

HEFT 67 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

<b>Wettervorhersage</b>	<b>1849</b>
<b>Widerstand</b>	<b>1855</b>
<b>Winde und Kurbel</b>	<b>1859</b>
<b>Windkanal</b>	<b>1860</b>
<b>Windmühle und Windpumpe</b>	<b>1865</b>
<b>Wortverarbeitende Systeme</b>	<b>1870</b>
<b>Xerografie</b>	<b>1874</b>

### 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.

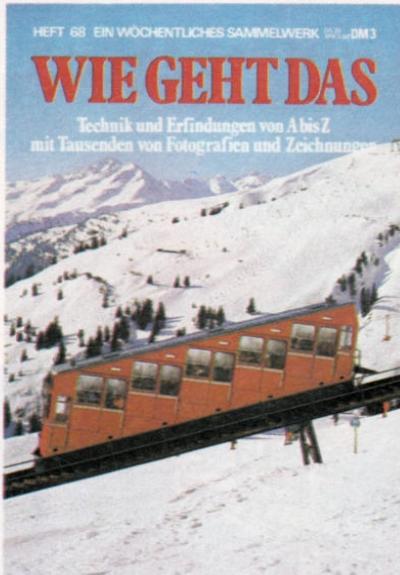
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr. 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

**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.

## In Heft 68 von Wie Geht Das



In gebirgigen Gegenden, die für normale Züge zu steil sind, werden Zahnradbahnen benutzt. Im nächsten Heft von Wie Geht Das können Sie nachlesen, wie dieser auf einem einfachen Prinzip basierende, in der Praxis jedoch sehr komplizierte Mechanismus funktioniert.

Moderne Computer führen ihre Berechnungen mit sehr hoher Geschwindigkeit aus. Das bedeutet, daß die Maschinen zum Ausdrucken der Computerdaten ebenfalls äußerst schnell arbeiten müssen. In Heft 68 von Wie Geht Das beschreiben wir, wie diese sogenannten 'Zeilendrucker' ihre Aufgabe bewältigen.

### 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, bestellen Sie den Händler gern für Sie die Sammelordner.

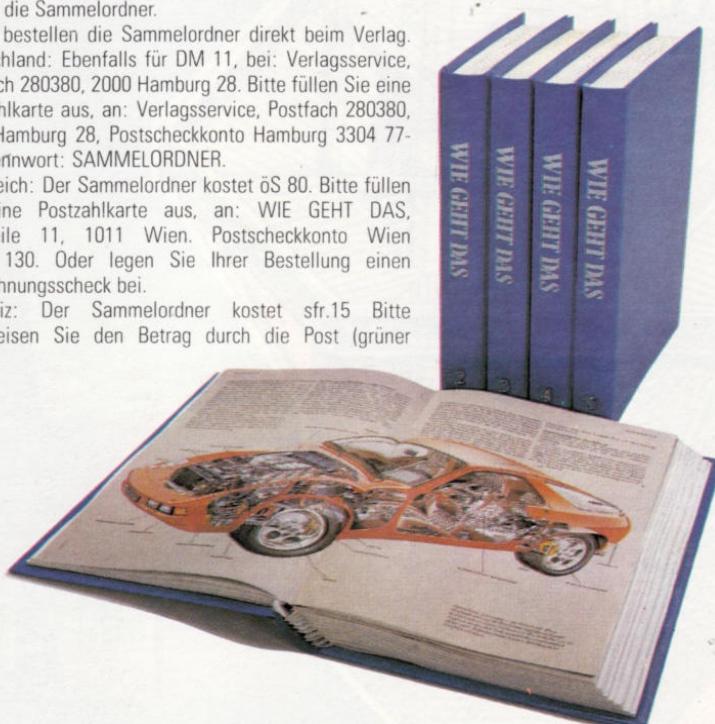
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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 bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

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

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

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



## WETTERVORHERSAGE

**Früher waren die Menschen an einer Vorhersage des Wetters interessiert, weil Ernte und Viehbestand weitgehend vom Wetter abhängig waren. Außerdem waren Vorhersagen wichtig für die Schiffahrt und später für den Flugverkehr. Heute hören sich die meisten Leute den Wetterbericht vornehmlich deshalb an, weil sie wissen wollen, wie das Wetter in den Ferien und am Wochenende sein wird.**

Seit Urzeiten haben die Menschen versucht, das Wetter vorherzusagen, doch nur wenige der alten Bauernregeln waren dabei erfolgreich. Die wissenschaftliche Erforschung des Wetters ist noch relativ jung, und erst seitdem der elektrische Telegraph die Nachrichtentechnik revolutionierte, sind ernsthafte Wettervorhersagen möglich, da die an verschiedenen Orten gemachten Wetterbeobachtungen an eine Zentralstelle übertragen werden können.

Einen großen Fortschritt bei der Wetteranalyse brachte die Einführung des Computers. Schon um 1920 wurde vorgeschlagen, mathematische Methoden zur Wettervorhersage zu entwickeln; man fand jedoch, daß zu einer Vorhersage in Echtzeit (d.h. mit kontinuierlicher Anpassung an die momentane Wetterlage) ein Stab von etwa 64 000 Personen gebraucht würde. Heute haben die führenden meteorologischen Dienste in der Welt Hochgeschwindigkeitsrechner, die Wetterkarten in Echtzeit erstellen und deren Eingabedaten kontinuierlich auf den neuesten Stand bringen, sobald sich die Wetterlage ändert.

### Kurzzeit-Vorhersage

Eine Beobachtungsstation, die den Wolkenzug aufzeichnet und auf einem Radarschirm Schauer verfolgt, kann für einen bestimmten Ort die Wetterentwicklung für die nächsten ein, zwei, bis maximal sechs Stunden zuverlässig vorhersagen. Für längerfristige Vorhersagen muß man das Wetter eines größeren Gebietes kennen: Für eine vierundzwanzigstündige Vorhersage einen Umkreis von 5 000 km und für längerfristige Vorhersagen die gesamte Hemisphäre.

Durch die Zirkulation der Atmosphäre ist die Wetterentwicklung in einem Teil der Hemisphäre mit den Veränderungen in anderen Teilen verknüpft. Dabei wird die Wetterlage nicht allein durch Windströmungen verschoben, so daß für die Wettervorhersage auch dann ein Bild der Situation der gesamten Hemisphäre nötig ist, wenn sich im betrachteten Gebiet die Wetterlage nur unbedeutend geändert hat.

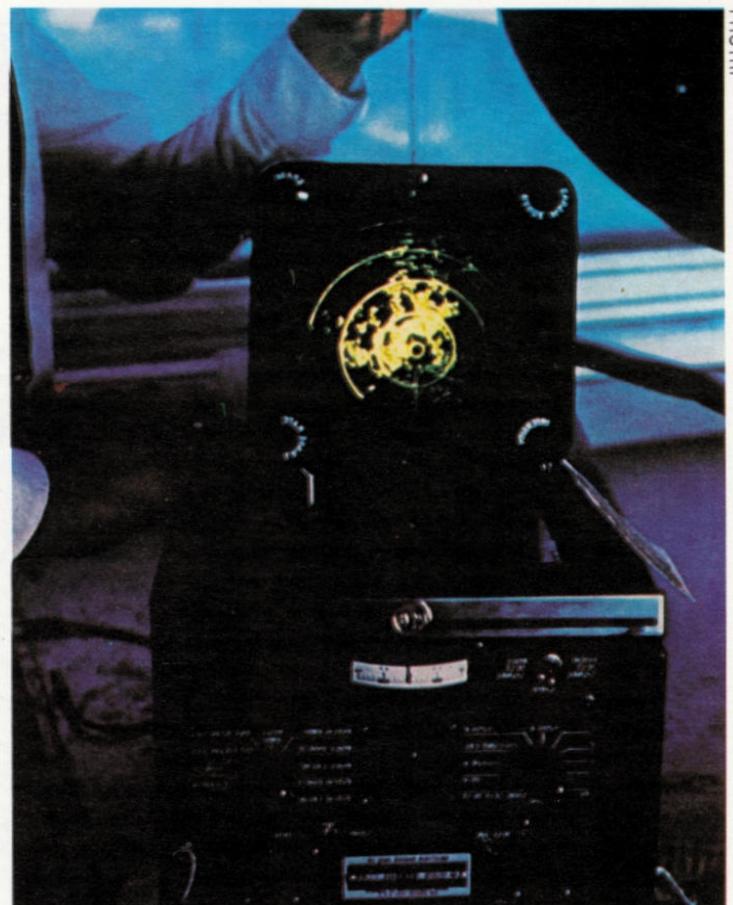
Die 'World Meteorological Organisation' (WMO), eine Unterorganisation der Vereinten Nationen (UN), organisiert einen weltweiten Austausch meteorologischer Daten; es werden alle zwölf Stunden Informationen über die gesamte Hemisphäre, alle sechs Stunden für die halbe Hemisphäre und alle drei Stunden — oder auch in kürzeren Abständen — über kleinere Regionen ausgetauscht. Diese Beobachtungsdaten (siehe METEOROLOGIE) werden in den einzelnen Ländern gesammelt und sind so codiert, daß eine Zeile von sieben oder acht Gruppen mit jeweils fünf Zeichen alle notwendigen Informationen über die Wetterlage an einem Ort enthält. Dieser zu festen Zeiten stattfindende Datenaustausch ist selbst für die ganze Hemisphäre in etwa einer Stunde beendet. Somit kann ein Meteorologe in jedem beliebigen Land innerhalb von zwei Stunden nach der Beobachtung eine komplette Analyse der Wetterlage erstellen. In den nationalen Wetterämtern werden diese Daten von Computern auf ihre Qualität und Folgerichtigkeit geprüft; anschließend dienen sie als Ausgangswerte für eine neue Berechnung der Wettervorhersage. Daneben werden die von Radiosonden (an Fessel-

ballons in die Atmosphäre entsandte Meßinstrumente) registrierten Werte der Windstärke, Temperatur und Luftfeuchtigkeit laufend rund um die Erde ausgetauscht.

Grundlage der traditionellen Wettervorhersage sind die Wetterkarten, vorauf die Wetterlage durch Isobaren (Linien gleichen Drucks) und Wetterfronten (Grenzlinien zwischen verschiedenen Luftmassen) angegeben wird. Diese Wetterkarten werden synoptische Karten genannt, da sie den Atmosphärenzustand zu einer bestimmten Zeit angeben. Zeichnet man in festen Zeitintervallen solche Karten für Meereshöhe und höhere Lagen bis zu etwa 15 000 m, so gibt dies den Meteorologen ein gutes dreidimensionales Bild des Atmosphärendrucks, der Windströmungen und der Wetterentwicklung.

Diese Karten sind auch der Ausgangspunkt für vielfältige mathematische Berechnungen, die den empirisch gefundenen Regeln folgen und dem Meteorologen anzeigen, wo Änderungen der Wetterlage wahrscheinlich sind, wo also zum Beispiel ein Tiefdruckgebiet entsteht oder aufgefüllt wird oder auch wohin sich Hoch- und Tiefdruckgebiete verlagern. Im Laufe der Jahre haben die Wetterforscher große Erfahrung in der Auswertung dieser Karten und verwandter empirischer Hilfsmittel zur Wettervorhersage gewonnen. Zur Zeit werden diese Fertigkeiten durch den Einsatz numerischer Verfahren ergänzt und teilweise verbessert. Dazu werden die aus physikalischen Überlegungen gefundenen mathematischen Gleichungen, die das Verhalten der Atmosphäre beschreiben, mit den neuesten Daten in Echtzeit gelöst.

