kreditkäufen. Dies geschieht, indem die Kasse automatisch die Angaben auf Kreditkarten liest. Außerdem kann eine Kasse, die Zugriff zu Magnetbandspeichern mit Kreditunterlagen hat, die Kreditwürdigkeit von Kunden feststellen. Zusätzlich lassen sich elektromechanisch gesteuerte Rückgeldgeber oder andere Zusatzgeräte außen an die Kasse anschließen.

Wo elektronische Registrierkassen Teil eines größeren Computersystems sind, können sie über normale Telefon-Datenleitungen mit dem Zentralcomputer verbunden werden. Wie bei einem Computerprogramm können dann vorher festgelegte Anweisungen gespeichert und ausgeführt werden. Ist die Maschine mit einem Preisauszeichnungs-Rechner gekoppelt, können einzelne Artikel automatisch mit einem Preis versehen werden, nachdem ihre Kennziffer in den Rechner eingegeben wurde.

Angaben über jeden einzelnen Vorgang, wie beispielsweise den Warencode, die Kennziffer des Verkäufers, Mengen, Preise und dergleichen, können entweder im Zentralcomputer oder auf Magnetbandkassetten gespeichert werden, die an jede elektronische Registrierkasse angeschlossen werden können. Damit ist eine spätere Analyse durch einen Computer möglich. Diese Angaben können zwar mit der Hand über die Tastatur eingegeben werden aber man hat inzwischen automatische Lesergeräte auf den Markt gebracht, die auf speziellen an den Artikeln angebrachten Etiketten Angaben über den Artikel lesen können.





### Vorteile elektronischer Registrierkassen

Zu den Vorzügen, die man elektronischen Registrierkassen nachsagt, gehört eine kürzere Anlernzeit für das Kasspersonal und eine Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bis zu 20% (schnellere Kundenabfertigung). Dies bedeutet auch, daß weniger Kasspersonal benötigt wird. Außerdem helfen diese Systeme, Irrtümer zu vermeiden.

Die Hauptvorteile ergeben sich jedoch erst im Zusammenspiel mit Computersystemen. Beispielsweise ist es dann möglich, augenblicklich die Kreditwürdigkeit eines Kunden

festzustellen. Zusammen mit einer Lagerbestandsüberwachung kann eine ständig auf dem neuesten Stand befindliche Bestandsliste geführt werden. Außerdem ist es damit möglich, in Lagerhäusern verwendete automatische Kontrollsysteme wirksamer einzusetzen.

*Unten: Dieser Typ von Registrierkasse hat zwölf Warencodierungen; dies ermöglicht es, eine schnelle Analyse der meistverkauften Warensorten aufzustellen.*



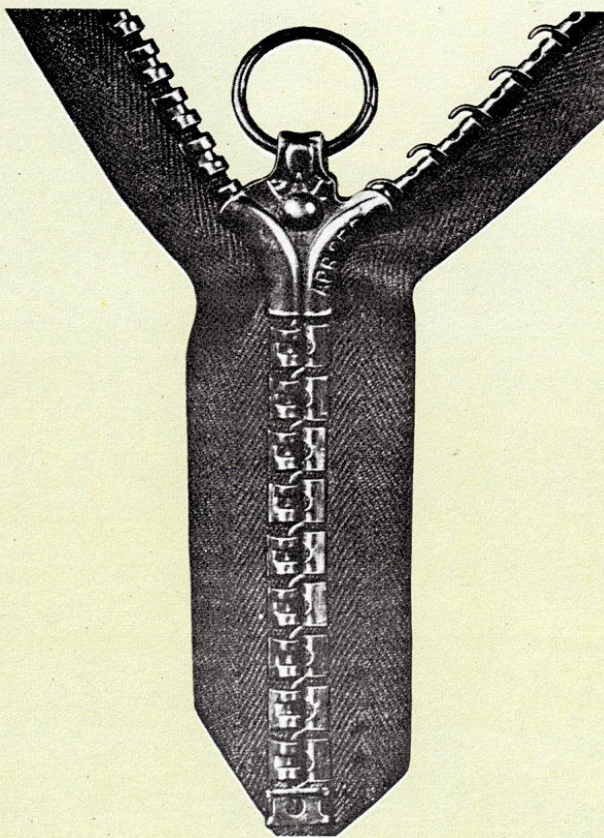


## REISSVERSCHLUSS

**Ein Reißverschluß läßt sich nicht nur rascher schließen als Knöpfe, Haken und Druckknöpfe, er hält auch zwei Stoffteile sicherer zusammen.**

Die im 19. Jahrhundert modischen Knöpfstiefeletten regten den amerikanischen Ingenieur und Erfinder Whitcomb Judson dazu an, einen anderen Verschuß zu entwickeln, der auf dem Prinzip von Haken und Ösen beruhte und mit der Hand oder mit einem beweglichen Schieber geschlossen werden konnte. Hierauf erhielt er im Jahre 1893 ein Patent, dem sich in den folgenden 12 Jahren noch weitere Patente für Verbesserungen an seinem Verschuß anschlossen.

Der Gedanke war faszinierend, die Praxis aber eher ernüchternd, denn der Verschuß sprang immer wieder auf. Außerdem mußte die Herstellung in Handarbeit erfolgen, weil sich die Schwierigkeiten, die sich bei der Fertigung einer zur Herstellung des Verschlusses geeigneten Maschine ergaben, als unüberwindbar erwiesen.



**Oben:** Diese im Jahre 1905 eingeführte Konstruktion wurde als 'Sicherheitsverschluß' angepriesen. Sie arbeitete mit einer Abwandlung des Funktionsprinzips von Haken und Ösen.

Im Jahre 1905 erfand dann Judson einen anderen Verschuß, bei dem die einzelnen Verschußglieder nicht mehr in Form einer Kette aneinander, sondern einzeln an einem Stoffstreifen befestigt waren. Trotz dieses Fortschrittes war die Konstruktion noch nicht völlig befriedigend. Der schwedische Elektroingenieur Gideon Sundback, der in Judsons Unternehmen beschäftigt war, machte sich an ihre Verbesserung. Im Jahre 1913 erfand er einen Verschuß ohne Haken, dessen einzelne Glieder oder Zähne identisch und gegeneinander austauschbar waren. Zugleich konstruierte er die Maschinen zum Ausstanzen der Teile und deren Anbringung an den Stoffstreifen.

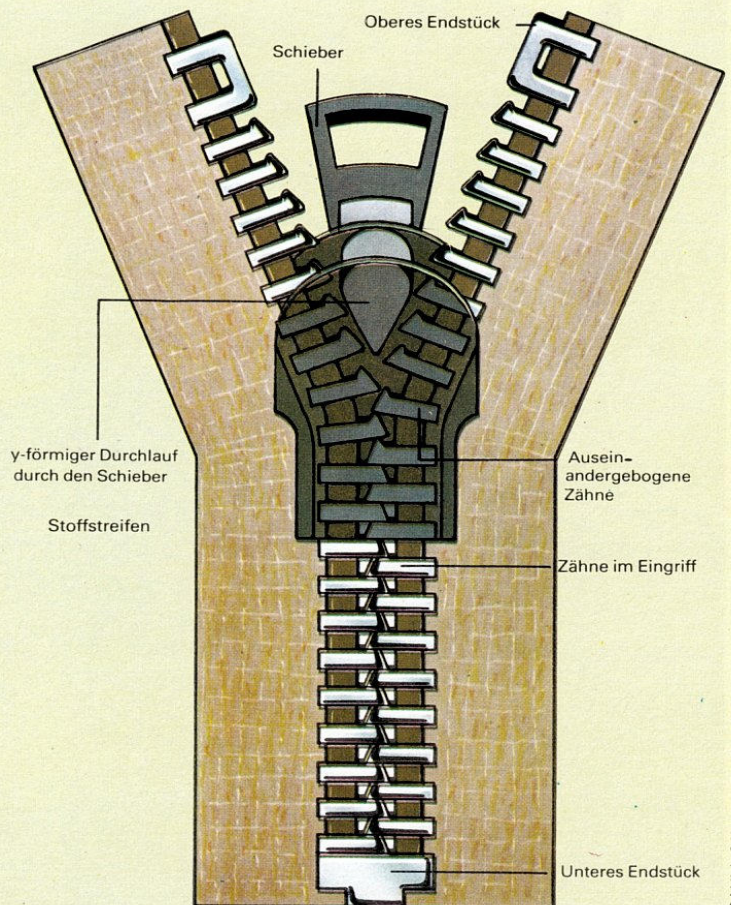
Verschlüsse dieser Art wurden erstmals im Jahre 1918 an

Kleidungsstücken angebracht, als ein Textilfabrikant, der Flugzeugpiloten-Monturen liefern sollte, einige Tausend davon in Auftrag gab. Die Nützlichkeit des Reißverschlußprinzips sprach sich bald herum, und im Jahre 1923 versah die Firma B. F. Goodrich ihre Gummiüberschuhe mit Reißverschlüssen.

### Moderne Reißverschlüsse

Heutige Reißverschlüsse bestehen aus einer Zahnkette, die an einem festen Stoffstreifen befestigt ist und über einen Schieber zum Eingriff in eine weitere Zahnkette gebracht wird. Damit der Schieber nicht herausrutschen kann, sind oben und unten an den Stoffstreifen jeweils Anschläge in Form von Endstücken vorgesehen.

Auf der Oberseite der Zähne liegt jeweils eine kleine höckerartige Erhöhung und an ihrer Unterseite eine entsprechend geformte Vertiefung. Beide Zahnketten sind in der Höhe leicht gegeneinander versetzt, so daß die Erhöhung auf der einen Seite in die Vertiefung der anderen eingreift, aber nicht wieder aus ihr herausgleiten kann (Zahnverschluß). Dieses Ineinandergreifen bewirkt ein Schieber, der durch ein Zwischenstück in zwei oben auseinander- und unten zusammenlaufende Kanäle geteilt ist. Er spreizt durch seine Form die Zähne, so daß die Erhöhung der einen Seite in die Lücke zwischen zwei gegenüberliegenden Zähnen eingreifen kann und umgekehrt. Der sich verjüngende Teil des Schiebers drückt dann die zusammengeführten Teile genau ineinander. Die Funktionsteile eines Reißverschlusses können aus Metall oder Nylon bestehen. Einige Reißverschlüsse sind so konstruiert, daß der Schieber am unteren Ende auf einer Seite abgezogen werden kann, so daß beispielsweise Parkas, Anoraks, Jacken und dergleichen sich vollständig öffnen lassen.



**Oben:** Die Schließketten sind an dem Stoffstreifen befestigt und ihre Zähne sind so geformt, daß sie sich nach dem Zusammenfügen nicht von selbst öffnen können.



## RELAYS

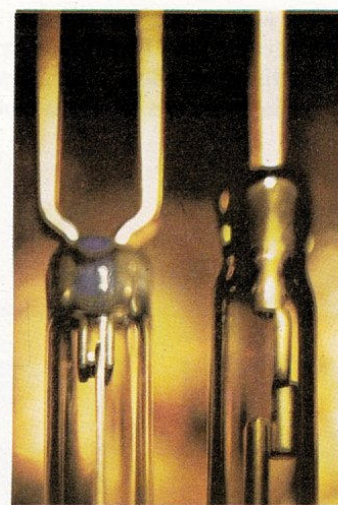
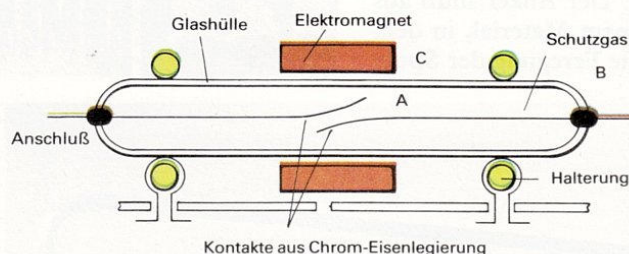
**Das Relais ist ein Bauteil, bei dem der elektrische Stromfluß eines Schaltkreises dazu benutzt wird, den Strom eines zweiten Schaltkreises zu- oder abzuschalten. Sein großes Einsatzgebiet liegt im Fernmeldewesen und im Bereich der automatischen Steuerungen.**

Das Relais (auch Schütz) ist ein elektrischer Schalter, der entweder nach magnetischen oder elektromagnetischen Prinzipien arbeitet. Meistens findet man elektromagnetische Relaisarten. Dabei durchfließt der Steuerstrom eines äußeren Schaltkreises eine Drahtspule, die wie ein Elektromagnet arbeitet. Ein Weicheisenanker wird durch das aufgebaute Magnetfeld angezogen. Als Folge öffnen oder schließen, in Abhängigkeit vom mechanischen Aufbau des Relais, ein oder mehrere Kontakte. Einige Aspekte, die zur Auslegung von Schaltungen mit elektromagnetischen Relais in Erwägung gezogen werden müssen, sind: Wechsel- oder Gleichstromsteuerung, Höchstnennstrom der Kontakte, Anzahl und Art der Kontakte und die verlangten Arbeitsgeschwindigkeiten.