*Radar liefert eine gute Kurzzeitvorhersage von Regenschauern. Ein Schauer dauert meistens nicht länger als dreißig Minuten, wonach sich ein neuer Schauer entwickeln kann. Durch Radar werden diese kurzlebigen Wetterphänomene aufgezeigt. Damit kann eine regionale Wettervorhersage für die nächsten Stunden gegeben werden.*



PHOTRI

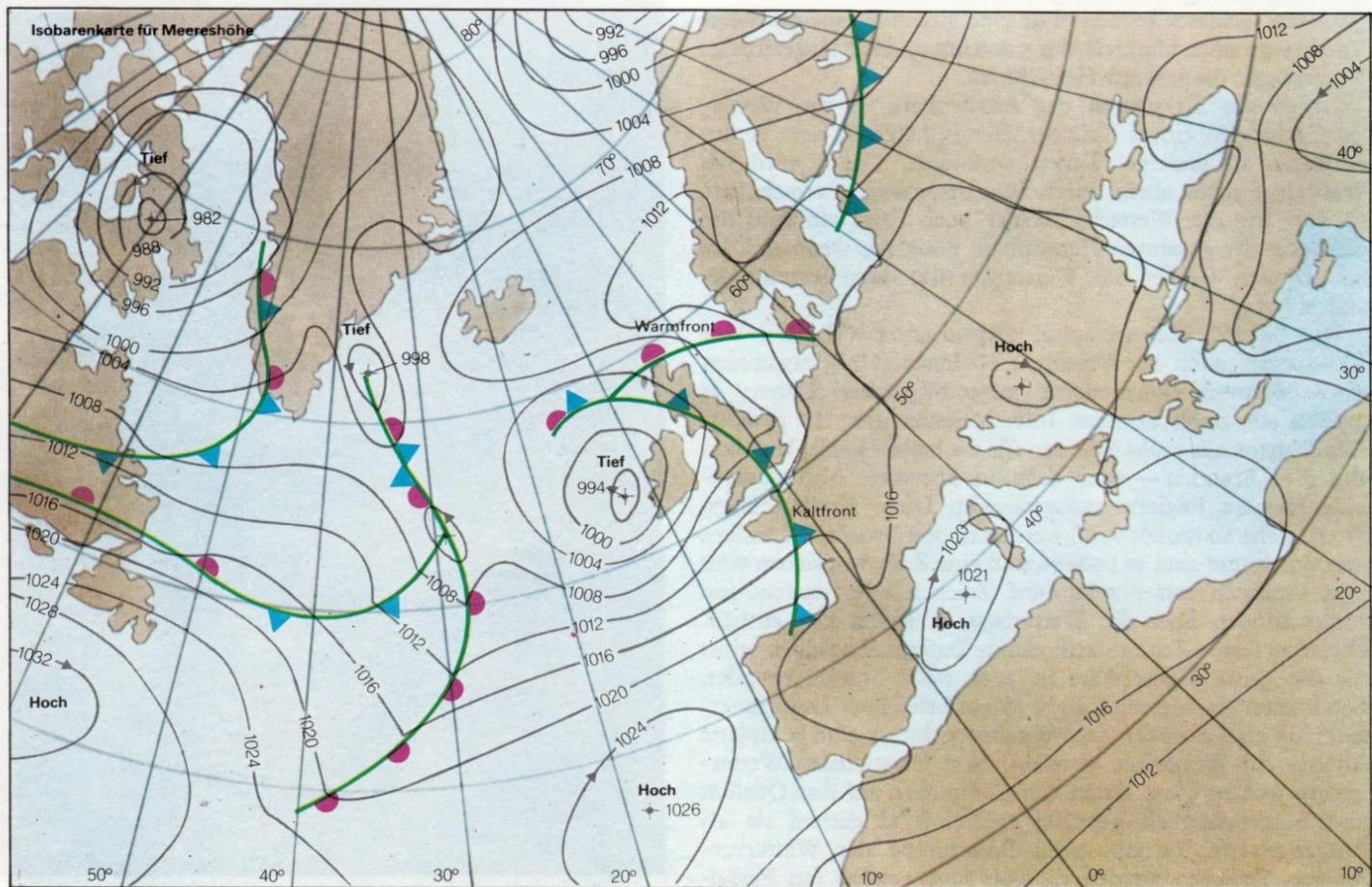
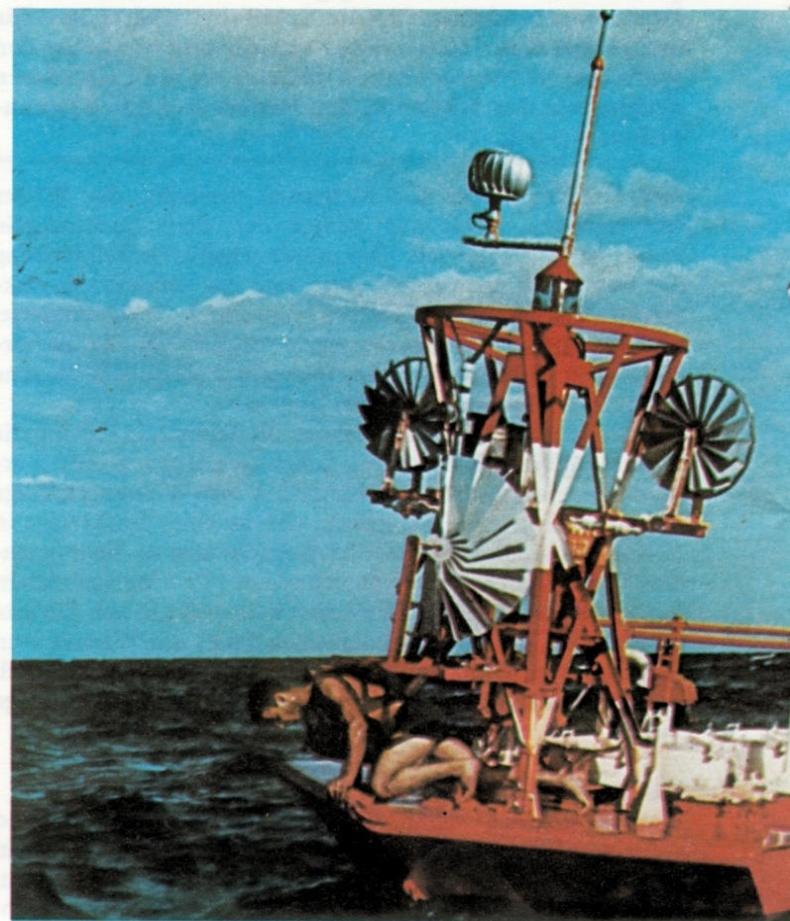
## **Mathematische Beschreibung**

Die wichtigsten Beziehungen sind die Bewegungsgleichung (in deren einfachster Form der Wind durch Druckunterschiede und die aus der Erddrehung entstehende Corioliskraft beschrieben wird), eine Gleichung, die die Erhaltung des Drehimpulses widerspiegelt, und die hydrostatische Grundgleichung, die den Druck als Funktion der Höhe und der Dichte angibt. Wegen der Komplexität des Vorhersageproblems und um die Gleichungen lösbar zu machen, müssen einige vereinfachende Annahmen eingeführt werden. In die Berechnung wird meist zumindest eine weitere Gleichung eingeschlossen, die Wirbelbildungen in der Atmosphäre berücksichtigt. Spezielle Kombinationen dieser Gleichungen werden Vorhersagemodell genannt. Die Computerausgabe hat meist Kartenform, worin die Lagen der verschiedenen Druckniveaus in der Atmosphäre angegeben sind. Als Druckniveaus werden 700 Millibar (entspricht etwa 3 000 m Höhe), 500 Millibar (entspricht etwa 5 500 m Höhe), 300 Millibar (entspricht etwa 9 000 m Höhe) und 200 Millibar (entspricht etwa 12 000 m Höhe) gewählt. Die Isohypsen-Linien geben den Höhenunterschied in Abständen von 60 m an; die Liniendicke ist eng mit der Windstärke verbunden.

Da die Vorhersage aktuell, d.h. die Berechnungszeit möglichst kurz sein soll, kann selbst mit dem ausgefeiltesten Modell nur eine allgemeine Trendvorhersage erstellt werden. Diese gibt jedoch gute Hinweise auf die erwartete Druckverteilung und damit auf die Windströmungen in der Atmosphäre. Für Vorhersagen der Windverhältnisse, nach denen zum Beispiel Flugrouten geplant werden, ist dies ausreichend. Das neueste britische 'ten-level'-Modell kann auch vorhersagen, in welchen Gebieten Regen wahrscheinlich ist. Die Details jedoch, also Bewölkung, Schauer, Sichtweite, Nebel, Frost u.ä., können damit nicht vorhergesagt werden.

Zur Wettervorhersage wertet in den nationalen Wetterämtern jeweils der diensthabende Chefmeteorologe mit einem Team von Kollegen alle erreichbaren Informationsquellen

einschließlich der synoptischen Karten, der numerischen Vorhersagen, der Satellitenbilder und der Radaraufzeichnungen aus und kennzeichnet alles, was für seine Vorhersage bedeutend ist. Daraus werden die Wettervorhersagekarten für



**Unten:** Informationen über die Wetterlage werden aus vielen Quellen bezogen, z.B. von bemannten und unbemannten Stationen auf dem Land und zur See (hier im Bild). Diese Daten werden zu einem Bild der Wetterlage verarbeitet.