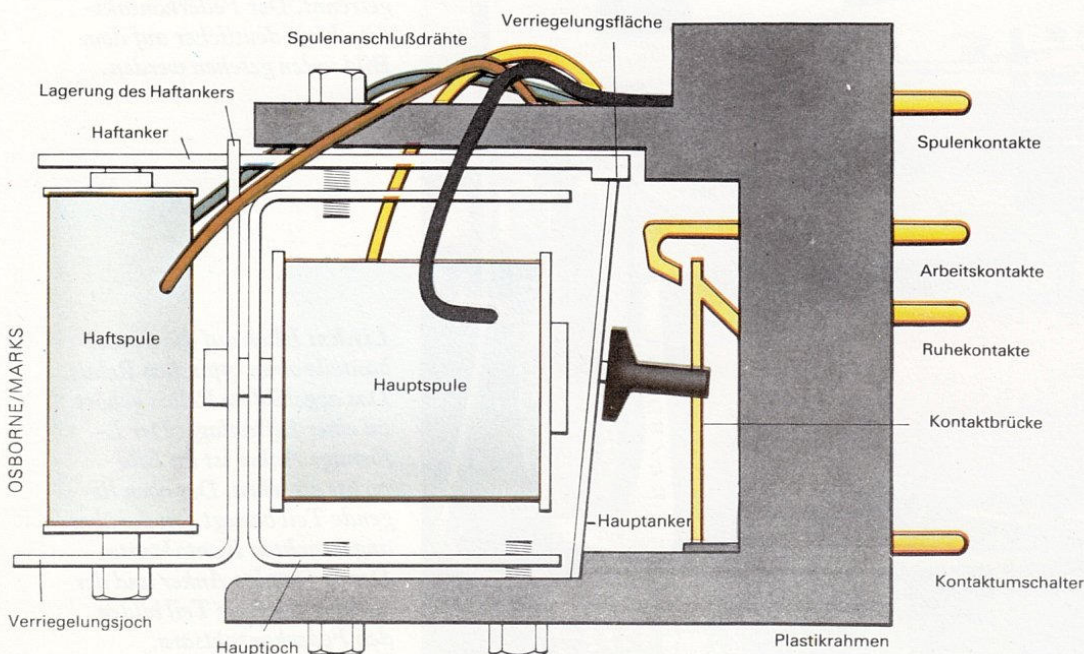
### Wechsel- oder Gleichspannungserregung

Fließt ein Strom durch die Relaispule, durchdringen Flußlinien den umgebenden Raum. Der Weicheisenanker ist Teil des vom Fluß durchdrungenen magnetischen Kreises. Die Ankerbewegung erfolgt so, daß sich dabei der magnetische Widerstand verkleinert (siehe MAGNETISMUS). Es ist deshalb unwichtig, ob die Erregung durch Gleichstrom oder Wechselstrom vorgenommen wird, weil sich der Anker immer in der Richtung bewegt, in der der magnetische Widerstand kleiner wird.

**Rechts:** Ein Diagramm und Foto eines Reedrelais. Da sich die Kontakte in einer Schutzgasatmosphäre befinden, bleiben sie frei von Verschmutzungen und Beschädigungen durch Korrosion und arbeiten daher jahrelang fehlerfrei. Allerdings sind auch sie geringfügigen Abnutzungserscheinungen ausgesetzt und müssen deshalb schließlich doch einmal ausgetauscht werden.



PAUL BRIERLEY



**Links:** Das Haftarrelais benötigt Pulse zum Umschalten der Kontakte. Liegt ein Impuls an der Hauptspule, bewegt sich der Hauptanker zu ihr hin und verriegelt den Haftanker. Damit entsteht ein Kontakt zwischen den Arbeitskontakten und Koppelkontakten. Liegt ein Impuls an der Haftspule, wird der Hauptanker entriegelt und die Kontakte kehren in ihre Normallage zurück. Das Reedrelais ist in einer Glasampulle eingebaut, die mit Schutzgas gefüllt ist und Kontaktersionen vermindert.



Unterbrecher, Umschalter, Wechsler mit kurzzeitigem Schließen beider Kreise. Wechsler mit kurzzeitigem Schließen beider Kreise werden in besonderen Anwendungsfällen eingesetzt. Fernsprechrelais, wie sie in den umfangreichen Schaltvorrichtungen der Vermittlungsämter notwendig sind, arbeiten mit Kombinationen dieser Kontaktanordnungen. Sie können bis zu sechs von einem Relais betriebene Kontaktsätze enthalten.

Für den normalen Anwendungsfall bestehen die eigentlichen Kontakte aus Kupfer. Ihre Oberflächen werden jedoch dort, wo Zuverlässigkeit und eine lange Lebensdauer wichtige Kriterien der Schaltungsauslegung sind, vergoldet oder versilbert. In Quecksilber-Schaltrelais befinden sich zwei Elektroden in einer Glasampulle, die eine kleine Menge Quecksilber enthält. Die Anordnung ist in der Weise auf einem Anker befestigt, daß durch seine Bewegung beide Elektroden vom Quecksilber umspült werden und sich dadurch zwischen ihnen eine elektrisch leitende Verbindung ergibt.

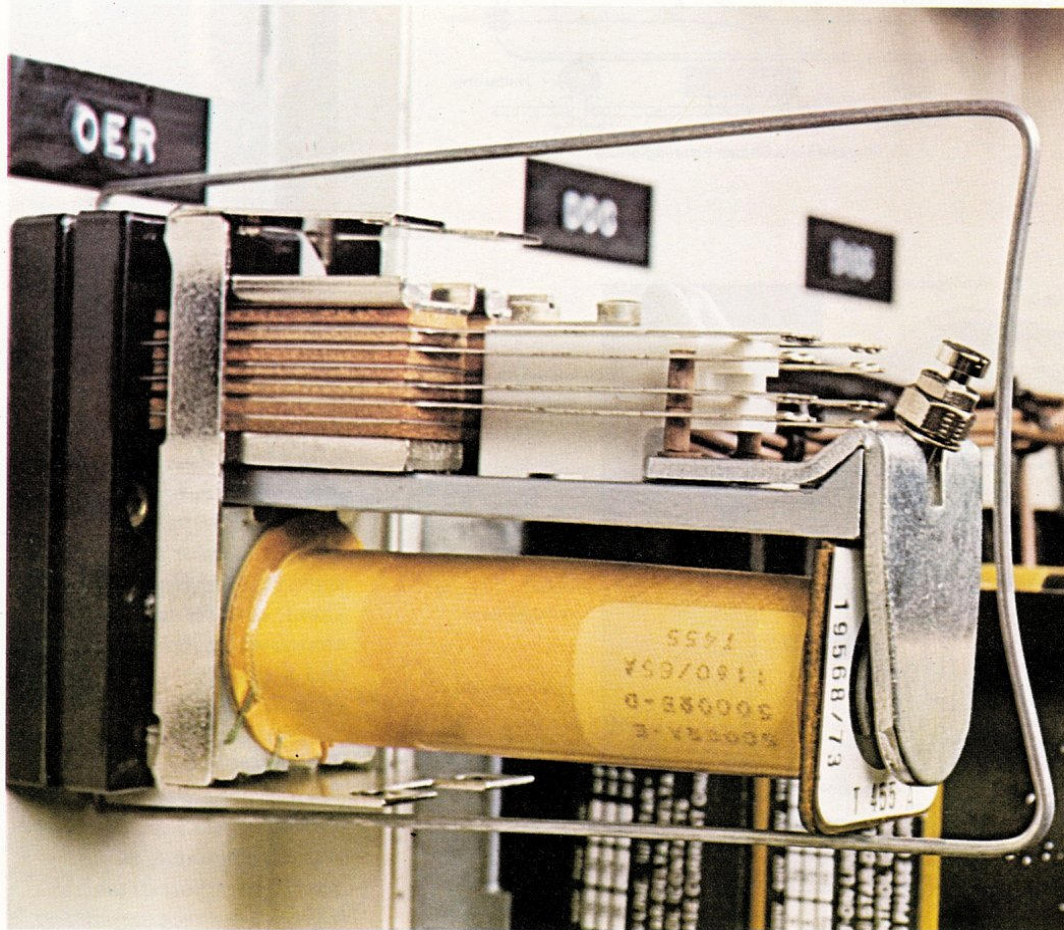
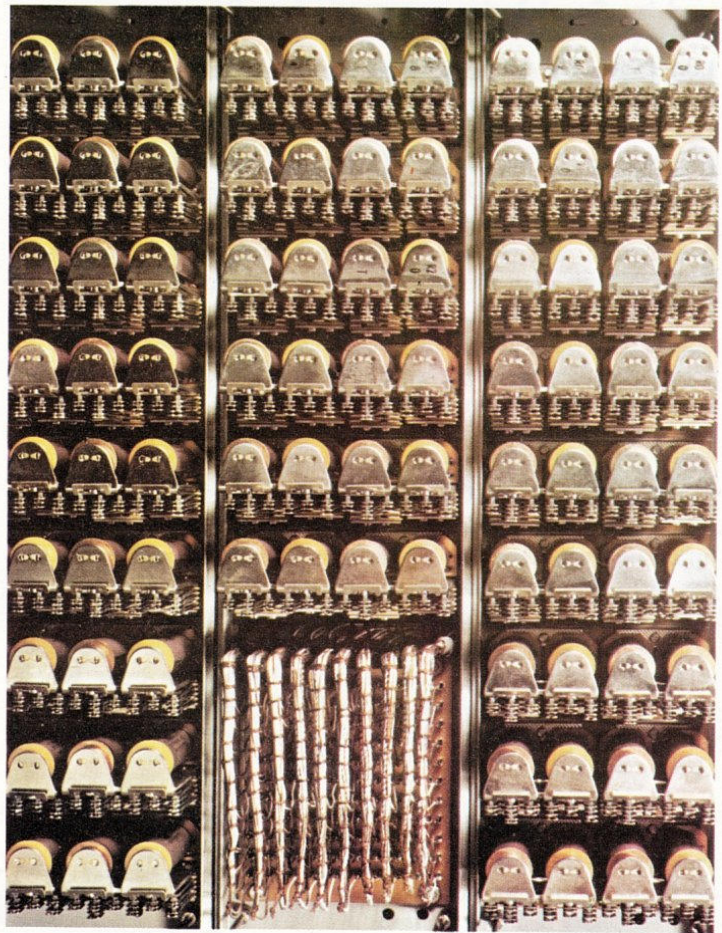
### Ausführungsformen der Anker

Beim Reedrelais (siehe unten) und den Relaisstypen mit federnd aufgehängtem Anker sind Anker- und Kontaktfunktionen miteinander verknüpft. Die Feder, auf der der Kontakt sitzt, muß aus magnetisch weichem Stahl bzw. einer entsprechenden Legierung bestehen und gute elektrische Leitfähigkeit besitzen, weil sie auch der Stromzuführung zum eigentlichen Kontakt dient. Bei erregter Spule bewegt sich die Feder in die Stellung, wo sie den geringsten magnetischen Widerstand vorfindet, wodurch sich der Kontaktsatz öffnet oder schließt. Wird der Steuerstrom abgeschaltet, springt die Feder infolge ihrer mechanischen Spannung in die ursprüngliche Stellung zurück.

Bei älteren Relais ist der Anker auf einem Zapfen mit einer getrennten Rückholfeder gelagert. Der Anker muß aus magnetisch weichem Eisen bestehen, einem Material, in dem kein Magnetismus zurückbleibt, wenn die Erregung der Spule

abgeklungen ist.

Das Fernsprechrelais besteht aus einer Spule, die vom Steuerstrom durchflossen wird. An einem Ende der Spule befindet sich als Anker ein L-förmiger Klapparm, der mit einer Feder vorgespannt ist. Bei Erregung der Spule muß zunächst die Federkraft überwunden werden, bevor der kurze



**Oben:** Ein Gestell mit Relais in einer modernen Vermittlungsstelle. Jedes dieser Relais besitzt einen Federkontaktsatz, wie er im Bild unten zu sehen ist. Die Einzelkontakte werden gestützt und elektrisch durch Isolierschichten voneinander getrennt. Der Federkontaktsatz kann deutlicher auf dem Bild unten gesehen werden.

**Links:** Blick auf die Einzelbauteile eines typischen Relais. Das abgebildete Relais gehört zu einer Liftanlage. Der L-förmige Anker ist im Bild rechts zu sehen. Der oben liegende Teil bewegt den darüber angebrachten Kontaktsatz. Der L-förmige Anker und der darüber liegende Teil bilden den Federkontaktsatz.



Arm des Ankers anzieht. Dabei schlägt sein anderes Ende nach oben, und der Federkontakt im Hauptstromkreis öffnet oder schließt.

## Arbeitsgeschwindigkeiten

Die Anzugskraft des Elektromagneten bestimmt die Anzahl der Federkontaktsätze, die geschaltet werden können. Damit ist die Anzugskraft einer der Faktoren, die die Arbeitsgeschwindigkeit des Relais bestimmen. Wenn hohe Geschwindigkeiten gefordert werden, ist es auch üblich, die Masse aller bewegten Teile zu reduzieren (Anker und Kontakte) und die Induktivität der Spule zu verkleinern. Diese letztere Maßnahme wird durch die Anzahl der Windungen der Spule bestimmt, die dann folglich weniger Windungen erhält. Die Anzugskraft nimmt aber mit der Windungszahl zu. Bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten werden daher größere Steuerströme notwendig. Manche Anwendungsfälle erfordern niedrige Anzuggeschwindigkeiten. Dies läßt sich mit einer größeren Windungszahl, durch Hinzufügen einer Reiheninduktivität oder durch Parallelschalten eines Kondensators zur Relaispule erreichen. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch eine Verzögerungsspule oder ein externes Zeitverzögerungsrelais. Die Verzögerungsspule ist eine getrennt aufgebrachte Spule mit wenigen Windungen; sie sitzt auf dem gleichen Eisenkern.

## Haftrelais

Die herkömmlichen Relais halten bei eingeschaltetem Strom ihren Zustand, der andere Schaltzustand entsteht bei abgeschaltetem Strom. Manchmal ist es jedoch nützlich, mit Steuerimpulsen derart zu arbeiten, daß ein Impuls den Relaiszustand ändert und ein zweiter Impuls den Anker wieder in die alte Lage zurückbringt. Ein solches Relais wird Haftrelais genannt.