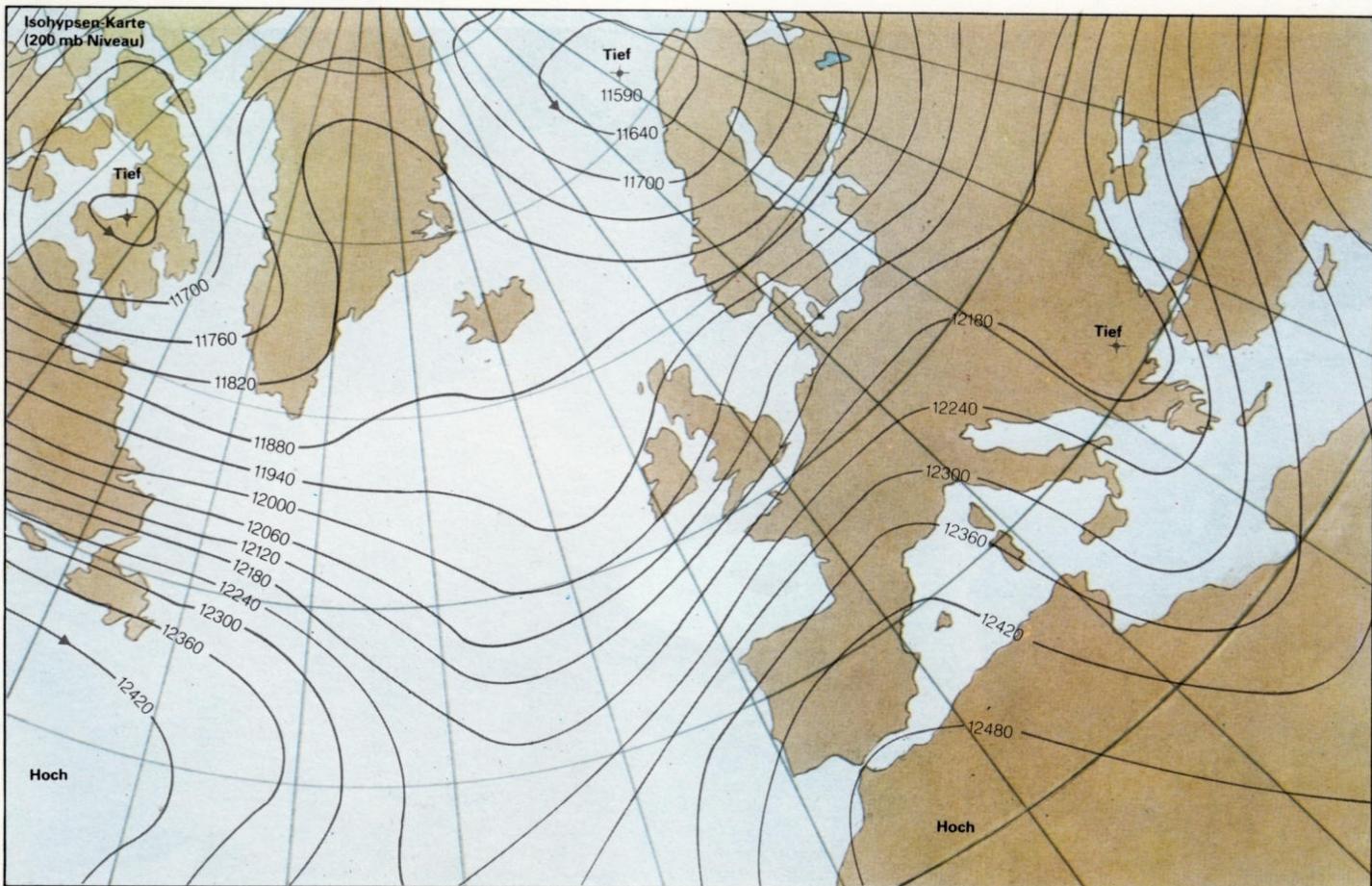
**Unten und links unten:** Die Druckverhältnisse der Atmosphäre können in Wetterkarten für konstante Höhe oder konstanten Druck aufgezeichnet werden. Im ersten Fall werden die Isobaren (Linien konstanter Drucks in Millibar) für eine imaginäre Ebene auf Meereshöhe gezeichnet. Die Druckmessungen höher gelegener Stationen müssen auf Meereshöhe umgerechnet werden. Verbesserte Vorhersagemethoden benutzen eine dreidimensionale Darstellung. Die Karten konstanten Drucks geben die Isohypsen (Linien gleicher Höhe in m) für dieses Druckniveau an. Fronten (grün auf Höhenkarte) zeigen an, wo Luftmassen aufeinandertreffen. Fortschreitende Kaltluft ergibt eine Kaltfront (blau) und bewegte Warmluft eine Warmfront (rot). Kaltfronten bewegen sich im allgemeinen schneller; die kalte Luft wird unter die Warmluft geschichtet, und eine geschlossene Front entsteht.

den nächsten, übernächsten und den dritten folgenden Tag erstellt, die den angeschlossenen regionalen Wetterämtern weitergegeben und nach internationaler Übereinkunft über Funk und Fernschreiber verbreitet werden. Die regionalen Wetterämter nehmen dies als Leitlinie ihrer Vorhersage und komplettieren es zu detaillierten Berichten, die auf die Erfordernisse der Landwirtschaft, des Handels und der Industrie zugeschnitten sind.

In den meisten Ländern ist es üblich, alle sechs oder zwölf Stunden die Vorhersage zu erneuern; gleichzeitig, d.h. um 0 Uhr, 6 Uhr, 12 Uhr und 18 Uhr Greenwich-Zeit (GMT), werden auch die synoptischen Karten neu erstellt. In der Zwischenzeit beobachten die lokalen Wetterämter die Wetterentwicklung in ihrem Gebiet sorgfältig und zeigen örtliche, bedeutende Abweichungen an.

## **Relevanz der Wettervorhersagen**

Die Wettervorhersagen für die breite Öffentlichkeit werden über Radio, Fernsehen und die Presse verbreitet. Die nationalen Rundfunk- und Fernsehanstalten bieten wegen ihres großen Sendegebietes nur allgemeine Vorhersagen, während regionale Stationen für ihr kleineres Sendegebiet detailliertere Aussagen ausstrahlen. Wirtschaftliche Bedeutung haben die spezialisierten Voraussagen für witterungsabhängige Tätigkeitsbereiche. So benötigen die Luftfahrt und die küstennahe Schifffahrt regelmäßige Vorhersagen der Windstärke und Windrichtung. Gas- und Stromversorgungsunternehmen sind auf kurz- und langfristige Schätzungen der Temperatur und anderer Wetterbedingungen angewiesen, die den Energieverbrauch beeinflussen. Transportunternehmen andererseits interessiert die Warnung vor Schnee, Frost und Nebel, während die Landwirtschaft auch Vorhersagen über Trockenperioden und andere Wetterlagen, die Schäden an der Ernte verursachen können, benötigt. Daneben gibt es noch verschiedene andere Wirtschafts- und Handelsbereiche, die die Meteorologen um Rat fragen. Der wirtschaftliche Nutzen der

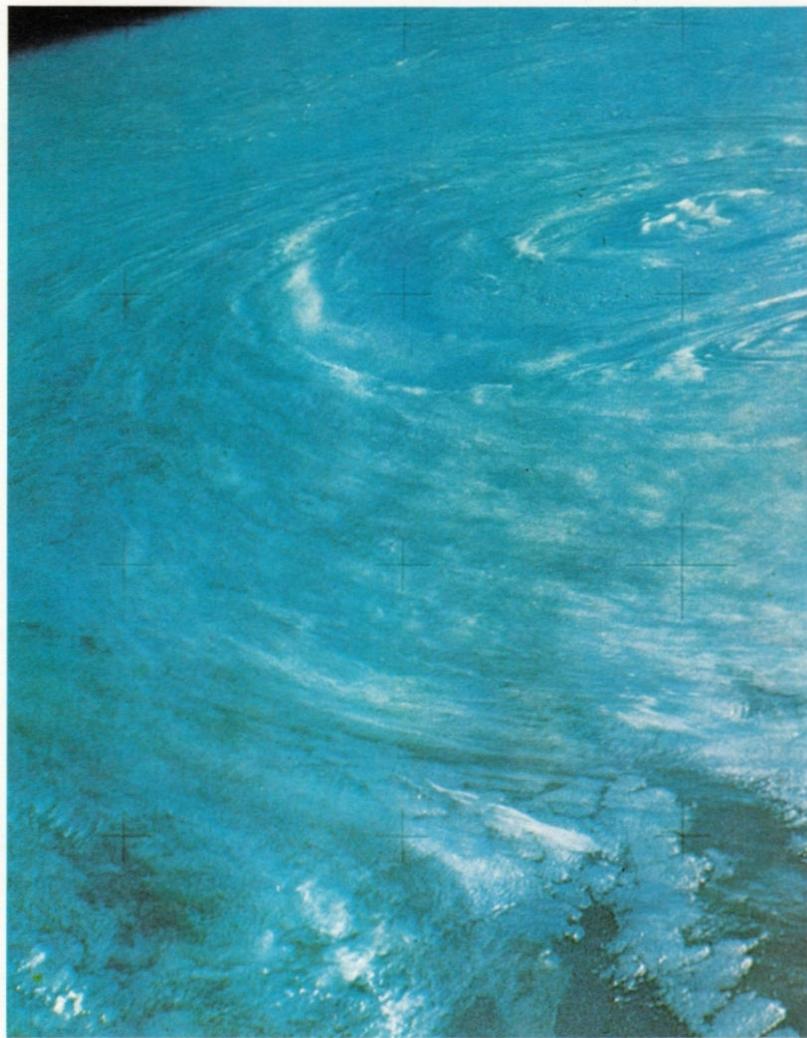


Wettervorhersage wird auf 0,1 bis 0,5 Prozent des Brutto- sozialproduktes geschätzt.

### Atmosphärische Vorhersagemöglichkeiten

Die Vorhersage ist eng mit der Lebensdauer aller zugrundeliegenden Wetterphänomene verbunden, und umgekehrt begrenzt diese Lebensdauer den möglichen Zeitraum für eine exakte Wettervorhersage. So dauert z.B. ein Regenschauer etwa dreißig Minuten; danach mag sich in der Nähe ein weiterer Regenschauer entwickeln, doch ist er dem ersten nicht exakt gleich und der Ort kann nicht vorhergesagt werden. Somit muß die Wettervorhersage auf Standardformulierungen wie z.B. 'zeitweilig Schauer' zurückgreifen.

Ausgedehnte Tief- oder Hochdruckzonen haben eine Lebensdauer von rund fünf Tagen, kleinere Gebiete sind wesentlich schneller ausgeglichen. Dies setzt der Anwendbarkeit der traditionellen Kurzzeitvorhersage Grenzen, da hier nur mit auf den Wetterkarten identifizierten, vorhandenen Großwetterlagen gearbeitet wird. Die modernen, dynamischen Wettervorhersagemethoden eröffnen neue Perspektiven; sie können aber nur anzeigen, in welchem Gebiet neue Wetterentwicklungen wahrscheinlich sind. Je länger die Vorhersageperiode ist, um so allgemeiner muß die Aussage ausfallen. Deshalb werden detaillierte Voraussagen auf 24 bis 36 Stunden begrenzt, und der Ausblick auf die folgenden zwei bis drei Tage wird allgemeiner gehalten. Die größten verfügbaren Computer können heute ausgefeilte, die ganze Erdatmosphäre umfassende Modelle bearbeiten. Damit hofft man, die dynamischen Vorhersagemethoden auf einen Zeitraum von zehn Tagen ausdehnen zu können. Dies jedoch erscheint als Grenze



*Unten: Strahlungsaufzeichnungsgeräte zum Messen der Sonnenstrahlung. Die auf der Abbildung gezeigten Geräte befinden sich auf dem Olymp in Griechenland.*



**Links und unten:** Atmosphärenstudien des Planeten Jupiter geben wertvolle Hinweise auf die Entstehung von Wettersystemen. Jupiters 'großer roter Fleck' z.B. ist ein Sturmgebiet. Ähnliche Stürme kommen auch auf der Erde vor, so wie der links gezeigte Taifun im Zentralpazifik.

der wissenschaftlichen Verfahren; für längerfristige Aussagen müssen andere Wege erforscht werden.