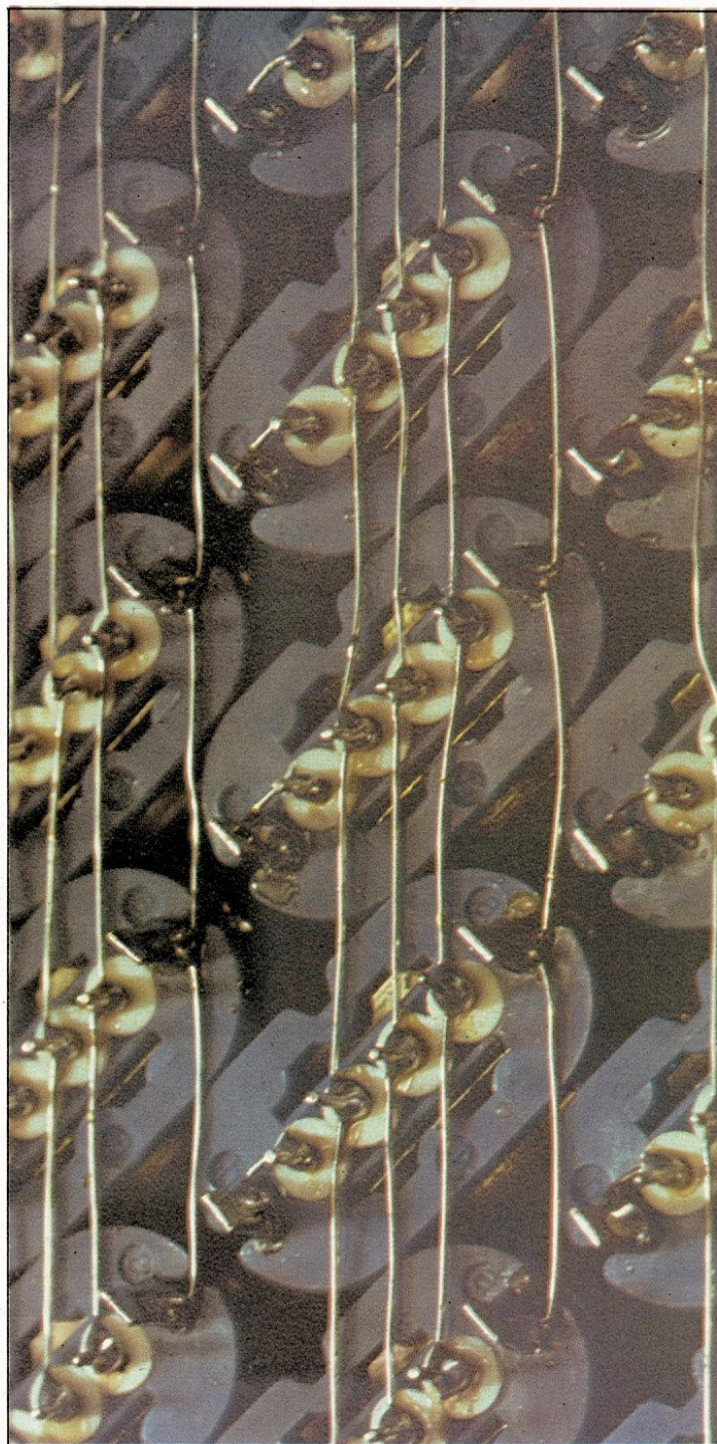
Eine oft gebaute Art des Haftrelais besitzt zwei Spulen und zwei Anker. Im Betrieb wird die Hauptspule auf normale Weise erregt. Während sich ihr Anker bewegt und die Kontakte schließt, wird der andere Anker, der um 90° versetzt angebracht ist, durch Federdruck aufwärts bewegt; hierdurch hält er die Schaltstellung. Zum Öffnen der Kontakte wird die zweite Spule erregt, ihr Anker fällt nach unten und entriegelt den Hauptanker, wodurch sich die Kontakte öffnen.

## Das Reedrelais

Verunreinigungen in der Atmosphäre bewirken eine Abnutzung, die sich mit der Schalttätigkeit einstellt. Die Kontakte werden zerfressen. Schichten, die sich auf der Oberfläche bilden, verändern den Kontaktwiderstand. Durch Einkapselung lassen sich solche Probleme zwar lange Zeit verzögern, aber nicht verhindern. Die Entwicklung elektronischer Relais, die aus Schaltungen mit Transistoren und Thyristoren bestehen, hat zu einer sehr viel längeren Betriebsdauer geführt. Ihre Arbeitsgeschwindigkeit liegt bei geringem Leistungsverbrauch außerordentlich hoch. Sie besitzen jedoch den schwerwiegenden Nachteil, daß ihr Widerstand im offenen Schalterzustand sehr weit vom Wert Unendlich entfernt liegt; bei geschlossenem Schalter erreicht der Widerstand nie den Wert Null.

Das Reedrelais ist eine Rückkehr zum elektromagnetischen Prinzip, das sich unbeeinflusst von diesen unvorteilhaften Widerstandswerten handhaben läßt. Durch den Aufbau des Reedrelais bedingt, lassen sich alle bewegten Teile vollständig in einer Schutzgasatmosphäre (gewöhnlich reiner, trockener Stickstoff) einschließen; es können praktisch keine Fremdstoffe eindringen.

Zwei weichmagnetische Kontaktleiterstreifen aus einer Chromeisen-Legierung werden so behandelt, daß sie die erforderliche Elastizität und Durchbiegefähigkeit erhalten.



**Oben:** Eine Relaismatrix, die aus Reedrelais zusammengesetzt ist. Derartige Relais werden von der britischen Post in Telefonvermittlungen verwendet.

Ihre Kontaktoberflächen bestehen aus einer Goldlegierung, wodurch sich ihr Kontaktwiderstand erheblich verkleinert. Das Ganze wird in einer Glasröhre hermetisch abgeschlossen und unter Atmosphärendruck mit Stickstoff gefüllt. Erreicht das äußere, längslaufende magnetische Feld einen bestimmten Wert, bewegen sich die Kontakte aufeinander zu und verkleinern somit den magnetischen Widerstand. Solch ein Magnetfeld kann durch eine Spule hervorgerufen werden, die um die Glasröhre gewickelt ist; die Federkontaktstreifen befinden sich in der Spulenachse.

Das Reedrelais arbeitet während mehrerer Millionen Schaltvorgänge fehlerlos. Das Fehlen des massiven Ankers bedeutet, daß mit geringerem Leistungsverbrauch gleichzeitig auch die Schaltzeiten sehr viel kleiner werden.



## RELATIVITÄTSTHEORIE

**Die Relativitätstheorie macht einige aufsehenerregende Voraussagen. Eine davon ist die Existenz 'Schwarzer Löcher' — Himmelskörper, die so viel Masse und deshalb ein so starkes Gravitationsfeld haben, daß aus ihnen nicht einmal Licht austritt.**

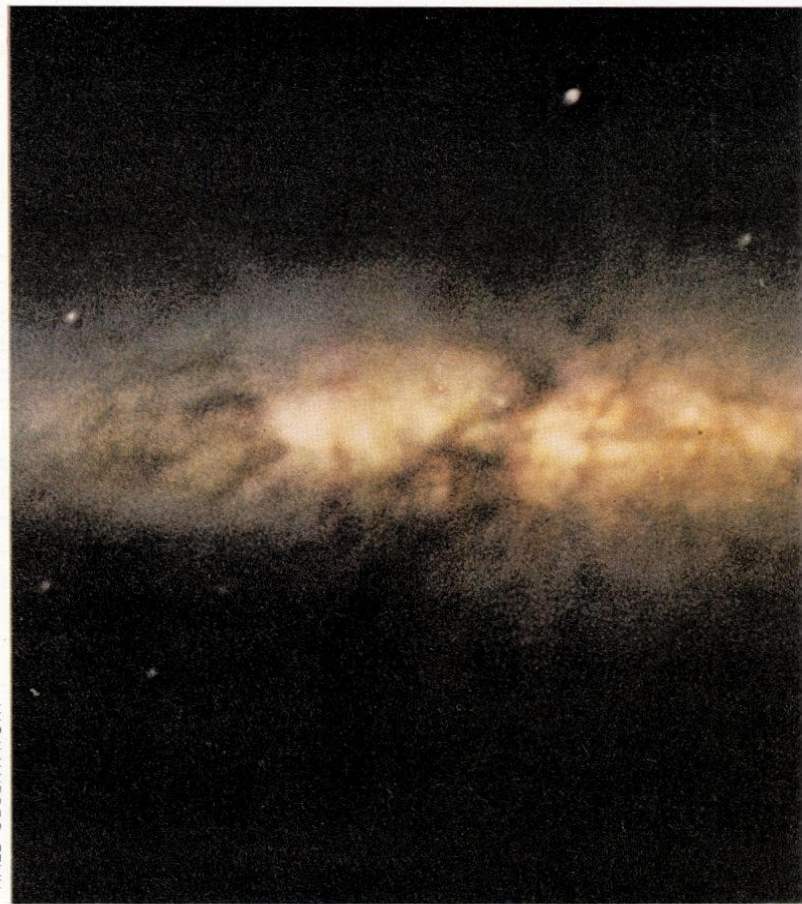
Albert Einsteins (1879 bis 1955) Veröffentlichung der Relativitätstheorie zu Beginn dieses Jahrhunderts stellt einen großen Schritt im physikalischen Verständnis unserer Welt dar. Unglücklicherweise hat die Theorie den Ruf der Unverständlichkeit, teils aufgrund der schwierigen mathematischen Herleitung, teils der Schlüsse wegen, die dem 'gesunden Menschenverstand' zu widersprechen scheinen.

Die Relativitätstheorie befaßt sich in erster Linie mit der Bewegung physikalischer Objekte. Sie wurde in zwei Stufen formuliert: Die Spezielle Relativitätstheorie (1905) betrachtet nur Objekte, die sich mit konstanter Geschwindigkeit relativ zueinander bewegen, während die Allgemeine Relativitätstheorie (1915) sich auch mit den Effekten der Beschleunigung und der Gravitation befaßt.

### Die Spezielle Relativitätstheorie

Einstein wurde durch eine Krise, der sich die Physiker zu Beginn dieses Jahrhunderts gegenüber sahen, zur Speziellen Relativitätstheorie geführt. Etwa vierzig Jahre zuvor hatte der englische Physiker James Clerk Maxwell (1831 bis 1879) gezeigt, daß Licht aus Wellen elektrischer und magnetischer Felder besteht. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit läßt sich aus den elektrischen Eigenschaften des Vakuums berechnen und stimmt mit der experimentell gemessenen Lichtgeschwindigkeit (etwa 300 000 km/s) überein. Die Physiker des 19. Jahrhunderts nahmen an, daß sich diese Wellen in einem 'Medium', dem Äther, wie Töne in der Luft ausbreiten. Der zur Ausbreitung benötigte Äther muß dann das ganze Universum ausfüllen, da Licht das Vakuum ebenso durchdringt wie durchsichtige Materie (wie Glas oder Wasser).

Den Äther stellte man sich als einen universellen Hintergrund vor. Bezogen auf ihn sollten alle Bewegungen absolut meßbar sein. Da die Erde mit einer Geschwindigkeit von

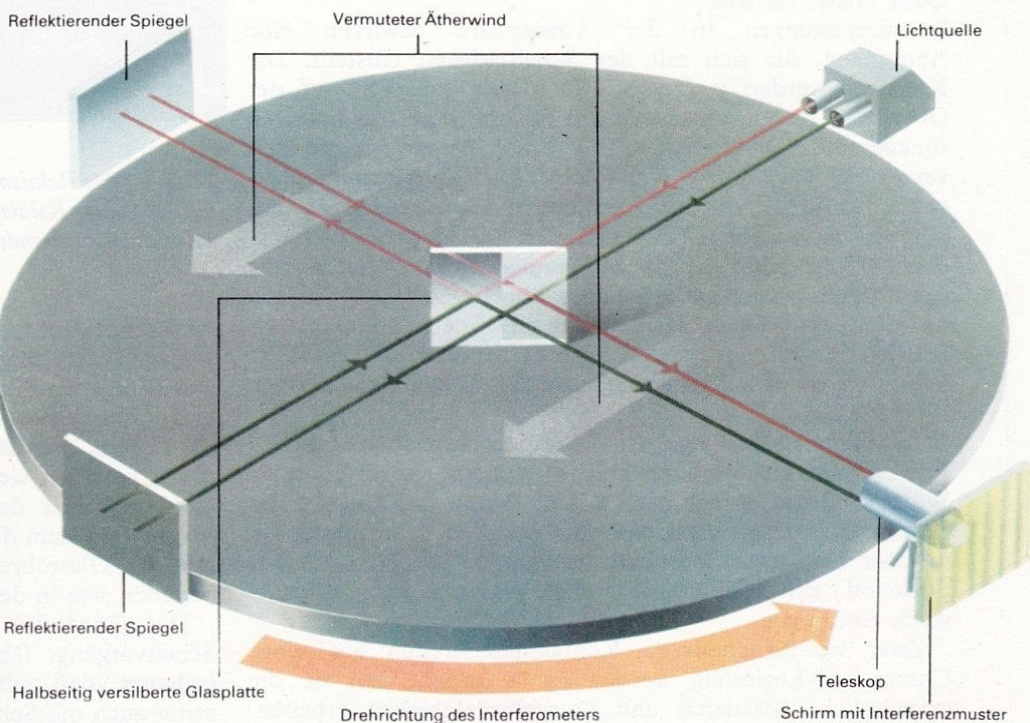


HALE OBSERVATORY

über 29 km/s um die Sonne kreist, sollte ihre Bewegung durch optische Mittel meßbar sein. Ein Präzisionsinstrument zu einer solchen Messung wurde von Albert Michelson und Edward Morley gebaut. In ihrem Interferometer wird ein Lichtstrahl durch einen halbseitig versilberten Spiegel in zwei zueinander senkrechten Teilstrahlen aufgespalten. Jeder Teilstrahl wird durch einen Spiegel am Ende des zehn Meter langen Interferometerarms reflektiert und in einem Okular dem anderen Teilstrahl überlagert.