### Langzeitvorhersage

Für Langzeitvorhersagen muß man auf die statistischen oder Analogie-Verfahren zurückgreifen. Solche Voraussagen, die sich über 30 Tage bis zu einem Vierteljahr erstrecken, geben nur einen allgemeinen Ausblick auf den erwarteten Wettertyp. Die Wetterlage eines bestimmten Tages kann daraus nicht entnommen werden. Die Herleitung der Prognose geschieht auf folgende Weise: Zunächst werden für einen Zeitraum — gewöhnlich einen Monat — alle verfügbaren Daten über den Luftdruck an der Erdoberfläche und die Temperatur gesammelt; dann wird in den Aufzeichnungen der vergangenen Jahre nach einer entsprechenden Wetterlage gesucht. Derartige Aufzeichnungen gibt es inzwischen über einen Zeitraum von



ungefähr hundert Jahren. Daneben ist die Entwicklung des Wetters auf der ganzen Hemisphäre während der letzten Monate zu berücksichtigen. Das Problem bei dieser Art von Wettervorhersage besteht darin, daß sich die Wetterentwicklung nie exakt wiederholt. Somit ist es auch in einem Zeitraum von 100 Jahren sehr schwierig, zuverlässige Übereinstimmungen zu finden. Deshalb ist nicht zu erwarten, daß sich das Wetter analog den Daten des entsprechenden Jahres entwickelt. Für eine perfekte Gleichheit müßte nicht allein die Wetterentwicklung, sondern auch der physikalische Zustand der gesamten Erdoberfläche gleich sein. Doch besonders die Temperaturschwankungen der Meeresoberfläche und die Färbung der Vegetation in den Tropen beeinflussen die von der Atmosphäre aufgenommene Wärmemenge und damit die Entwicklung der Wettersysteme.

### Klimatologie

Die Klimatologie befaßt sich mit dem mittleren Atmosphärenzustand über lange Beobachtungszeiträume, d.h. über ein Jahrzehnt bis zu Jahrhunderten. Sie wird für Planungen herangezogen und bestimmt, wo in einer Region bestimmte Temperaturverhältnisse, Winde oder Regenfälle am wahrscheinlichsten sind. Danach lassen sich die günstigsten Standorte für Brücken oder künstliche Ölbohrinseln festlegen. In

der Langzeitplanung ist es nicht zulässig, Aussagen mit der Wetterentwicklung der jüngsten Vergangenheit zu begründen; vielmehr müssen Architekten klimatologische Schätzungen über die mittleren und die extremen Wetterbedingungen benutzen. Für den größten Teil Europas und Nordamerika gibt es hierzu hinreichend detaillierte Daten aus den letzten hundert Jahren. Für andere Gebiete und frühere Zeiten werden die Informationen aus der Geschichtsschreibung, Archäologie, Botanik und Gletscherforschung gewonnen, denn Berichte über Dürren, Überschwemmungen und Seuchen finden sich bereits in den frühesten Aufzeichnungen wie z.B. der Bibel.

Klimatologen versuchen auch langfristige Wettertrends zu finden, um Extrapolationen in die Zukunft zu erstellen. Allerdings sind die Klimaschwankungen der letzten Jahrzehnte nicht größer als im vergangenen Jahrhundert. Auf der Basis klimatologischer Daten ist es also unmöglich vorauszusagen, ob der kommende Winter oder Sommer kälter bzw. wärmer wird als der vorangegangene. Ebenso unsicher sind jedoch die ganz langfristigen Trends. Während der letzten Million Jahre erfuhr die Erde abwechselnd Eiszeiten und Zwischen-eiszeiten. Die gegenwärtige Zwischeneiszeit dauert nun schon ungefähr 10 000 Jahre; dies entspricht in etwa der Dauer früherer derartiger Perioden. Doch gibt es bisher keine Anzeichen einer neuen Eiszeit. Sowohl in der Arktis wie auch in der Antarktis dehnt sich in einigen Regionen über fünf bis zehn Jahre die Eiszone tiefer nach Süden bzw. Norden aus; doch dies wird stets durch relative warme Perioden in anderen Teilen der Polarregion ausgeglichen.

Häufig wird versucht, Beziehungen zwischen dem Wetter und nichtmeteorologischen Fakten herzustellen. So lassen sich über kurze Zeiträume überraschende Beziehungen zwischen dem Wetter und einem Wochentag, einem Sportereignis o.ä. finden, doch diese 'Regeln' versagen stets, wenn man längere Zeiträume betrachtet.

**Unten:** In meteorologischen Zentren werden die aus einem Gebiet gesammelten Daten in synoptische Karten eingezeichnet. Diese zeigen Isobaren für eine gegebene Höhe (umgerechnet auf Meereshöhe).

**Unten rechts:** Computer können komplexe mathematische Modelle der Atmosphäre mit Echtzeitdaten berechnen. Die Ergebnisse werden als anschauliche Zeichnungen ausgegeben.



PICTUREPOINT

# WIDERSTAND

**Alle Materialien außer Supraleitern setzen dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen, wobei ein Teil der elektrischen Energie in Joulesche Wärme umgewandelt wird. Die Joulesche Wärme wird beim Heizen mit elektrischen Heizöfen, bei Glühlampen, Sicherungen und Widerständen ausgenutzt.**

Ebenso wie der mechanische Widerstand die Bewegung unter Freisetzen von Wärmeenergie hemmt (z.B. Autobremsen), wirkt der elektrische Widerstand der Elektronenbewegung in einem Material entgegen, was sich in Form von Joulescher Wärme äußert (z.B. bei einem Wolframfaden in einer Glühlampe). Die Möglichkeit von Materialien, Leistung zu verbrauchen, wird in Ohmschen Widerständen ausgenutzt. Sie können dazu dienen, den Stromfluß oder die Spannung in einer Schaltung einzustellen.

## Ohmscher Widerstand

Läßt man auf ein Metall eine elektromotorische Kraft (EMK, Einheit: V) einwirken, so fließt durch das Metall ein elektrischer Strom, der von der Bewegung negativ geladener Teilchen, den Elektronen, herrührt.

Die Elektronen können sich in einem Material nicht (wie in einem Vakuum) frei bewegen. Es kommt zwischen den sich bewegenden Elektronen und den Glitteratomen des Materials zu Zusammenstößen. Diese Erscheinung bezeichnet man als

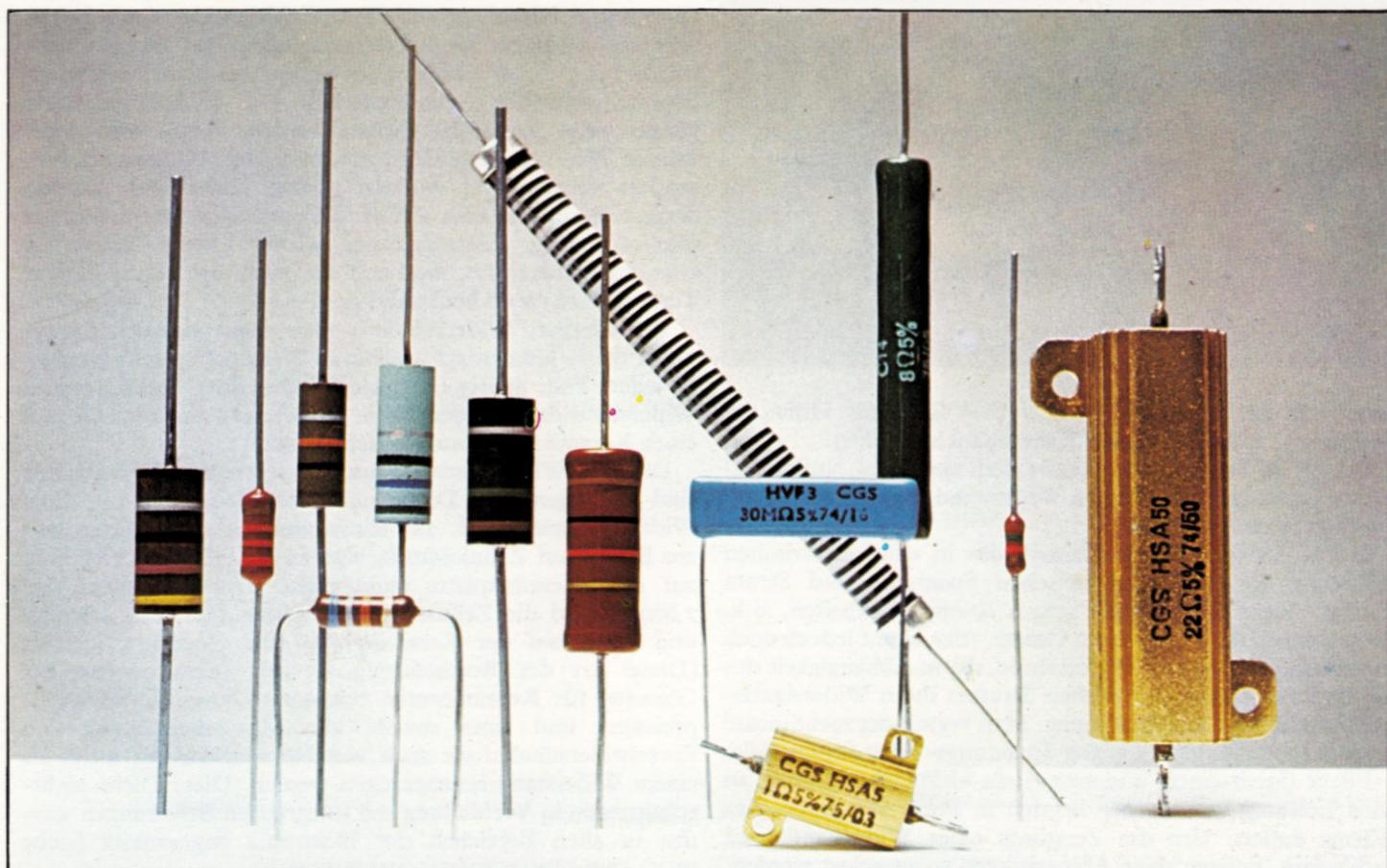
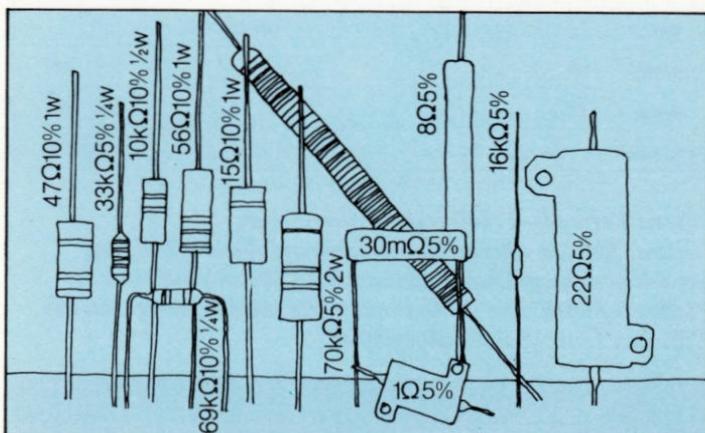
*Eine Auswahl von Widerständen mit ihren Bauformen und Widerstandswerten. Die kleinsten Widerstände haben eine Nennverlustleistung von  $\frac{1}{4}$  W. Sie werden in Kleinleistungsanwendungen eingesetzt. Die größeren Nennverlustleistungen sind  $\frac{1}{2}$  W, 1 W und 2 W. Für hohe Nennverlustleistungen verwendet man zum Ableiten der Jouleschen Wärme Kühlrippen (Zeichenerklärung rechts).*

elektrischen oder Ohmschen Widerstand. Da dieser Widerstand eine materialabhängige Größe ist, führt man, um Widerstandsvergleiche anstellen zu können, den sogenannten spezifischen Widerstand ein.

Der Gesamtwiderstand eines Leiters (z.B. eines Metalldrahtes) hängt vom spezifischen Widerstand des Metalls, seiner Länge und seinem Querschnitt ab. Der Ohmsche Widerstand ist der Länge des Leiters direkt und dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional. Bei einem Metall ist der Ohmsche Widerstand auch temperaturabhängig. Mit steigender Temperatur wird der Widerstand größer.