Der Lichtstrahl, der quer zur Richtung der Erdbewegung hin- und zurückgelaufen ist, sollte nach der Äther-Theorie

Michelson-Morley-Experiment







**Links:** Die bemerkenswertesten Konsequenzen der Relativitätstheorie sind tief im Universum zu finden. Einige Wissenschaftler glauben, daß die gewaltigen Störungen, die in den Zentren der Riesen-Galaxieen (wie dieser M 82) beobachtet werden, das Ergebnis schwarzer Löcher oder relativistischer Bewegungen sind.

Morley-Experiment nicht befriedigend beschrieben werden.

Einstein erkannte, daß die Schwierigkeiten auf einem Mißverständnis der Maxwellschen Theorie — auch durch Maxwell selbst — beruhten. Als Beispiel wählte er zwei Labors: Ein Labor sei fest mit dem Erdboden verbunden, das andere sei in einem fahrenden Zug. Führt der Zug (bezogen auf die Erde) mit konstanter Geschwindigkeit, können die Insassen dies nicht feststellen, es sei denn, sie blicken aus dem Fenster und haben dort Bezugspunkte wie Bäume, Häuser oder Berge. Umgekehrt wäre es denkbar, daß der Zug steht und die Erde sich unter ihm bewegt. Der Beobachter kann dies nicht unterscheiden.

Einstein verallgemeinerte diese Idee in seinem Relativitätsprinzip. Danach liefern alle Experimente unabhängig vom Bewegungszustand des Labors die gleichen Ergebnisse, solange keine Kraft auf das Labor wirkt, die es beschleunigt. Folglich ist nie feststellbar, ob ein bestimmtes Bezugssystem (zum Beispiel ein Labor) vollständig in Ruhe ist.

Dementsprechend müssen auch die elektromagnetischen Eigenschaften des Vakuums in allen Labors gleich sein. Die Lichtgeschwindigkeit wiederum ist vom Verhalten gegenüber dem Elektromagnetismus abhängig und muß somit in allen Bezugssystemen übereinstimmen. Dies ist der Unterschied zur Äther-Theorie: Die ältere Theorie nahm an, das Licht breite sich in einem ruhenden Äther mit konstanter Geschwindigkeit aus, und daraus könne man die absolute Geschwindigkeit des jeweiligen Labors bestimmen. Nach Einsteins Theorie breitet sich das Licht mit konstanter Geschwindigkeit relativ zu jedem Beobachter aus. Beträgt die Geschwindigkeit zweier Raumschiffe je 200 000 km/s, wobei sich das eine Raumschiff von der Sonne weg- und das andere auf die Sonne zubewegt, wird dennoch in beiden Raumschiffen die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Sonnenlichtes mit 300 000 km/s gemessen (also nicht mit 500 000 km/s bzw. 100 000 km/s).

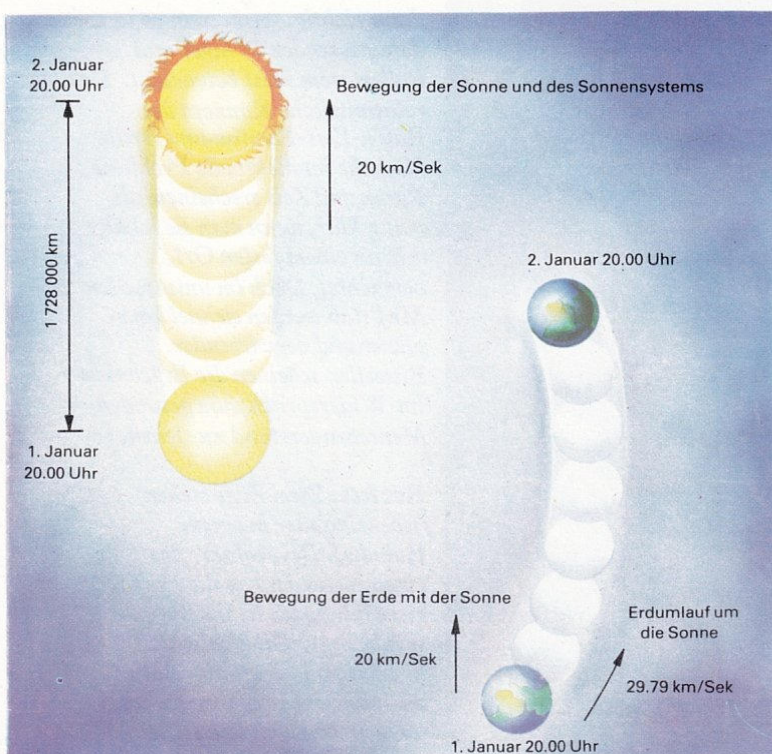
Die Ergebnisse des Michelson-Morley-Experimentes ergeben sich ganz natürlich aus dem Relativitätsprinzip, da sich beide Lichtstrahlen bezüglich der Apparatur mit gleicher

**Ganz links:** Eine der Atomuhren, die in Experimenten zur Prüfung der Einsteinschen Theorien, die die zeitlichen Einflüsse der Geschwindigkeit, Beschleunigung und der Gravitation, benutzt wurden. Diese Uhr wurde auf einen zweistündigen Raketenflug geschickt. Während des Fluges wurde die Zeitnahme mit der ähnlicher Atomuhren auf der Erde verglichen.

**Links Mitte:** Das Michelson-Morley-Experiment wurde im Jahre 1887 ausgeführt, um den 'Ätherwind' zu messen, der nach der Äthertheorie durch die Bewegung der Erde im ruhenden Äther entstehen sollte. Man hoffte, zeigen zu können, daß die Lichtgeschwindigkeit durch den Ätherwind beeinflusst wird. Der Fehlschlag dieses Experiments führte zur Ablehnung der Äthertheorie und war für Einstein der Ausgangspunkt seiner Relativitätstheorie.

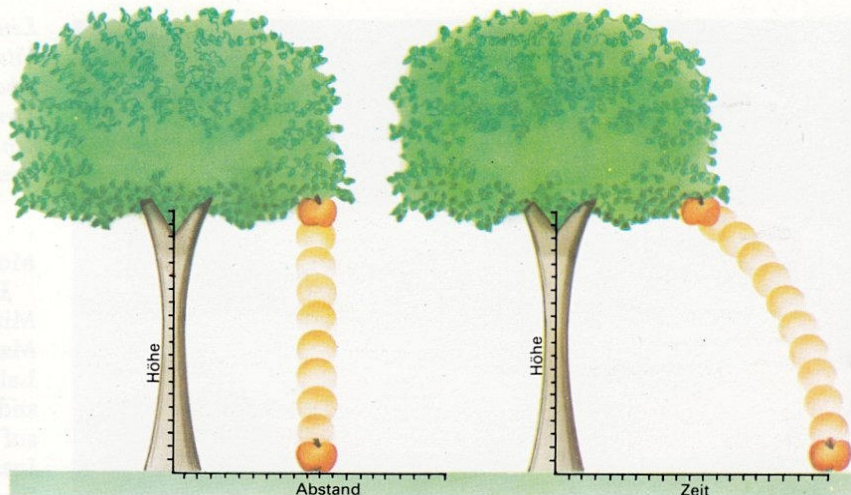
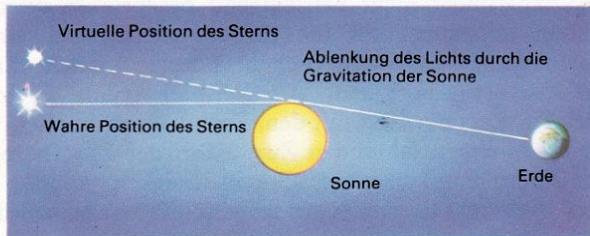
**Links:** Bleibt man 24 Stunden zu Hause, glaubt man, sich nicht fortbewegt zu haben. Dies ist nur richtig, wenn man die Erde als Bezugssystem wählt. Nimmt man einen Punkt im Weltall als Bezugspunkt, werden in 24 Stunden mehrere Millionen Kilometer zurückgelegt.

etwas schneller sein als derjenige, der sich mit der beziehungsweise gegen die Erdbewegung ausbreitete. Dieser Unterschied müßte sich durch eine Veränderung im Muster der hellen und dunklen Streifen (Interferenzmuster) bei der Überlagerung der Teilstrahlen bemerkbar machen. Michelson und Morley drehten ihre Apparatur mehrfach um 90°, so daß die beiden Arme des Interferometers ihre Rollen vertauschten, und erwarteten dabei eine Änderung der Interferenzbilder. Doch es war nicht die geringste Änderung meßbar. Die einfache Äther-Theorie erwies sich somit als falsch, und auch nach experimentellen Verbesserungen konnte das Michelson-





**Unten:** Eine der Voraussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie war, daß Licht durch die Gravitation abgelenkt wird. So wird Sternenlicht, das nahe der Sonne vorbeistrahlt, auf dem Wege zur Erde durch die Gravitation der Sonne abgelenkt, der Stern, von dem das Licht kommt, erscheint daher unter einem anderen Winkel. Dies wurde im Jahre 1919 während einer Sonneneklipse nachgewiesen.



Geschwindigkeit ausbreiten und daher gleichzeitig im Okular ankommen.

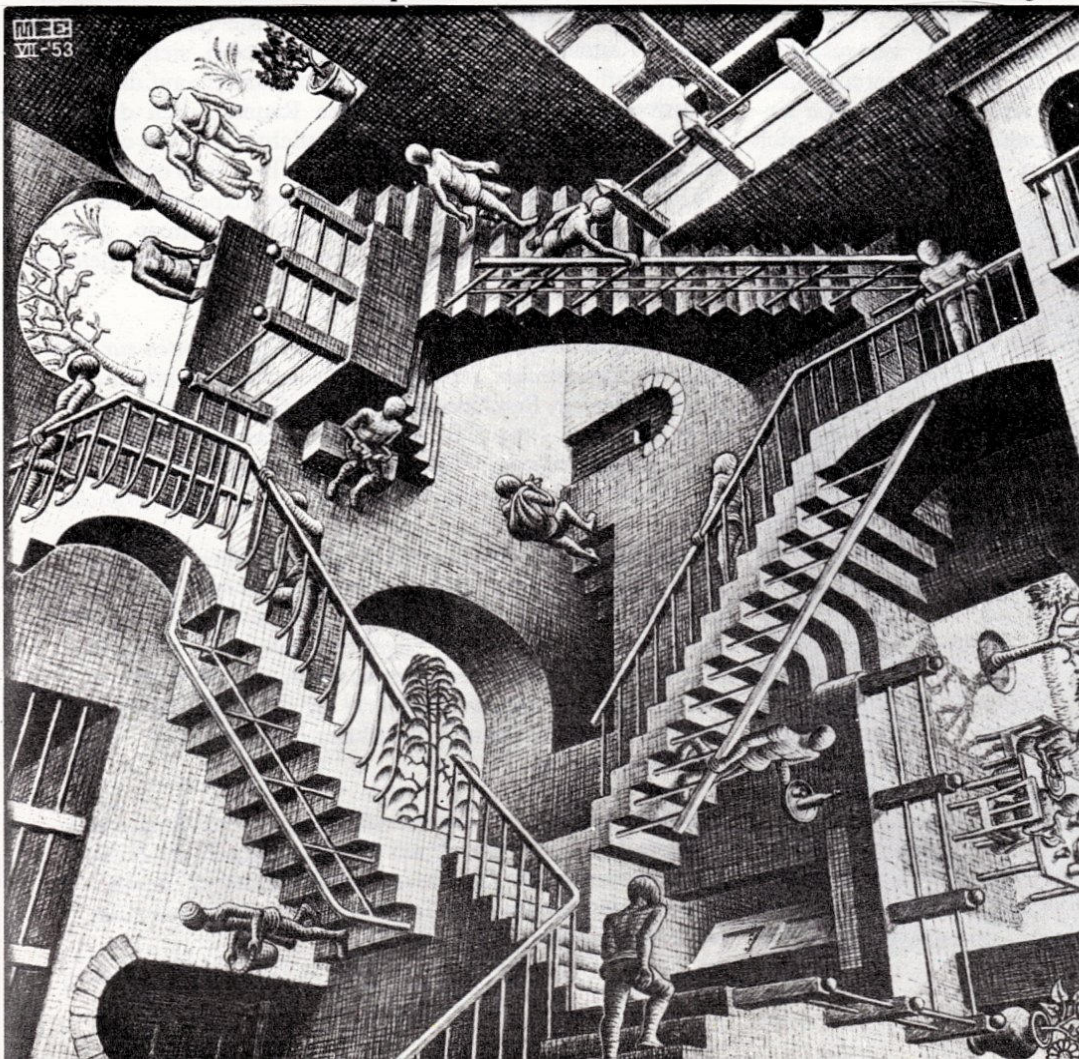
Zum Verständnis der anderen Ergebnisse der Relativitätstheorie betrachten wir zwei Raketen, die sich mit hoher Geschwindigkeit begegnen. Im Moment der Begegnung blitzt in jeder Rakete eine Lampe auf. Das Licht beider Lampen hat dann — unabhängig von der Geschwindigkeit der Lichtquelle — stets die gleiche Ausbreitungsgeschwindigkeit — (gemäß Einsteins zweitem Relativitätspostulat).

Somit breiten sich die Lichtwellen der beiden Blitze in alle Richtungen als Lichtkugel aus. Ein Beobachter in Rakete A ist stets im Zentrum der Kugel, die von seinem Blitzlicht ausgeht, und somit auch im Zentrum der Lichtkugel durch den Blitz in Rakete B; für ihn bewegt sich die Rakete B aus diesem Zentrum weg. Anders für einen Insassen der Rakete B: Er sieht sich stets im Zentrum der Lichtkugeln, und Rakete A bewegt sich von dort weg, ist also nicht mehr im Mittelpunkt.