Bei Wechselstromschaltungen spricht man statt vom Widerstand von einer Impedanz, da zusätzlich noch kapazitive und induktive, sogenannte Blindwiderstände (siehe STROMKREIS, ELEKTRISCHER), zu berücksichtigen sind.

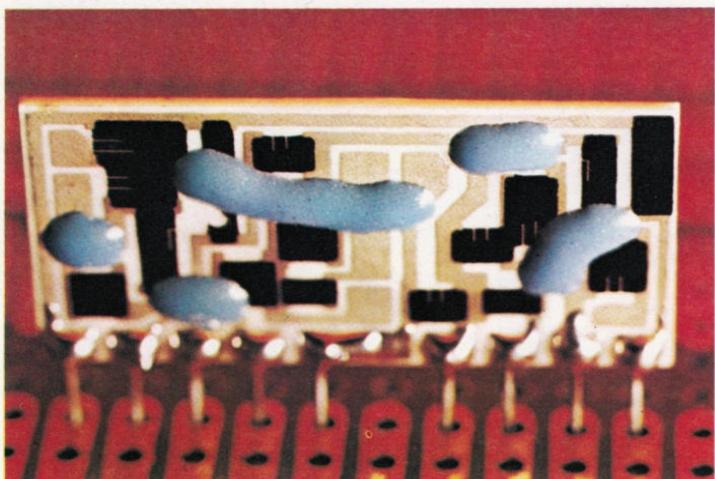
Im Jahre 1826 stellte G. S. Ohm (1787 bis 1854) das nach ihm benannte Gesetz auf, daß die an einen Leiter angelegte Spannung dem fließenden Strom proportional ist. Die Proportionalitätskonstante ist der Ohmsche Widerstand oder bei Wechselströmen die Impedanz. In Formeln ausgedrückt kann



Farocode von Widerständen					
				47 000 $\Omega$ , 5%	
	1. Zeichen	2. Zeichen	Anzahl der Nullen	Toleranz	
Schwarz	●	—	0	—	—
Braun	●	1	1	0	1%
Rot	●	2	2	00	2%
Orange	●	3	3	000	3%
Gelb	●	4	4	0,000	4%
Grün	●	5	5	00,000	—
Blau	●	6	6	000,000	—
Purpur	●	7	7	0,000,000	—
Grau	●	8	8	00,000,000	—
Weiß	○	9	9	000,000,000	—
Golden	●	—	—	—	5%
Silber	●	—	—	—	10%
Farblos	—	—	—	—	20%

**Oben:** Farcode-Tabelle von Widerständen.

**Unten:** Bei den schwarzen Bereichen auf dieser Abbildung handelt es sich um Dickfilmwiderstände, die sich auf einer Platinen befinden. Die Widerstandswerte wurden sehr genau mit Hilfe von Laserstrahlen abgeglichen.



man sich das Ohmsche Gesetz ( $U = R \cdot I$ ) mit Hilfe der Eselsbrücke URI (Schweizer Kanton) leicht merken.

Bei tiefen Temperaturen (nahe dem absoluten Nullpunkt) haben Leiter den elektrischen Widerstand Null. Man spricht hier von SUPRALEITUNG.

Ein Widerstand ist ein Bauteil, das in einer elektrischen Schaltung die Beziehung zwischen Spannung und Strom festlegt. Viele Widerstände zeigen lineares Verhalten, d.h. sie gehorchen dem Ohmschen Gesetz. Man kennt jedoch auch sogenannte nichtlineare Widerstände, die in Abhängigkeit des durchfließenden elektrischen Stromes ihren Widerstandswert beträchtlich ändern können. Man verwendet nichtlineare Widerstände als Schutz gegen Spannungs- oder Stromstöße.

Fließt durch einen Widerstand ein elektrischer Strom, so wird Leistung verbraucht, die sich in Form von Joulescher Wärme äußert. Um das Zerstören eines Widerstandes zu verhindern, müssen seine Abmessungen so ausgelegt werden,

dass sie bekannten Verlustleistungswerten (Einheit: W) widerstehen können. Aus diesem Grunde wird eine Vielzahl von Widerständen gefertigt; sie haben Verlustleistungswerte, die von Bruchteilen von Watt bis zu Kilowatt reichen.

**Herstellung von Widerständen**

Widerstände sind die am häufigsten verwendeten elektronischen Bauelemente. Die meisten Widerstände werden aus einfachen Grundsubstanzen zu äußerst niedrigen Preisen in großen Mengen gefertigt. Ihre Toleranzwerte sind relativ schlecht. Um Widerstände mit sehr engen Toleranzen zu fertigen, muss ein höherer Herstellungsaufwand getrieben werden. Diese Typen sind entsprechend teurer.

Der Massewiderstand wird in großen Mengen gefertigt. Er wird in vielen Anwendungen eingesetzt. Die Herstellungsverfahren und die Ausgangsmaterialien sind sehr preiswert. Bei diesen Widerständen werden Pulver aus leitenden (z.B. Kohle) und nichtleitenden (z.B. Ton) Materialien gemischt und mit einem sogenannten Binder (z.B. Harz) versehen. Sie werden durch Pressen in zylindrischen Formen unter Wärmeeinwirkung hergestellt. Anschließend werden sie mit axialen Drahtanschlüssen oder aufgepreßten Anschlußkappen kontaktiert und mit einem Überzug versehen, der in der Wärme aushärtet. Die Widerstände werden dann automatisch getestet und entsprechend ihren Toleranzwerten sortiert. Zum Schluß werden sie noch mit einem Farocode versehen. Der ersten Ende am nächsten befindliche Farbring gibt die erste Ziffer des Widerstandswertes an, der zweite Ring die zweite Ziffer und der dritte Ring den Multiplikator (Anzahl der Nullen). Nachfolgende Farbringe, die gold- oder silberfarben sind, geben Auskunft über den Toleranzwert.

Hochgenaue Festwiderstände sind die sogenannten Schichtwiderstände, bei denen auf einen Keramikkörper dünne Schichten aus Kohle oder Metallen aufgebracht werden. Am bekanntesten sind die Kohleschichtwiderstände. Metallschichtwiderstände sind sehr genaue Widerstände, die z.B. eine Widerstandsschicht aus Chromnickel, eine Legierung aus Chrom und Nickel, haben. Diese Schichtwiderstände haben sehr viel größere Nennverlustleistungen als Massewiderstände bei gleicher Größe. Dies beruht auf den thermischen Eigenschaften des Grundmaterials. Die Widerstandswerte können sehr genau abgeglichen werden, indem man sogenannte Wendeln einschleift, wodurch der Widerstand vergrößert werden kann. Äußerst genaue Widerstände werden hergestellt, indem man dünne Widerstandsdrähte auf einen röhrenförmigen Keramikkörperwickelt. Sie werden mit Glasemail überzogen, wodurch sie auch bei relativ hohen Temperaturen noch hochstabil sind.

Veränderbare Widerstände — man nennt sie auch POTENTIOMETER — können auf vielfältige Weise hergestellt werden. In jedem Falle gleitet ein Schleifer über die Oberfläche eines Widerstandsdrähtes oder einer Widerstandsschicht, die auf einen Keramikkörper aufgebracht wurde.

Die aus Widerstandsschichten hergestellten Widerstände sind als sogenannte Dickschichtwiderstände bekannt. Eine Widerstandspaste z.B. aus Rutheniumoxid, Glaspulver und ein Binder auf Zellulosebasis werden im Siebdruckverfahren auf eine Keramikplatte aufgebracht. Durch Brennen bei 1000°C wird die Zellulose weggebrannt. Das Glas schmilzt und bildet auf der Keramikplatte eine glasartige Schicht. (Diese Art der Beschichtung ist seit Jahrhunderten bei Glasuren für Keramikwaren bekannt.) Dieses Verfahren ist preiswert und kann sowohl zur Massenherstellung von Einzelwiderständen als auch von Netzwerken mit mehr als einem Widerstand herangezogen werden. Diese Dickschichtschaltungen in Verbindung mit integrierten Schaltungen werden in allen Bereichen der Elektronik angewendet (siehe DICK- UND DÜNNSCHICHTSCHALTUNGEN).

## Magnetischer Widerstand (Reluktanz)

Bei einem magnetisierten Material stellt man sich magnetische Feldlinien oder einen magnetischen Fluß vor, der durch das Material 'fließt'. Die Materialien unterscheiden sich in ihrer Magnetisierbarkeit. Sie wird als das Verhältnis aus der Magnetisierung und der erregenden Feldstärke angegeben, der Suszeptibilität des magnetischen Materials.

Eine Magnetisierung kann in einem Material durch Influenz durch ein elektrisches Feld (ELEKTROMAGNETISMUS) oder durch Einwirkung eines zweiten Magnetfeldes (magnetische INDUKTION) realisiert werden. Der Grad der Magnetisierung wird Permeabilität genannt. Hierunter versteht man das Verhältnis aus magnetischer Induktion und magnetischer Feldstärke.

*Die Wärmebildung von Widerständen wird u.a. beim Schweißen ausgenutzt. Die sogenannte Widerstandspunktschweißung wird hauptsächlich in der Automobilserienproduktion angewendet.*

Analog zur elektromotorischen Schaltung spricht man bei dem Effekt, der den magnetischen Fluß hervorruft, von magnetomotorischer Kraft. Der erzeugte magnetische Fluß wird als die Reluktanz der magnetischen Schaltung bezeichnet.

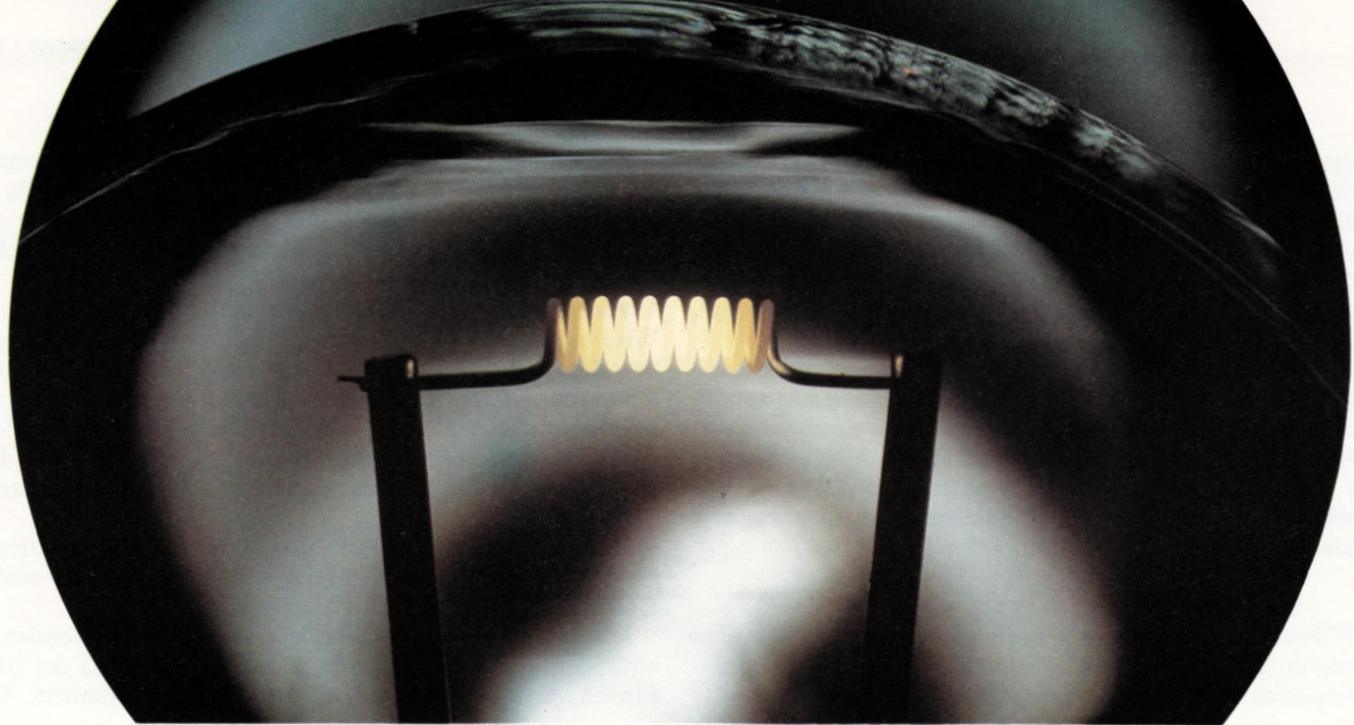
## Elektrostatischer Widerstand

Wird ein ISOLATOR — er ist ein schlechter Elektrizitätsleiter — zwischen zwei Metallplatten gebracht, hat man einen KONDENSATOR. Befinden sich diese Metallplatten aufgrund einer angelegten Spannung auf verschiedenen elektrischen Potentialen, so wird elektrische Ladung gespeichert, und ein elektrisches Kraftfeld bildet sich in dem Isolator zwischen den Platten aus.

Die Eigenschaft, die die Ausbildung eines elektrischen Feldes, das größer oder kleiner sein kann, zuläßt, wird die Dielektrizitätskonstante des Materials genannt.

Die elektrische Feldstärke, die sich in dem Kondensator ausbildet, erhält man aus der Spannungsdifferenz der beiden Platten, dividiert durch den Plattenabstand (Einheit: V/m).



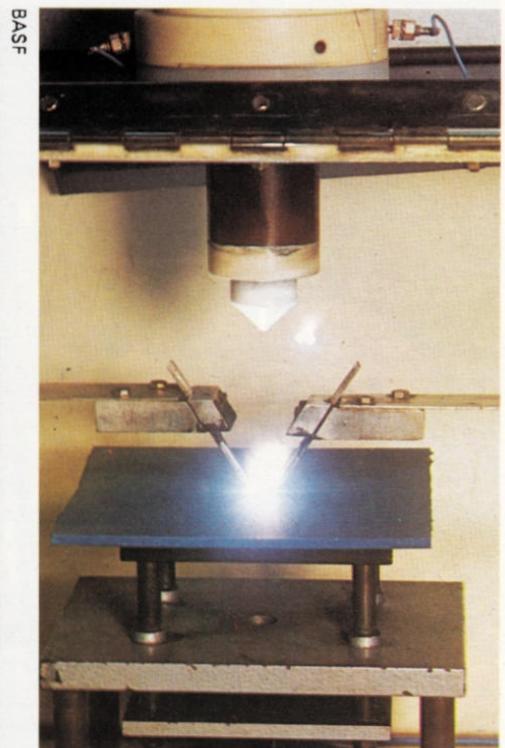
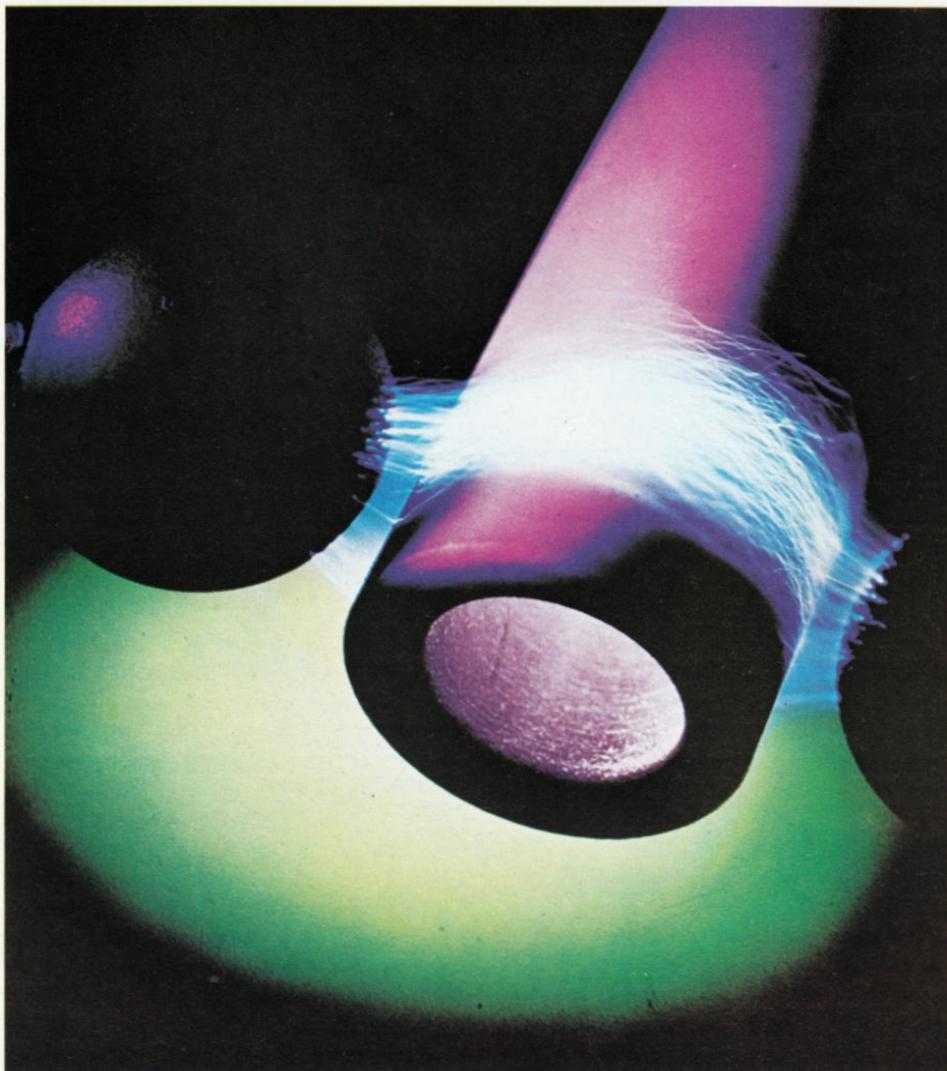


Die erzeugten elektrischen Kraftlinien bilden eine Kraft zwischen den entgegengesetzten Ladungen auf den Platten. Die Kraftliniendichte ist das Verhältnis aus der Ladungsdifferenz und der Fläche der Metallplatten. Die elektrische Kraftliniendichte wird in der Einheit C/m<sup>2</sup> (C = Coulomb) angegeben.

Die Dielektrizitätskonstante eines Materials wird bestimmt, indem man die Kraftflußdichte mit der Stärke des elektrischen Feldes, das diese Dichte erzeugt, vergleicht. Der Vergleich zwischen den einzelnen Materialien wird im allgemeinen mit

**Oben:** Vergrößerte Aufnahme eines hochohmigen Wolframglühfadens, wie er für die im Haushalt benutzte Glühbirne Anwendung findet.

deren relativer Dielektrizitätskonstante vorgenommen. Sie wird angegeben als das Verhältnis der KAPAZITÄT, wenn sich zwischen den Kondensatorplatten ein Material befindet, zu der Kapazität, die man erhält, wenn das Dielektrikum zwischen den Kondensatorplatten Luft ist.



**Oben:** Testapparatur zum Messen des Oberflächenwiderstandes einer Widerstandsschicht.

**Links:** Testen der Durchbruchspannung bei einem Isolationsmaterial. Der Durchbruch tritt auf, wenn Bindungen aufgebrochen und Elektronen freigesetzt werden. Die Durchschlagsspannung bei Isolierstoffen kann sehr hoch sein (z.B. 20 000 V pro 1 cm).

## WINDE UND KURBEL

**Der Mensch kann ohne Schwierigkeiten Lasten heben und senken, die sein eigenes Gewicht um ein Vielfaches übersteigen, vorausgesetzt, er befestigt die Last an einem Seil, schlingt dieses um eine Seiltrommel und schafft sich so eine Winde.**

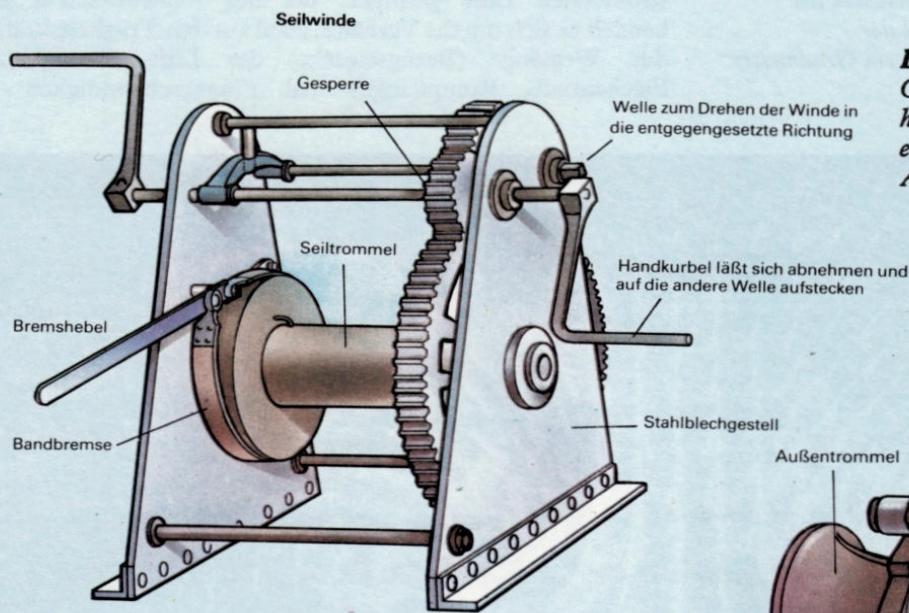
In ihren Ursprüngen ist die Winde bzw. Kurbel wahrscheinlich so alt wie das Rad. Von einer Handkurbel betätigtes Schleifsteine kannte man in China bereits 2000 v.Chr., in Europa um 400 n.Chr.; sich drehende Wellen, wie eine Winde oder Haspel sie aufweist, sind wohl ebenso alt. Die Entwicklung des Rades begann in Europa und in Vorderasien mit dem Wagenrad, dem bald, noch vor Beginn der christlichen Zeitrechnung, Wasserrad, Winde, Kurbel, Welle und Seilrolle folgten.

Bei der Winde handelt es sich um eine Kombination aus Rad und Welle, mit deren Hilfe man Lasten heben und befördern kann. Sie besteht aus einer in einem vertikalen Gestell gelagerten Trommel, die sich um eine horizontale Achse dreht. Die Trommel ist mit einer Kurbel mit Griff versehen und lässt sich von Hand direkt bzw. über einen Zahntrieb drehen oder besitzt einen Motorantrieb. Ein an der Trommel befestigtes Seil überträgt die angreifende Kraft von der Kurbel auf die Last, und zwar in dem Verhältnis, in dem die Länge der Kurbel zum Trommelhalbmesser steht. Dieses Verhältnis nennt man 'Last-Kraft-Verhältnis'; es dient der Vergrößerung der ursprünglich eingesetzten Kraft ('mechanische Kraftverstärkung').