Dieser offensichtliche Widerspruch ist nur dann lösbar,

**Oben:** In den beiden Bildern ist die Höhe eines fallenden Apfels einmal gegen den Abstand vom Baumstamm und das andere Mal gegen die Zeit aufgetragen. Sie zeigen die Idee von der Krümmung des Raum-Zeit-Kontinuums. Die Fallbewegung ist im Raum durch eine Gerade, im Raum-Zeit-Diagramm aber als Kurve zu beschreiben.

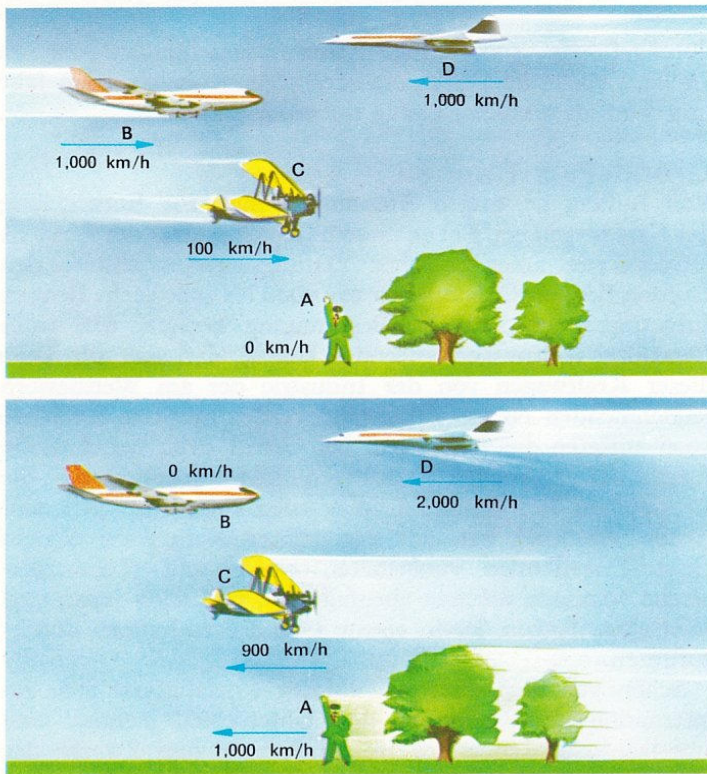
wenn man zuläßt, daß der Abstand zwischen B und der Kugel von einem Beobachter in A anders gemessen wird als durch einen Insassen von B. Mit anderen Worten scheinen sich Entfernungen zu verändern, wenn das zu untersuchende Objekt sich relativ zum Beobachter bewegt. Mit mathematischen Mitteln kann dann gezeigt werden, daß die physikalische Länge eines Körpers mit wachsender Relativgeschwindigkeit abzunehmen scheint und zu Null wird, wenn die Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit gleich wird. Dieser Effekt ist als Lorentz-Fitzgerald-Kontraktion bekannt.



**Links:** Die Lithographie 'Relativität' von M. Escher zeigt, wie sich der Anblick aus verschiedenen Positionen verändert. Jedes Element des Bildes erscheint geometrisch nur dann richtig, wenn man es unter dem passenden Winkel und isoliert vom Rest betrachtet. Das relativistische Konzept des Raum-Zeit-Kontinuums stellt ähnliche intellektuelle Probleme. Raum und Zeit erscheinen als völlig klar, wenn man sie lokal, d.h. an einem festen Ort, betrachtet. Doch im universellen Maßstab werden sie viel komplexer und verwirrender. Bisweilen scheinen die Ergebnisse im Widerspruch zum gesunden Menschenverstand zu stehen.

**Rechts:** Zwei Züge stehen nebeneinander in einem Bahnhof. Bei Abfahrt des einen Zuges denken die Passagiere häufig, es sei ihr Zug, der sich bewegt. Tatsächlich können beide Züge als relativ zueinander bewegt angesehen werden, obgleich sich nur einer relativ zur Erde bewegt.





**Oben:** Die beiden Bilder zeigen die Abhängigkeit der gemessenen Geschwindigkeit vom Bewegungszustand des Beobachters. Im oberen Bild ist der auf der Erde stehende Mann der Beobachter. Für ihn ruhen die Bäume und die Flugzeuge bewegen sich mit den eingezeichneten Geschwindigkeiten in die jeweilige Pfeilrichtung. Unten sitzt der Beobachter jedoch scheinbar im Flugzeug B. In diesem Bezugssystem kann B als ruhend betrachtet werden, während der Erdboden und die anderen Flugzeuge sich mit den angegebenen Geschwindigkeiten von links nach rechts bewegen. Es ist also kein Objekt absolut in Ruhe, und Bewegungen sind nur relativ zu einem Bezugssystem angebbar.

In ähnlicher Weise haben Experimente gezeigt, daß eine Uhr, die sich relativ zum Beobachter bewegt, langsamer zu gehen scheint, als eine vom Beobachter mitgeführte Uhr. Wird die Uhr annähernd mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, so scheint sie zu stehen. Weiterhin läßt sich zeigen, daß die Masse eines Körpers mit seiner Geschwindigkeit zunimmt und bei Annäherung an die des Lichtes unendlich groß wird. Da aber zur Beschleunigung eines Körpers größerer Massenträgheit eine stärkere Kraft benötigt wird, ist es nicht möglich, ein Objekt auf eine Geschwindigkeit, die größer als Lichtgeschwindigkeit ist, zu beschleunigen. Die Lichtgeschwindigkeit stellt somit eine natürliche Grenzgeschwindigkeit für das Universum dar.

Die Zeitdilatation (Zeitdehnung) und das Vergrößern der Masse eines Körpers konnten für subatomare Teilchen, die so



stark beschleunigt werden können, daß sie nahezu Lichtgeschwindigkeit erreichen, nachgewiesen werden. Bei den erreichbaren Geschwindigkeiten sind beträchtliche relativistische Korrekturen beobachtet worden.

Die Massenzunahme eines Körpers bei wachsender Geschwindigkeit läßt sich auch folgendermaßen beschreiben: Wird auf einen Körper Bewegungsenergie (kinetische Energie) übertragen, wird diese Energie teilweise in zusätzliche Masse umgewandelt. Im Jahr 1907 forderte Einstein, daß auch die Umkehrung möglich sei, nämlich die Umwandlung der üblichen 'Ruhemasse' eines Teilchens in Energie. Die entstehende Energiemenge  $W$  ist als Produkt aus der Masse  $m$  und dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit  $c$  gegeben, d. h.  $W = m \cdot c^2$ . Diese Voraussage konnte in den nachfolgenden 25 Jahren nicht bestätigt werden. Die Erfüllung der Gültigkeit dieser Gleichung zeigte sich aber sehr überzeugend, als die ersten Atombombenversuche in den vierziger Jahren unternommen wurden.

### Die Allgemeine Relativitätstheorie

Nach der Speziellen Relativitätstheorie versuchte Einstein den Fall zu untersuchen, wo er neben den Bewegungen des Labors mit konstanter Geschwindigkeit auch die Beschleunigung des Labors mit berücksichtigte. Das spezielle Relativitätsprinzip kann hier nicht aufrechterhalten werden, da Beschleunigung vom menschlichen Körper wahrgenommen wird. In beschleunigten Eisenbahnwagen ergeben Experimente andere Ergebnisse als in einem mit konstanter Geschwindigkeit fahrenden Zug. Einstein räumte ein, daß es in einem kleinen Labor (in ihm ist die Gravitationskraft in guter Näherung konstant) unmöglich ist, zwischen Beschleunigungs- und Gravitationseffekten zu unterscheiden. Die Insassen einer Rakete können zum Beispiel nicht sagen, ob sie auf der Erde stehen oder sich mit der Beschleunigung von  $9,81 \text{ m/s}^2$  im freien Raum bewegen. In beiden Fällen werden sie mit derselben Kraft gegen den Boden gepreßt.

Auf diesem Äquivalenzprinzip und der Forderung, daß die Allgemeine Relativitätstheorie als Grenzfall (für vernachlässigbare bzw. fehlende Beschleunigung und Gravitation) die Spezielle Theorie enthalten muß, baute Einstein die mathematische Struktur der Allgemeinen Relativitätstheorie auf. Sie ist zu komplex, um ohne mathematische Formeln exakt beschrieben zu werden, doch näherungsweise kann man sagen: Sie setzt die Zeit und die drei Richtungen des geometrischen Raumes zu einem vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum zusammen. Dies läßt sich nicht veranschaulichen, doch in der mathematischen Handhabung entspricht dies den geometrischen Theoremen des Euklid (um 300 v. Chr.).

Das Äquivalenzprinzip zeigt auf, daß Materie die Geometrie des Raum-Zeit-Kontinuums ändert. (Die Änderung ist einer Krümmung in der üblichen Geometrie des Raumes ähnlich.) Objekte, die dieses gekrümmte Raum-Zeit-Kontinuum durchlaufen, werden dadurch in ihrer Bewegung beeinflusst, d.h. sie erfahren eine Gravitationsablenkung. Einstein änderte das Modellbild der Gravitation von einer Kraft zur Vorstellung einer Änderung des Raum-Zeit-Kontinuums.

Die mathematische Formulierung durch den vierdimensionalen Ort-Zeit-Vektor erlaubt es, auch Voraussagen für beschleunigte Bezugssysteme zu machen. Dabei findet man, daß durch Beschleunigung die Zeit verzögert wird, so daß zum Beispiel ein Raumfahrer, der beim Verlassen der Erde, bei Kursänderungen und bei der eventuellen Rückkehr zur Erde beschleunigt wird, weniger altert, als sein auf der Erde zurückgebliebener Zwillingbruder. Dieses 'Zwillings-Paradoxon' wurde jüngst experimentell durch extrem genau gehende Atomuhren nachgewiesen, die um die Erde geflogen wurden; sie gingen ein ganz klein wenig langsamer, als auf der Erde verbliebene, gleichartige Uhren.



## RENNWAGEN

**Ein moderner Rennwagen kann Geschwindigkeiten von über 400 km/h erreichen und benötigt zur Beschleunigung von 0 auf 100 km/h nur 2 s.**

Die Kraftwagen der Anfangszeit des Automobilsports waren zerbrechliche, anfällige Fahrzeuge, die von Männern gebaut wurden, die die Anforderungen an die Konstruktion während des Fahrens entdeckten. Die ersten Wettbewerbe waren eher Zuverlässigkeitsprüfungen als Rennen. Jedoch wurde mit dem ersten Autorennen Paris-Rouen im Jahre 1894 der Automobil-Rennsport ungeheuer populär und ist es seitdem auch geblieben. Am häufigsten wurden Rennen zu bestimmten Zielstädten ausgetragen. Es gab jedoch auch über Kontinente hinweggeführte Rennen, wie zum Beispiel ein Rennen von Paris nach Peking.

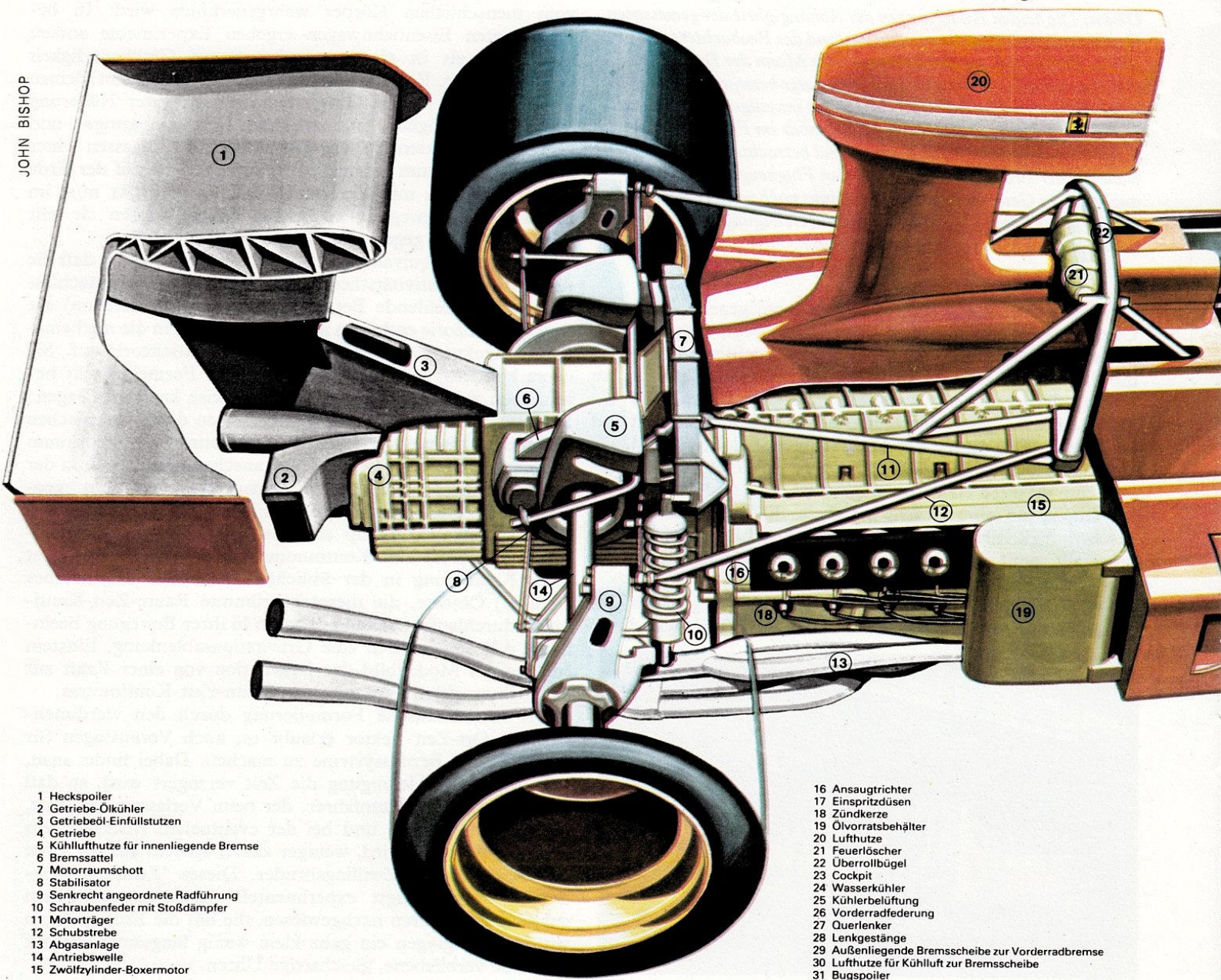
Rennfahren war noch nie ungefährlich, und auf öffentlichen Straßen durchgeführte Autorennen, die damals allgemein üblich waren, sind heute nur sehr begrenzt möglich. Der tragischste Unfall in der Geschichte des Automobil-Rennsports ereignete sich beim Sportwagenrennen von Le Mans im Juni 1955, bei dem es unter den Zuschauern 83 Tote gab. Eine Zeitlang wurde angenommen, daß dies den Schlußstrich im Automobil-Rennsport bedeutete. Das berühmte, alljährlich

durchgeführte 500 Meilen-Rennen von Indianapolis in Indiana, kostet im Durchschnitt ein Menschenleben pro Jahr und wird als verhältnismäßig sicher angesehen.