Als Winde bezeichnet man heute in der Regel eine mechanische Vorrichtung zum Heben und Senken von Lasten mit einer oder mehreren Seiltrommeln, auf denen das Lastseil auf- oder abgewickelt wird. Als Antrieb dient nahezu ausnahmslos ein Räderwerk oder ein Schneckentrieb, wodurch verhindert wird, daß die Last die Trommel rückwärts dreht, sobald keine Kraft mehr angreift.

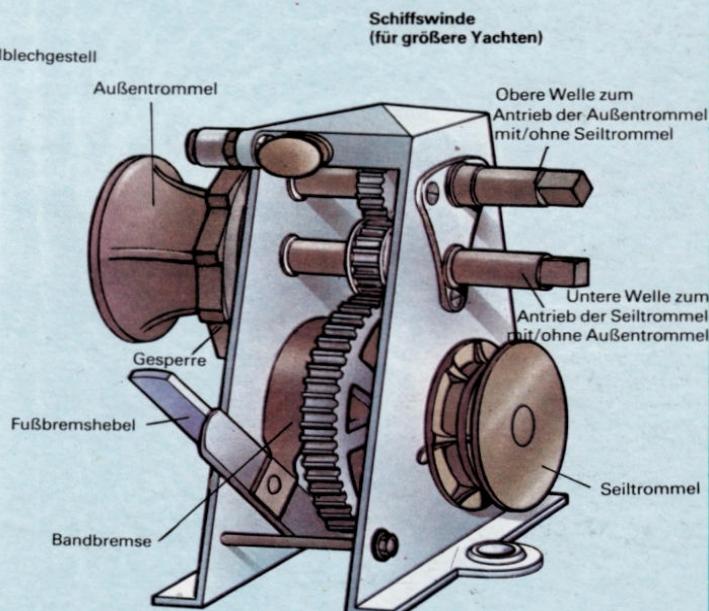
Ein anderer Windentyp ist die Differentialwinde. Sie besteht aus zwei auf einer horizontalen Achse starr miteinander verbundenen Trommeln unterschiedlichen Durchmessers und weist deshalb eine weit größere mechanische Kraftverstärkung auf. Wie bei der einfachen Winde ist auch hier an einem Ende der Trommeln eine Handkurbel angebracht. Die beiden Enden eines Seils werden so an den Trommeln befestigt, daß beim Drehen der Handkurbel das Seil von der einen Trommel ab- und auf die andere Trommel aufgewickelt wird. Ein dazwischenliegender Flaschenzug befördert die Last. Das Seil wird durch Aufwinden auf die größere Trommel verkürzt und gleichzeitig durch Abwickeln von der kleineren Trommel verlängert; die Last bewegt sich um die halbe Differenz nach oben. Je geringer der Unterschied zwischen den beiden Trommeldurchmessern, desto größer ist die mechanische Kraftverstärkung.

Unter einer 'stehenden Winde' versteht man eine Winde, bei der die Seiltrommel auf einer senkrechten Welle sitzt. Am häufigsten begegnet man von jeher dieser Windenform im maritimen Bereich, z.B. als Ankerwinde ('Spill'). Wickelt man die Ankerkette ein paarmal um die Trommel, so reicht die Reibung zwischen Ankerkette und Trommel aus, um ein Durchrutschen zu vermeiden.



**Links:** Einfache Seilwinde mit einem Gesperr, um ein Durchrutschen nach hinten zu verhindern. Außerdem sorgt eine Bremse für Verlangsamung beim Absetzen von Lasten.

**Rechts:** Größere Schiffswinde zum Setzen großer Segel. Die Außentrommel ist für dünne Leinen (z.B. aus Hanf) gedacht, die Seiltrommel für stärkere Drahtseile oder Taue.



## WINDKANAL

**Dem Windkanal kommt in der Geschichte der Luftfahrt eine besondere Bedeutung zu, da er dazu beiträgt, daß der Mensch die Flugmechanik besser versteht und mit seiner Hilfe aus Versuchen Daten gewinnt, die für die Entwicklung eines jeden neuen Flugzeuges unentbehrlich sind.**

Ein Windkanal ist eine Versuchsanlage zur Ermittlung von Luftkräften unter genau überwachten Bedingungen an Konstruktionen natürlicher Größe oder ihren Modellen. Die wichtigste an einem Windkanal gestellte Anforderung besteht darin, daß er einen gleichförmigen und ungestörten Luft- oder Gas-Strom erzeugen muß. Um dies zu erreichen, sind eine Reihe verschiedener Anordnungen erforderlich, die unter anderem von den im Windkanal erzeugten Luftgeschwindigkeiten abhängig sind.

Die ursprünglich zur Prüfung von Tragflächen für FLUGZEUGE benutzten Windkanäle werden heute intensiv bei der Konstruktion von Lenkwaffen, Straßen- und Schienenfahrzeugen sowie zur Vorhersage der Windfestigkeit und der durch den Wind erzeugten Schwingungen an Gebäuden, Brücken, Freileitungen und Radaranennen eingesetzt. Andere Anwendungsbereiche schließen Prüfungen zur Gewährleistung eines die unmittelbare Umgebung nicht belastenden Entweichens von Abgasen aus Schiffs- und Fabrikschornsteinen,

**Unten:** Durch Wollflocken und -fasern angezeigter Strömungsverlauf der Luft (Leewirbel) im Sog eines etwa  $20^\circ$  in Richtung des Luftstromes (vom Bild abgewandte Seite) ausgerichteten Flügels. Die Wirbel ergeben sich aus dem Unterschied der Luftgeschwindigkeiten zwischen der Ober- und der Unterseite der Tragfläche und sind demzufolge ein Gradmesser für den Auftrieb.

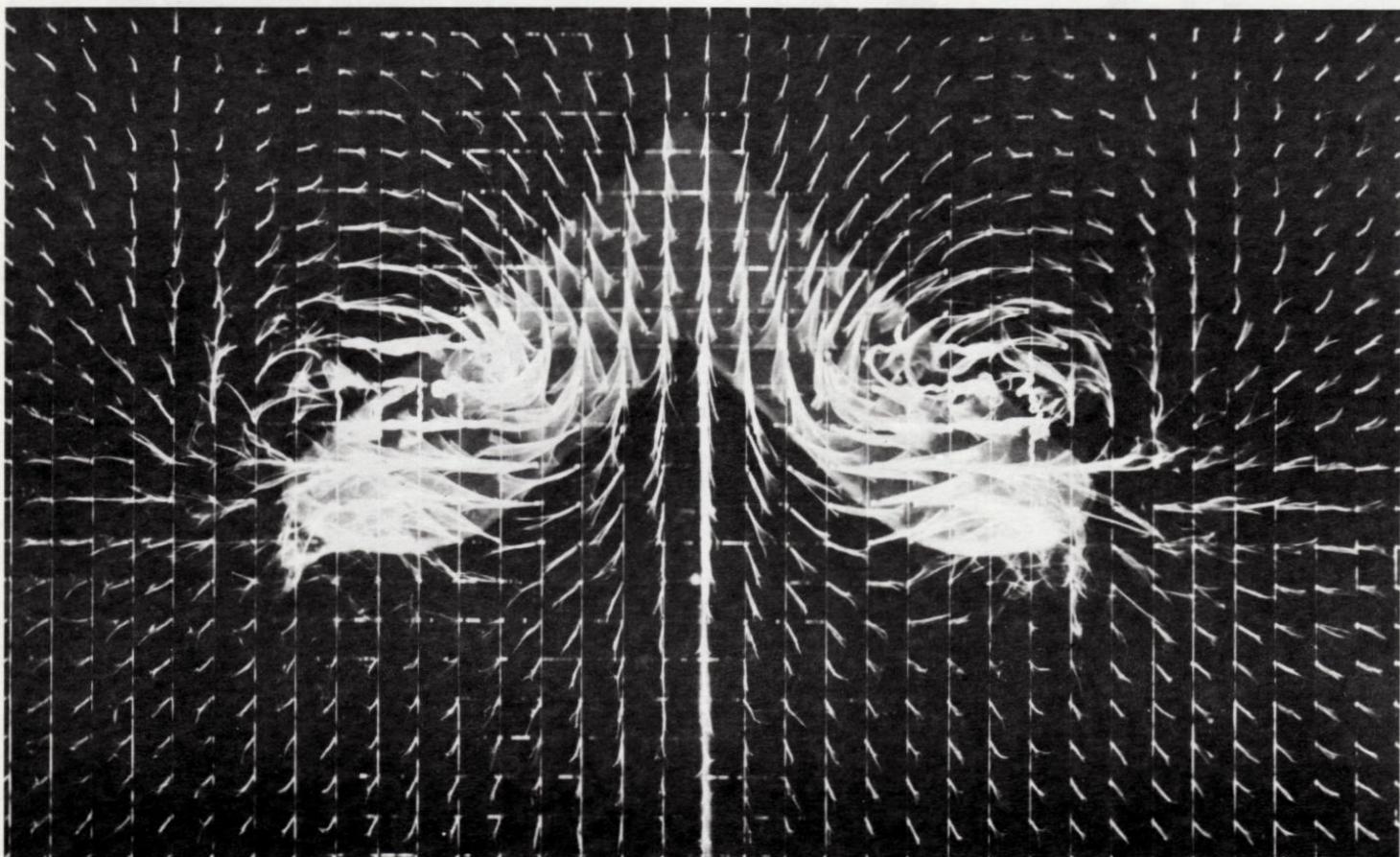
die Untersuchung örtlicher Luftströmungen im unmittelbaren Bereich hoher Gebäude und die Beobachtung von über Autobahnmodellen treibendem Schnee ein.

### Modellregeln

Die ersten Motorflüge der Gebrüder Wright am 17. Dezember 1903 waren das Ergebnis eines intensiven Forschungsprogrammes, das sie während der voraufgegangenen Jahre zum Abschluß gebracht hatten. Durch die langsame Fortschritte ihrer Vorgehensweise des 'Bauens und Fliegens' enttäuscht, bauten sie gegen Ende des Jahres 1901 einen Windkanal, in dem sie in etwa zwei Monaten über 200 Tragflächen-Typen prüften. Jede Tragfläche wies einen anders geformten Querschnitt und eine andere Flügelform auf. Alle Tragflächen wurden mit  $13$  verschiedenen Anstellwinkeln von  $0^\circ$  bis  $45^\circ$  geprüft.