### Grand-Prix-Rennen

Von Anfang an trugen Automobilrennen zur Entwicklung der Kraftwagen bei. Ein an diesem Gesichtspunkt des Rennens interessierter amerikanischer Zeitungsverleger stiftete den Gordon Bennett Cup, um den von 1900 bis 1906 sechs Rennen ausgetragen wurden. Die Bestimmung besagte, daß jedes Land drei Kraftwagen entsenden konnte, daß aber alle Teile dieser Kraftwagen von der Industrie der am Wettbewerb teilnehmenden Nation hergestellt werden mußten. Im Jahre 1906 stifteten die Franzosen den Grand Prix, bei dem die Anzahl der gemeldeten Kraftwagen nicht beschränkt war; die Rennen um den Bennett Cup wurden eingestellt. Seit dem Ersten Weltkrieg hat jede europäische Nation ihr eigenes Grand-Prix-Rennen veranstaltet. Nord- und südamerikanische Nationen nehmen ebenfalls teil, und auch Japan und Australien denken daran, eigene Grand-Prix-Rennen durchzuführen.

Schon vor dem Ersten Weltkrieg kristallisierte sich im internationalen Rennsport der Unterschied heraus, daß amerikanische Rennen offensichtlich eher zum Zwecke der Unterhaltung als aus technischen Gründen abgehalten wur-



- 1 Heckspoiler
- 2 Getriebe-Ölkühler
- 3 Getriebeöl-Einfüllstutzen
- 4 Getriebe
- 5 Kuhlfluthtutze für innenliegende Bremse
- 6 Bremssattel
- 7 Motorraumschott
- 8 Stabilisator
- 9 Senkrecht angeordnete Radführung
- 10 Schraubenfeder mit Stoßdämpfer
- 11 Motorträger
- 12 Schubstrebe
- 13 Abgasanlage
- 14 Antriebswelle
- 15 Zwölfzylinder-Boxermotor

- 16 Ansaugtrichter
- 17 Einspritzdüsen
- 18 Zündkerze
- 19 Ölvorratsbehälter
- 20 Lufthutze
- 21 Feuerlöscher
- 22 Überrollbügel
- 23 Cockpit
- 24 Wasserkühler
- 25 Kühlerbelüftung
- 26 Vorderradfederung
- 27 Querlenker
- 28 Lenkgestänge
- 29 Außenliegende Bremsscheibe zur Vorderradbremse
- 30 Lufthutze für Kuhlflut zur Bremsscheibe
- 31 Bugspoiler

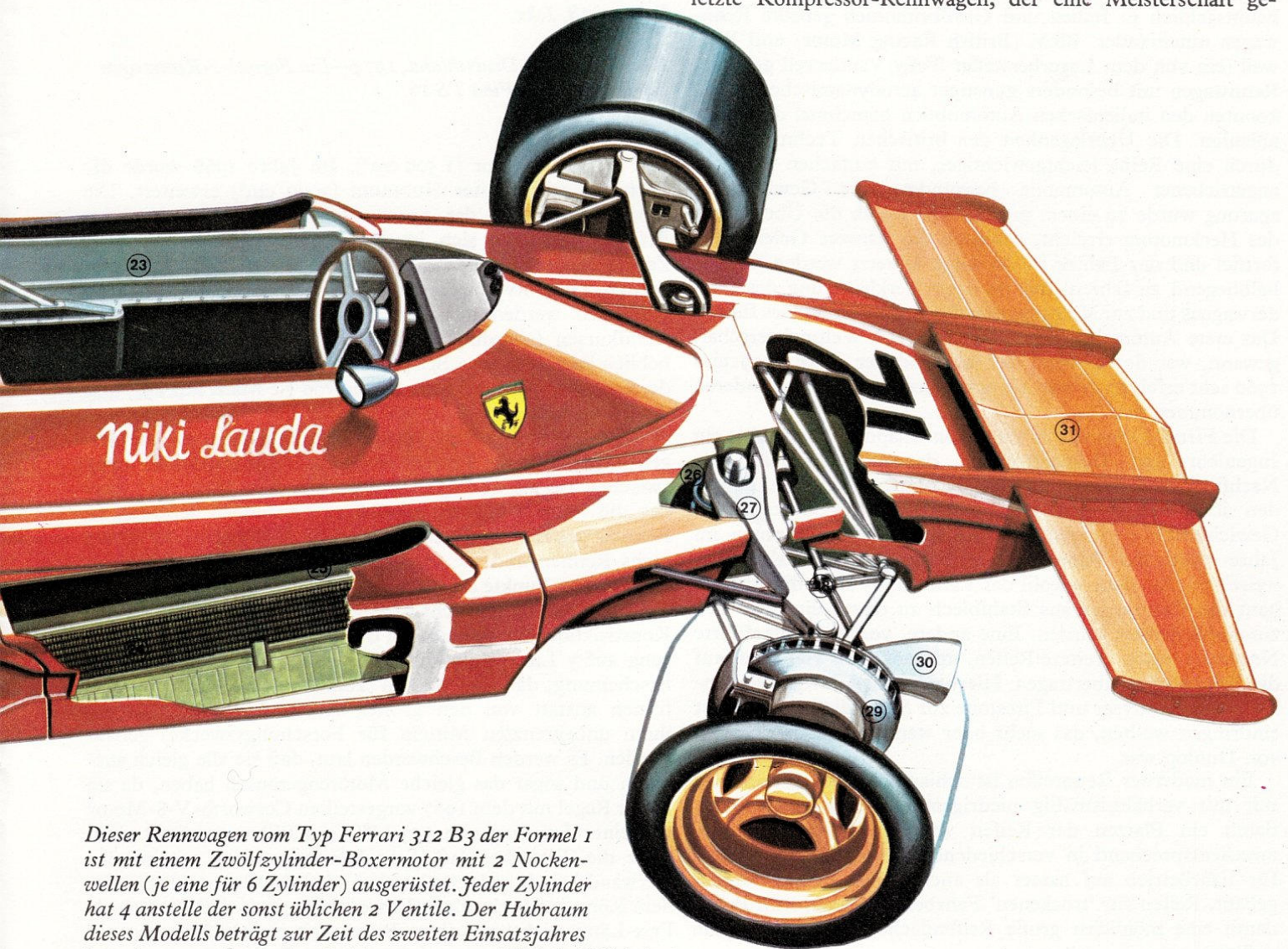


den. Eine Zeitlang wurde auf aus Holzplanken hergestellten Rennpisten gefahren. Der berühmteste amerikanische Rundkurs ist der Indianapolis Motor Speedway, eine 4 km lange, mit Sicherheitszonen versehene Aschenbahn mit 4 identischen Kurven, auf der von für diese Art Rennen konstruierten Rennwagen Geschwindigkeiten von 330 km/h erreicht wurden. Eine Zeitlang wurde das jährlich stattfindende 500 Meilen-Rennen auf der Rundstrecke von Indianapolis als Grand-Prix-Lauf durchgeführt, um den Automobil-Rennsport wirklich international zu machen. Dies trifft aber heute nicht mehr zu.

Aus Europa hatte Daimler-Benz (mit Mercedes) hin und wieder an Wettbewerben teilgenommen. Als Hitler im Jahre 1933 an die Macht kam, erkannte er das Ansehen, das sich durch Rennsieg ergab und unterstützte die Firma Daimler-Benz durch staatliche Förderungsmaßnahmen. Zur selben Zeit erhielt die Deutsche Auto-Union die Erlaubnis, einen eigenen Kraftwagen zu bauen. Daimler-Benz war aufgrund seiner außergewöhnlichen technischen Fähigkeiten in der Lage, einen leistungsstarken Rennwagen (400 PS) zu bauen, der durchaus im Rahmen der Vorschriften, die zu der damaligen Zeit das Gewicht der Rennwagen auf 750 kg beschränkten, lag. Die Schlacht zwischen dem von Daimler-Benz gebauten klassischen Rennwagen mit Frontmotor und der revolutionären Konstruktion der Auto-Union, die ihre

Rennwagen mit Heckmotor ausrüsteten, führte zu der 'Goldenen Zeit' des Rennens, die von 1934 bis 1939 dauerte. Trotz ihrer großen Kraft und ihrer schmalen Reifen waren diese Kraftwagen erstaunlich sicher.

Nach dem Zweiten Weltkrieg schlossen sich die Rennen veranstaltenden Nationen zusammen, um Regeln festzulegen und diesen Sport auf internationaler Ebene durchzuführen. Es hatte schon vorher Europameisterschaften gegeben, aber jetzt wurden die internationalen Rennen zu einer Rennfolge, die dazu führte, daß es eine Weltmeisterschaft für die Fahrer auf der Grundlage von Punktbewertungen gab. Der Italiener Giuseppe Farina wurde im Jahre 1950 der erste Weltmeister. Obgleich Versuche unternommen wurden, vollständig geschlossene Grand-Prix-Rennwagen zu bauen, verlangen die Bestimmungen jetzt einsitzige Rennwagen mit freiliegenden Rädern. Seit dem letzten Weltkrieg ist der Grand-Prix-Rennwagen als Rennwagen der Formel I bekannt. Zuerst wurden die Rennen mit Fahrzeugen bestritten, die aus der Vorkriegszeit stammten; Kompressoren waren ein allgemein übliches Attribut der Motoren. Jedoch haben die durch die Fédération Internationale de l'Automobile (FIA, die im Jahre 1904 gegründet wurde) aufgestellten Regeln, die den Hubraum von Motoren genau festlegen, Kompressoren, und damit die mit ihnen verbundenen Leistungsvorteile, verboten. Der letzte Kompressor-Rennwagen, der eine Meisterschaft ge-



Dieser Rennwagen vom Typ Ferrari 312 B3 der Formel I ist mit einem Zwölfzylinder-Boxermotor mit 2 Nockenwellen (je eine für 6 Zylinder) ausgerüstet. Jeder Zylinder hat 4 anstelle der sonst üblichen 2 Ventile. Der Hubraum dieses Modells beträgt zur Zeit des zweiten Einsatzjahres (1975) 2 911 cm<sup>3</sup> mit einer Leistung von 353,3 kW (480 PS) bei 12 000 U/min. Die Reifen sind profillos und nach innen verjüngt, so daß Aufhängung und Maschinenteile gut sichtbar sind. Kühlerbelüftung (25), Einfüllöffnung und Lufthutze (3, 20) sowie die Kühler (2, 24) sind so groß und freigelegt wie möglich, um optimale

Kühlung zu erreichen. Die Scheibenbremsen werden über Windhutzen gekühlt (5, 30). Die Spoiler sind sorgfältig entworfen, um trotz zunehmendem Luftwiderstand besonders in Kurven eine sichere Bodenlage zu erzielen.





MIKE CORNWALL

wann, war der italienische Alfetta (1951).

Daimler-Benz stellte mit dem Mercedes ein technisch außergewöhnlich fortgeschrittenes Automobil bereit, mit dem der argentinische Fahrer Juan Fangio zwei Jahre lang fast jedes Rennen gewann. Im Jahre 1955 zog sich Daimler-Benz aus dem Rennsport zurück. Nach dieser Zeit konkurrierten hauptsächlich in Italien und Großbritannien gebaute Rennwagen miteinander. BRM (British Racing Motor) und Vanwall (ein von dem Lagerhersteller Tony Vandervell gebauter Rennwagen mit besonders günstiger aerodynamischer Form) konnten den italienischen Automobilen manchmal den Rang ablaufen. Die Überlegenheit der britischen Technik wurde durch eine Reihe leichtgewichtiger, mit einfachen Motoren angetriebener Automobile begründet. Die Gewichtseinsparung wurde zu einem großen Teil durch die Übernahme des Heckmotors erreicht, wodurch die schwere Gelenkwelle fortfiel und der Fahrer in die Lage versetzt werden konnte, halbierend zu fahren, was zu einer Verkleinerung des Vorderwagens und zur Verringerung des Luftwiderstandes führte. Das erste Automobil dieser Art, das eine Weltmeisterschaft gewann, war der Cooper, der während der Jahre 1959 und 1960 sehr erfolgreich war, bis seine Konstruktion von anderen übernommen wurde.

Die Firma Lotus wurde von Colin Chapman gegründet, ein Ingenieur und Geschäftsmann, dessen Rennerfolge die Nachfrage nach seinen Sportwagen begründeten. Um die von den sich weiterhin ändernden Grand-Prix-Regeln verlangten Gewichtsverringerungen zu erreichen, führte Chapman im Jahre 1962 das Monocoque-Fahrgestell (Einschalen-Bauweise) ein, bei dem sowohl der Rahmen als auch die Außenhaut des Fahrzeuges aus Stahlblech zu einem einzigen Teil zusammengebaut wurden. Eine andere, von ihm eingeführte Neuerung waren breitere Reifen, um möglichst viel Kraft auf die Fahrbahn zu übertragen. Hierbei standen ihm die Reifenhersteller Goodyear und Firestone zur Seite, die in ein Gebiet eindringen wollten, das mehr oder weniger Monopolbereich von Dunlop war.

Ein moderner Rennreifen ist schlauchlos, leicht und wird mit nur verhältnismäßig niedrigem Reifendruck gefahren, damit ein Platzen der Reifen vermieden wird. Er wird zweckentsprechend in verschiedenen Abwandlungen sowohl für Fahrbetrieb auf nasser als auch auf trockener Strecke gebaut. Reifen für 'trockenen' Fahrbetrieb haben kein Profil, damit eine möglichst große Reifenfläche auf der Fahrbahn aufliegt.

Der japanische Kraftfahrzeughersteller Honda baute mit großem technischem Aufwand einen Kraftwagen mit Zwölfzylinder-Motor, der im Jahre 1965 den Grand Prix von Mexiko gewann. Das war der letzte Rennwagen der Formel I

**Oben:** Crusader Trophy-Rennen in London (1970) nach dem Start. Diese Formel-Ford-Rennwagen sind schmalreifige Spezialkonstruktionen ohne aerodynamische Hilfsmittel.

**Rechts oben:** Ein Porsche 935 in der Box vor Beginn des 6-Stunden-Rennens in Silverstone, England, im Jahre 1978. Der Fahrer ist J. Ickx.

**Rechts unten:** Deutschland, 1974—Ein Formel-1-Rennwagen des Typs Surtees Fina TS 16.

mit 1,5-Liter-Motor (1 500 cm<sup>3</sup>). Im Jahre 1966 wurde die Formel I auf 3 Liter Hubraum (3000 cm<sup>3</sup>) erweitert. Die Japaner hatten in der neuen Hubraumklasse noch einige Erfolge, bevor sie sich im Jahre 1968 zurückzogen. (Die Zahlen stellen das von den Kolben in den Zylindern verdrängte Gesamtvolumen dar.)

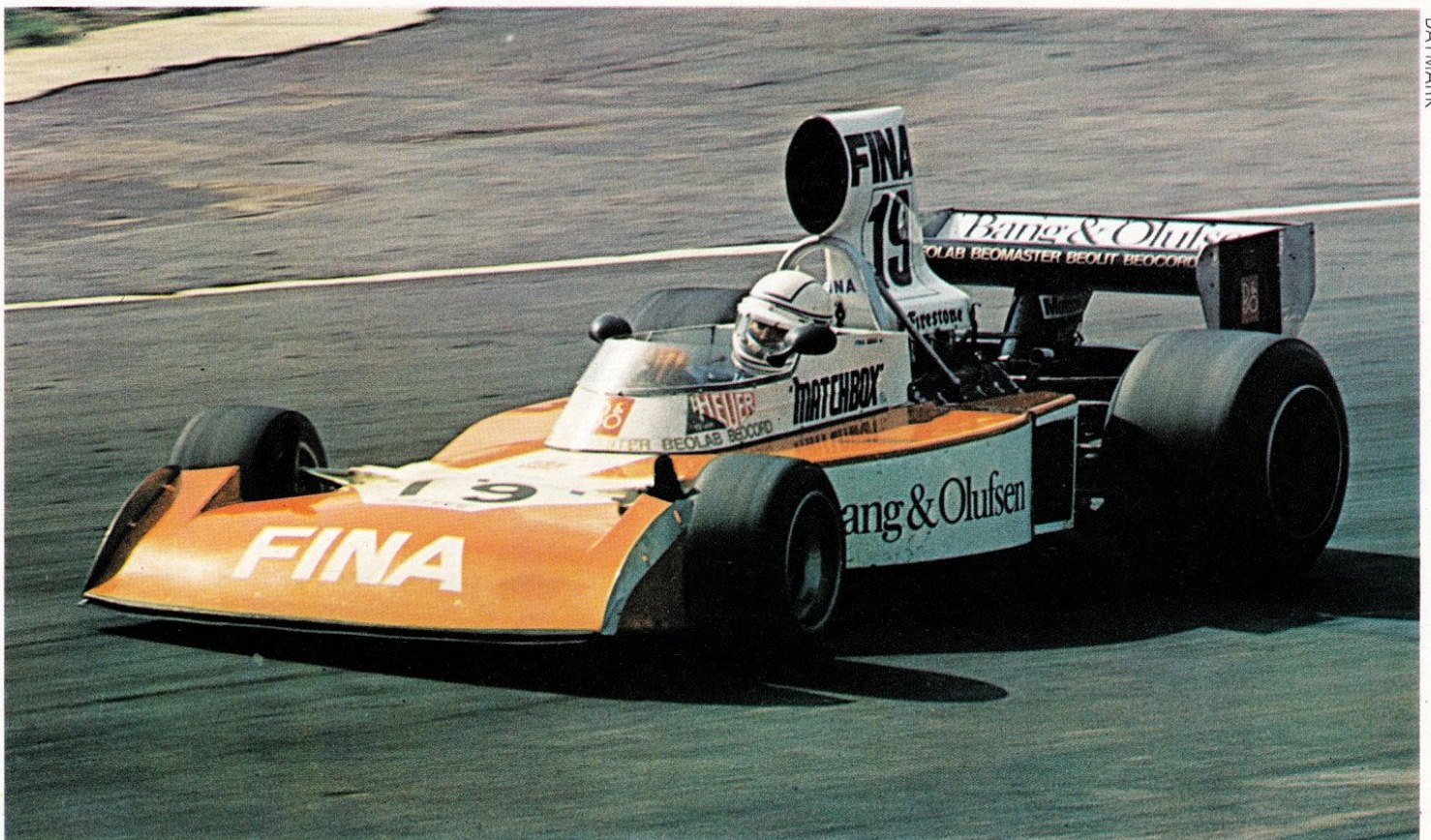
Rennen werden auf fünf oder sechs Kilometer langen Rundkursen (allerdings sind auch einige Rennstrecken erheblich länger, so zum Beispiel der Nürburgring mit 22,8 km, der Circuit Permanent de la Sarthe von Le Mans mit 13,5 km, der TT-Rundkurs auf der Isle of Man mit 60 km Länge und Spa/Belgien besitzt eine 14 km lange Rundstrecke) zurückgelegt, wobei die im Rennen zu fahrende Gesamtstrecke meist zwischen 250 km und 650 km liegt. Seit dem Jahre 1967 werden die von den Fahrern erbrachten Leistungen bei 9 von 11 Rennen punktemäßig erfasst, wobei die fünf Besten der ersten sechs Rennen und die vier Besten der letzten fünf Rennen einer Saison Punkte erhalten.

In technischer Hinsicht ist eine gewisse Stagnation bei der Konstruktion von Rennwagen der Formel I seit der Erweiterung auf 3 Liter Hubraum festzustellen. So kam es zu der Erscheinung, daß die 'Katzen' zumeist von kleinen Spezialfirmen anstatt von den großen Automobilherstellern (mit ihren unbegrenzten Mitteln für Forschungszwecke) gebaut werden. Es werden Beschwerden laut, daß sie alle gleich aussehen und sogar das gleiche Motorengeräusch haben, da sie in der Regel mit dem 1967 vorgestellten Cosworth-V-8-Motor mit einer Leistung von 353 kW (480 PS) ausgerüstet sind. Aber die Tatsache, daß diese Rennwagen eng miteinander 'verwandt' sind, bedeutet letztlich, daß das Rennergebnis von dem Können der einzelnen Fahrer abhängt, so daß die Grand-Prix-Läufe nichts von ihrer Beliebtheit eingebüßt haben.

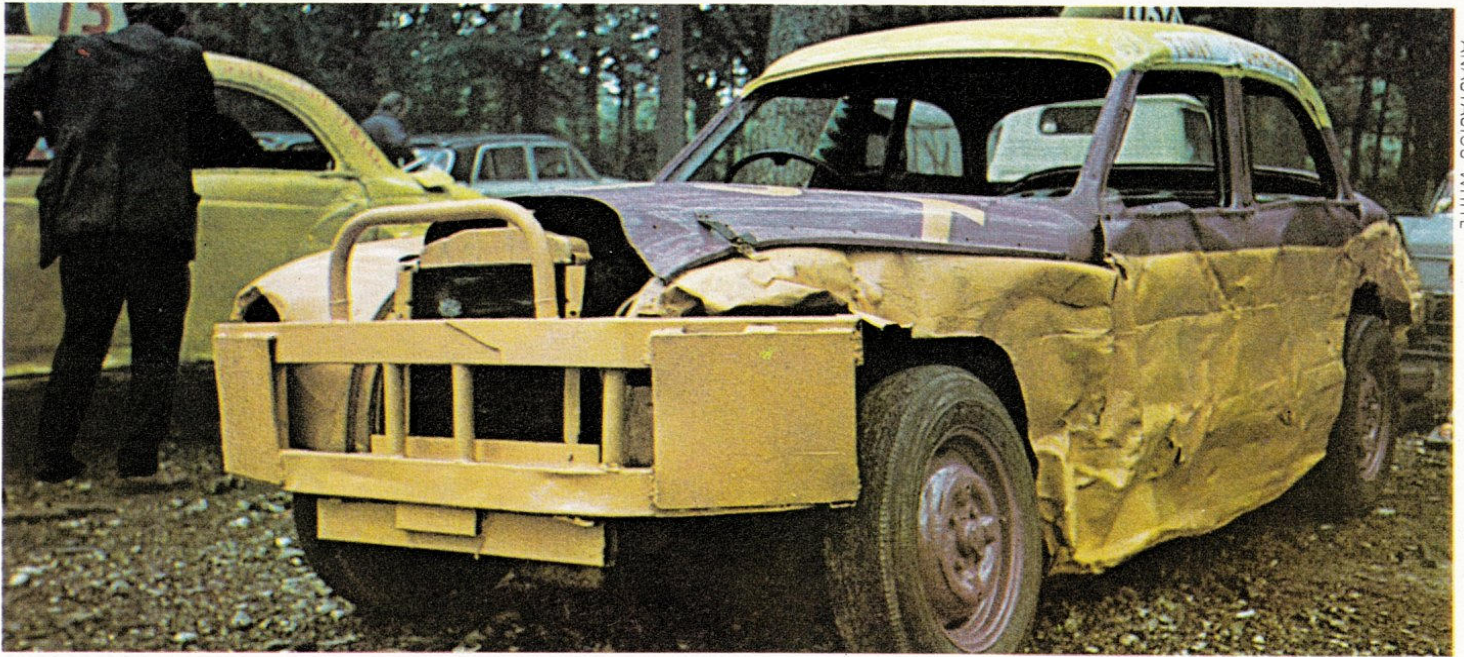
## Spoiler

Einen ungeheuren Aufschwung erlebte der Rennsport dadurch, daß nach dem letzten Weltkrieg tragflächenähnliche Vorrichtungen zur Verbesserung der Bodenhaftung der









ANASTASIOS WHITE

Fahrzeuge auf der Rennstrecke eingeführt wurden. Seit den ersten Flugversuchen weiß man bereits, daß negativ gestellte Tragflächen (Spoiler) eine dem Auftrieb entgegengesetzte Kraft bewirken können. Das erste Automobil, bei dem dieser Gedanke in die Tat umgesetzt wurde, war ein Ferrari aus dem Jahre 1969. Man fand heraus, daß der günstigste Platz für Tragflügel unmittelbar auf der Hinterradführung lag, was zur Anbringung von sonnenschirmähnlichen Spoilern hoch über dem Fahrzeug führte. Eine Serie von Bremsversuchen führte zu umgehenden Berichtigungen, und seit 1969 ist die Größe und Anbaulage von Spoilern strengen Bestimmungen unterworfen. Ein guter Fahrer muß unter Abwägung der Vor- und Nachteile einer verbesserten Kurvenfestigkeit und der Fahrtwind-Auswirkungen auf Geraden selbst entscheiden, wo und wie die Spoiler am besten angebracht werden.

### Andere Formeln

Nach dem Zweiten Weltkrieg begann gleichzeitig mit der Entwicklung des internationalen Charakters der Grand-Prix-Rennen die zunächst bruchstückhafte Entwicklung der Rennformeln. In den vierziger Jahren wurde bei den Midget-Rennen in den USA der Radstand teilnehmender Rennwagen auf 167 cm bis 193 cm begrenzt. In England wurden winzige Rennwagen mit 500 cm<sup>3</sup> — Motorradmotoren wegen ihrer niedrigen Kosten und den spannenden Rennen, die sie ermöglichten, beliebt. Die neuen Formeln sind zur Trainingsgrundlage für Nachwuchsfahrer geworden.

Im Jahre 1958 bewarben sich die Italiener darum, daß ihre nationale 'Formel Junior' international anerkannt wird. Erfindungsreiche britische Hersteller wie Lotus, Cooper (der viele der vorstehend erwähnten englischen 500 cm<sup>3</sup>-Motoren baute) und Brabham überstrahlten nicht nur die italienischen Fahrzeuge, sondern bewirkten bei der Formel 3 (wie sie seit 1965 genannt wird) eine solche Kostensteigerung, daß ein vollständig ausgerüsteter Rennwagen der Formel 3 für viele Nachwuchsfahrer unerschwinglich ist.

Demzufolge hat sich eine ganze Reihe nationaler, zur Förderung des Nachwuchses bestimmter Formeln für einsitzige Rennwagen ergeben. Die erste dieser Art war die im Jahre 1961 in Kraft getretene Formel V. Rennwagen der Formel V werden von einem getunten Motor des Volkswagens 1300, Typ 1 (Käfer) angetrieben und besitzen überdies viele andere Serienteile und Baugruppen des Volkswagens, wie zum Beispiel die Kupplung, das Getriebe, die Achsen, die Räder, die Bremsanlage und haben sich für die Ausbildung der Nachwuchsfahrer in Deutschland und in den USA sowie in Brasilien als nützlich erwiesen. Weltmeister Emerson

**Oben:** Serienwagen, bei dem Glasteile, Radkappen und andere unwesentliche Teile entfernt wurden. Man beachte die geschweißte Stoßstange zum Schutz des Kühlers.

Fittipaldi bestritt mit der Formel V zwei Rennen, ehe er nach Europa kam.

Vom Motor her stärkere neue Formel-Rennwagen sind die in Großbritannien vertretenen Fahrzeuge der Formel Ford und Frankreichs Formel Renault. Wesentliches Merkmal beider Fahrzeuggruppen ist ein Gitterrohr-Fahrgestell mit einem mäßig getunten Vierzylinder-Fordmotor oder mit einem obengesteuerten Renault-Motor (mit Ventilstößeln, Stößelstangen und Kipphebeln). Weiterhin werden schmale Reifen, wie sie im normalen Straßenverkehr benutzt werden, verlangt. Aerodynamische Hilfsmittel sind verboten. Die Formel Ford erfreut sich in Großbritannien, Skandinavien und Österreich großer Beliebtheit und ist auch in die USA, nach Australien und in einige Teile Lateinamerikas 'exportiert' worden. Fahrzeuge der Formel Renault sind etwas schneller und in Frankreich, Belgien und Westdeutschland beliebt. Diese Formel wird von französischen Sponsoren unterstützt. Der erfolgreiche Renault-Fahrer hat die Garantie, in seiner Fahrerlaufbahn gefördert zu werden.

Zur Nachwuchsförderung sind diese Formeln ideal, da sie nach außen hin dem Grand-Prix-Rennwagen entsprechen und nur ein Minimum an Karosserieteilen besitzen, die beschädigt werden können. Zum Beispiel besitzt ein Rennwagen der Formel Ford ein Getriebe mit leicht abgeänderten Übersetzungsverhältnissen, wie es auch bei einigen Grand-Prix-Rennwagen der Fall ist.

Als vorläufiger Schritt, der über die vorstehenden, zur Förderung des Nachwuchses bestimmten Formeln hinausgeht, sind neue Formeln geschaffen worden. Die Formel Super-V, die Formel Super-Renault und die Formel Ford 2000 sind einige von ihnen. Einem Nachwuchsfahrer fällt die Entscheidung, welcher Klasse er den Vorzug geben soll, immer schwerer. Die beiden nächsten kapitalzehrenden Klassen, die der Nachwuchsfahrer anstrebt, sind: Die Formel 5000 mit einem stark getunten amerikanischen 5000 cm<sup>3</sup> V-8-Motor und Formel 2, bei der das beliebteste Triebwerk der Vierzylinder-Motor von BMW ist. Die Formel 5000 mit 368 kW (500 PS) kann schneller als ein Grand-Prix-Rennwagen fahren; in der Regel hebt ihr größeres Gewicht den Unterschied wieder auf. Ein Rennwagen der Formel 2 mit 221 kW (300 PS) ist wendiger als die Formel-V- und die Formel-5000-Rennwagen.







# Erfindungen 40: ARABISCHE ZAHLZEICHEN

Die Ägypter entwarfen für die Darstellung von Zahlen eine Art Dezimalsystem. Eine Einheit wurde als senkrechter Strich dargestellt, wobei also vier Striche vier Einheiten entsprachen. Zur Darstellung von zehn Einheiten wurde ein neues Zeichen in Form des umgekehrten Buchstabens U gebildet. Andere Symbole bedeuteten hundert, tausend, zehntausend Einheiten usw. Um z.B. die Zahl 98 zu schreiben, machten die Ägypter acht Striche und neunmal das Buchstabensymbol für zehn Einheiten.

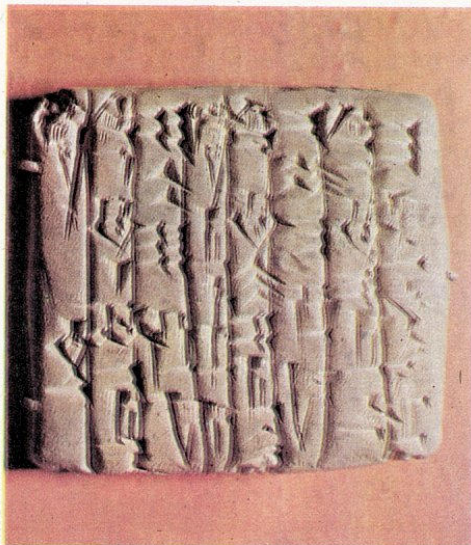
## Griechische und römische Bilderzahlschrift

Die Römer verbesserten das ägyptische System auf zweierlei Weise. Einmal führten sie die Fünferbündelung

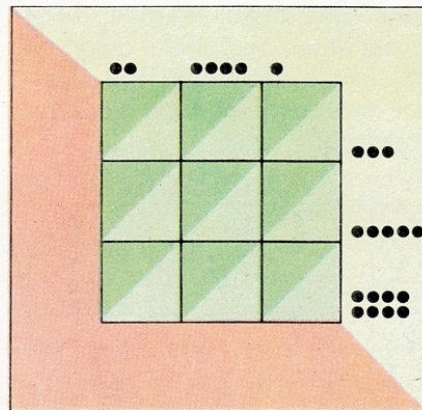
ein, d.h. sie ersannen neue Zeichen für 5, 50, 500. Zum anderen konnte der Zahlenwert durch Anordnung des Zahlzeichens, dem der kleinere Zahlenwert zugeordnet war, indem es vor oder hinter das Zahlzeichen mit dem größeren Zahlenwert gesetzt wurde, verändert werden. Hierdurch ließ sich mit einem Blick feststellen, ob der kleinere Zahlenwert zu dem größeren Zahlenwert addiert oder von ihm subtrahiert werden sollte. Das Symbol L bedeutet 50 und X entspricht 10. XL entspricht also dem Zahlenwert 40 ( $50 - 10$ ) und LX=60 ( $50 + 10$ ). Zur gleichen Zeit entwickelten die Griechen eine Zahlschrift, in der die Einer Striche sind und die Zahlen 10, 100, 1000 usw. durch die Buchstaben des griechischen Alphabets ( $\Delta$ , H, X) gebildet werden. Auch die Griechen kannten die Fünferbündelung.

## Rechnen mit einem Abakus

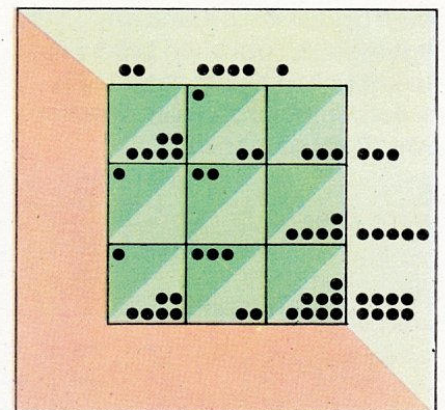
Mit diesen Bilderzahlschriften konnten höchstens Additionen ausgeführt werden, nicht jedoch die Multiplikation zweier oder mehrerer Zahlen. Dies wurde erst durch das Benutzen von Rechentafeln möglich. Die Griechen nannten den Rechenstisch 'abákion', abgeleitet von 'ábax', etwa 'fußloses Brett', die Römer 'abacus'. Er wurde später zu einem Handabakus umgestaltet und sah ähnlich aus wie der Abakus, mit dem die Japaner noch heute rechnen. Es ist unbekannt, wie mit dem Rechenstisch gerechnet wurde. Man kann nur Rückschlüsse aus der Rechenweise mit mittelalterlichen Rechenbrettern ziehen, auf denen senkrechte, waagerechte und unter  $45^\circ$  verlaufende Linien eingezeichnet waren. Die zu multiplizierenden Zahlen wurden oberhalb und seitlich des



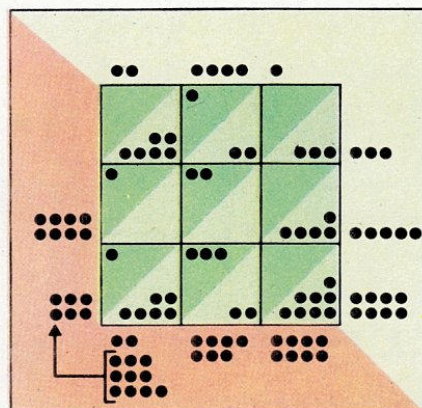
**Oben:** Auf dieser keilförmigen Tafel aus Mesopotamien sind Zahlzeichen in die Spalten des Tons eingekerbt; sie sind kleiner als die anderen auf der Tafel befindlichen Zeichen.



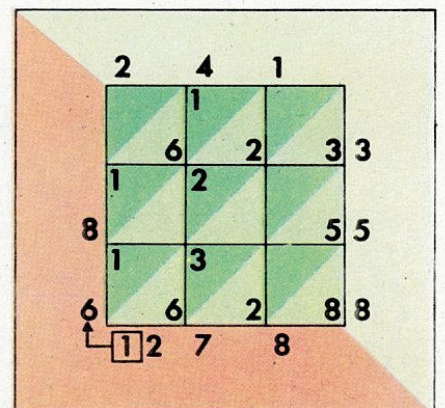
**Oben (Bild 1):** Ausgangsposition der Multiplikation  $241 \times 358$  auf einem Rechenbrett (siehe Text).



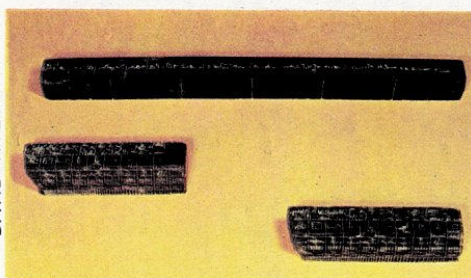
**Oben (Bild 2):** Die Zahlenwerte werden multipliziert und die Summen im jeweiligen Quadrat 'abgelegt'.



**Oben (Bild 3):** Schließlich werden die 'Steinchen' der einzelnen Diagonalfelder addiert.



**Oben (Bild 4):** Die gleiche Multiplikation zur Veranschaulichung in arabischen Zahlzeichen.



**Oben:** Fragmente ägyptischer 'Meßlatten' aus dem 16. Jh. v. Chr. Zahlzeichen sind klar zu erkennen.





**Oben:** Eine römische Inschrift, die Zahlzeichen enthält. Man beachte die Schreibweise XVIII für die Zahl 19, die später vereinfacht als XIX geschrieben wurde.

**Unten:** Die Entwicklung der Zahlzeichen von der Zeit der hieratischen Zahlzeichen, einer handschriftlichen Form der Hieroglyphen, bis zu den heute angewandten Zeichen. Die ersten beiden Zeilen sind, im Gegensatz zur üblichen Leseweise, von links nach rechts dargestellt, um den vergleichweisen Lesevorgang zu vereinfachen.

Brettes durch 'Steinchen' gekennzeichnet. Jede Stelle einer Zahl gehörte zu einer Spalte bzw. einer Zeile auf dem Rechenbrett. Jede Stelle der einen Zahl wurde dann mit jeder Stelle der anderen Zahl multipliziert. Die Ergebnisse der einzelnen Multiplikationen wurden unterhalb der schrägen Linie eines Kästchens durch Steinchen gekennzeichnet. Die einzelnen Steinchen wurden dann von rechts unten beginnend diagonal addiert. Eventuelle Überträge wurden bei der nachfolgenden Addition berücksichtigt.

### Zahlzeichen der Hindus

Um 500 n. Chr. hatte die Astronomie einen Punkt erreicht, wo komplexe mathematische Berechnungen erforderlich wurden. Sie wurden speziell in den Städten des Pandschab (Vorderindien), gepflegt. Kurz nach 500 n. Chr. beschloß der Astronom Aryabhata, sich von den Steinchen des Abakus zu lösen und die Ziffern 1 bis 9 durch Symbole zu ersetzen. Außerdem führte er eine Stellenschrift ein. Das Zeichen '3' konnte, in der ersten Stelle geschrieben, 3 Einheiten bedeuten, in der zweiten Stelle 30 Einheiten und in der dritten Stelle 300 Einheiten. Er führte also eine Stellenschreibweise ein, die heute jedem Grundschüler vertraut ist. Ein weiterer wichtiger Schritt war die Einführung der heutigen Ziffer Null.

### Arabische Zahlzeichen

Die Araber brachten im Jahre 771 n. Chr. indische Gelehrte nach Bagdad, um die neue Mathematik zu lehren. Die indischen Symbole wurden von den Arabern übernommen. Bald lernten auch Handelsreisende diese neuen Zahlzeichen kennen. In Europa führte sich die arabische Schreibweise der Zahlen nur langsam ein. Einige Gelehrte Europas kannten die Zahlzeichen schon vor 1200 n. Chr. Allgemein eingeführt wurden sie jedoch erst durch Leonardo Fibonacci von Pisa (1170 bis 1240).

HIERATISCH	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
HEBRÄISCH	א	ב	ג	ד	ה	ו	ז	ח	ט	י	יא	יב	יג	יד	טו	טז	יז	יח	יט
GRIECHISCH	A	B	Γ	Δ	E	F	Z	H	Θ	I	ΙΑ	ΙϞ	K	KA	P	PK	PF	PI	PKF
RÖMISCH	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
HINDISCH	१	२	३	४	५	६	७	८	९	०	१०	११	१२	१३	१४	१५	१६	१७	१८
ARABISCH/MODERN	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	٠	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨
EUROPÄISCH/MITTELALTER	I	II	III	IIII	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
HEUTIGE ZAHLZEICHEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18