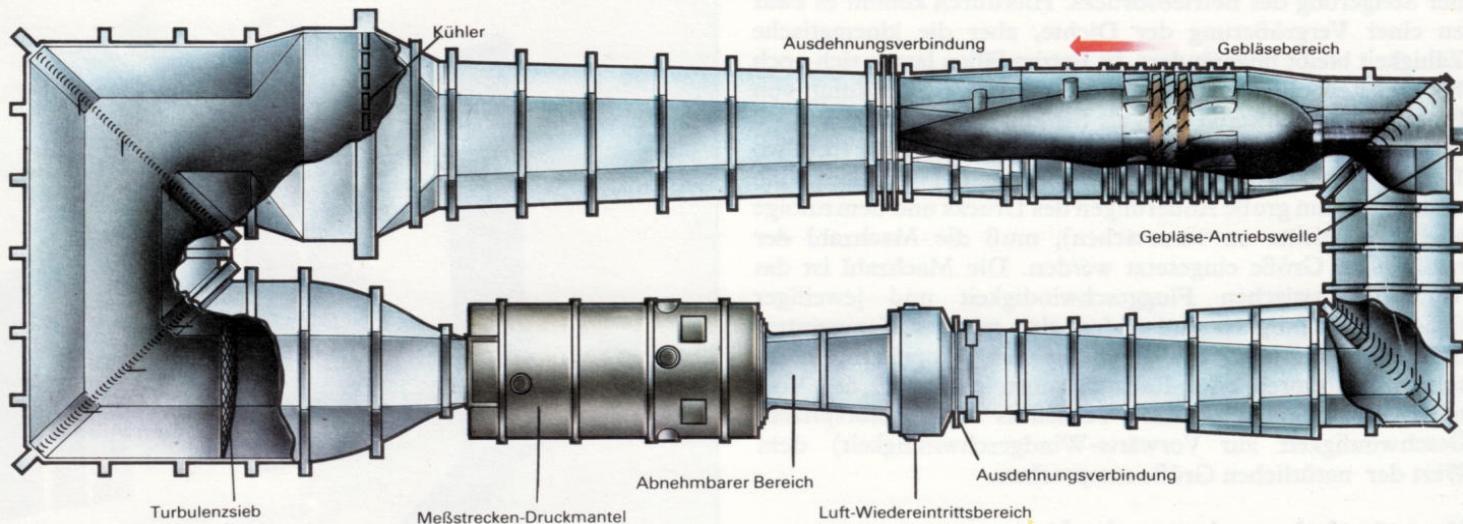
Da ihnen die auf das Modell einwirkenden Kräfte bekannt waren, konnten sie die bei natürlicher Größe auftretenden Kräfte (für einen Flügel der geplanten Größe bei wahrer Fluggeschwindigkeit) aus dem Verhältnis (wahre Größe zur Prüfbedingung) der Luftdichte, dem Quadrat der linearen Größe und dem Quadrat der Windgeschwindigkeit berechnen, wie es auch heute noch geschieht.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß genaue Vorhersagen für die jeweilige Konstruktion in der natürlichen Größe von bestimmten Modellregeln abhängen. Ist ein bogenförmiges Modell Gegenstand des Versuches, muß die Reynoldssche Zahl für den Versuch in der Nähe der natürlichen Größe liegen, damit die Grenzschicht richtig wiedergegeben werden kann. Bei der Grenzschicht handelt es sich um die Luftströmung in unmittelbarer Nähe des umströmten Körpers (z.B. einer Tragfläche). In der Grenzschicht ist die Geschwindigkeit der umströmenden Luft geringer. Bei der Reynoldsschen Zahl handelt es sich um die Verhältniszahl aus den Trägheitskräften, d.h. Weglänge (Bezugsstrecke) der Luftströmung (z.B. Flächentiefe, Rumpflänge) mal Fluggeschwindigkeit zur

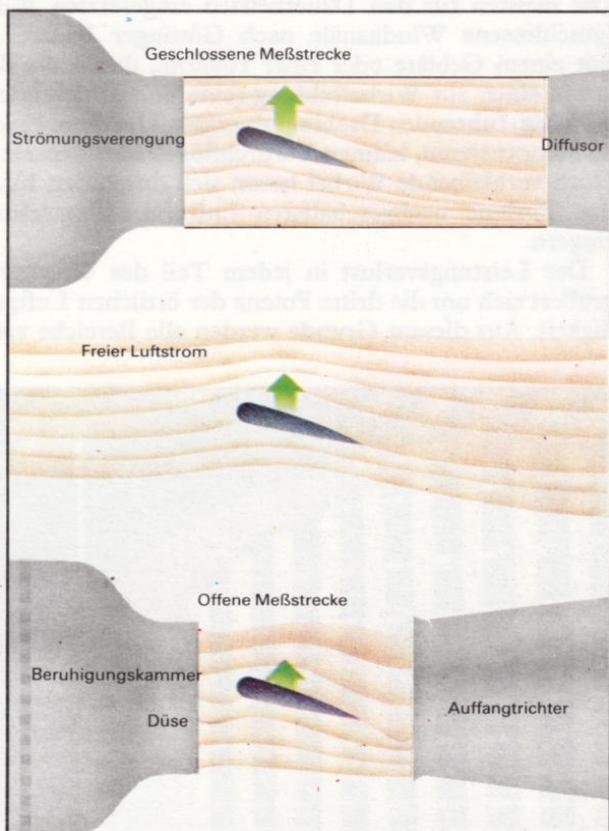
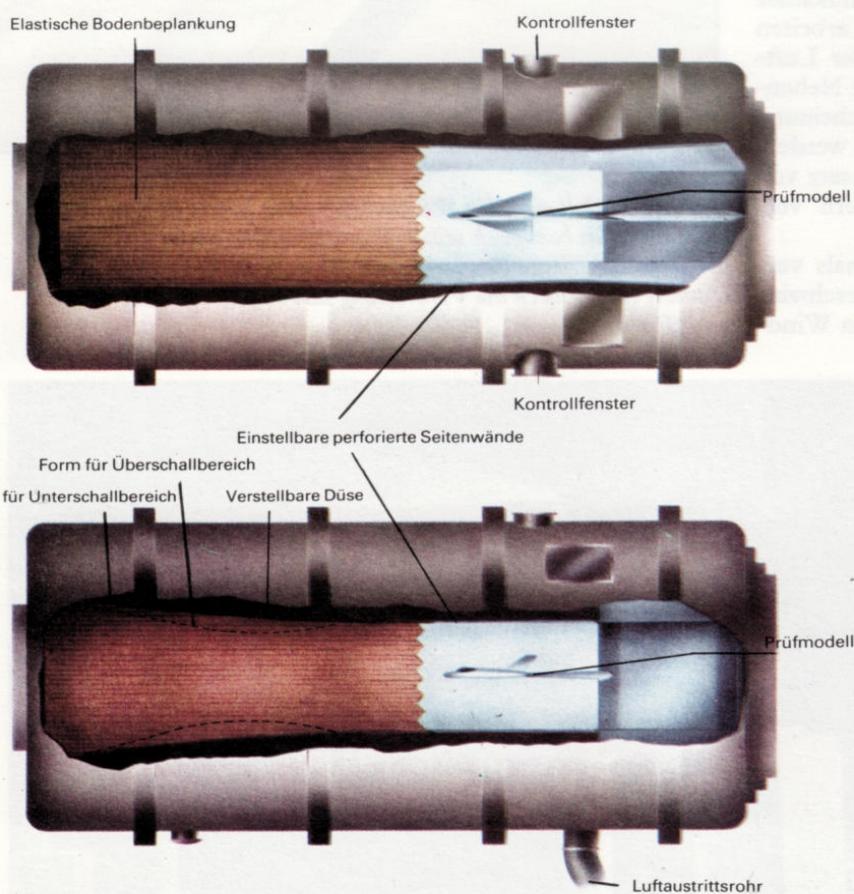


Darstellung eines herkömmlichen geschlossenen Windkanals mit Turbine, umlaufenden Schaufelräder und Beruhigungssieb. Eine geschlossene Meßstrecke mit elastischen Wänden ist im Detail abgebildet. Werden Tragflächenkonstruktionen geprüft, muß die Art der Meßstrecke berücksichtigt werden, da durch

sie die um das Modell herrschenden Umgebungseigenschaften und somit auch der gemessene Auftrieb beeinflußt werden. Zur Erzeugung von Überschallgeschwindigkeiten ist eine komplizierte Kanalform erforderlich. Zu diesem Zweck werden elastische Wände entsprechend 'eingestellt'.



JOHN THOMPSON



Eingezogene Düse (Lavaldüse)

Parallel-Meßstrecke

Abschließende Stoßwelle

0,1 Mach Geschwindigkeitszunahme  
Druck: 1 bar  
Temperatur: 20°C

Verengung

Ausdehnungskanal

1 Mach Geschwindigkeitszunahme  
Druck: 1/2 bar  
Temperatur: -30°C

3 Mach gleichförmige Geschwindigkeit  
Druck: 1/37 bar  
Temperatur: -170°C

1 Mach  
Geschwindigkeitsabnahme  
Ansteigender Druck  
Ansteigende Temperatur

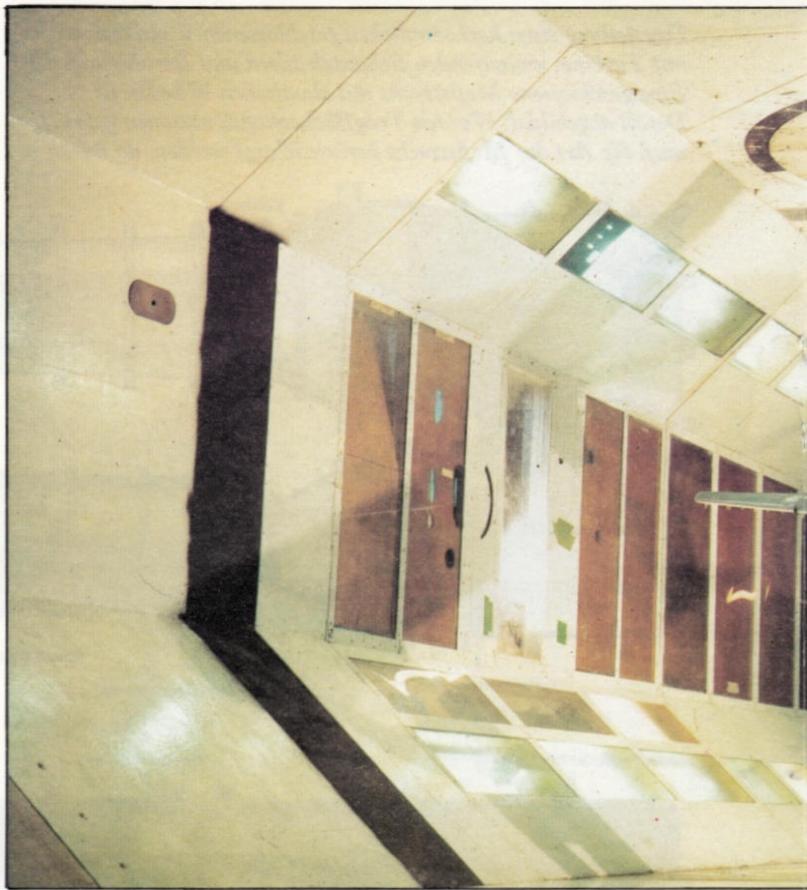
kinematischen Zähigkeit. Die für den Versuch ermittelte Reynoldssche Zahl fällt fast immer niedriger aus, was nur daran liegt, daß das Modell kleiner als die Konstruktion natürlicher Größe ist. Eine Möglichkeit, die Reynoldssche Zahl für den betreffenden Versuch zu vergrößern, besteht in der Steigerung des Betriebsdrucks. Hierdurch kommt es zwar zu einer Vergrößerung der Dichte, aber die kinematische Zähigkeit bleibt unverändert. In Extremfällen lassen sich noch höhere Reynoldssche Zahlen durch die Verwendung von Freon, einem schweren Gas, als Strömungsträger erzielen.

Schließen Versuche kompressible Strömungen ein (d.h. wo Luft einen Körper bei Geschwindigkeiten umfließt, die ausreichen, um große Änderungen des Drucks und demzufolge auch der Dichte zu verursachen), muß die Machzahl der natürlichen Größe eingesetzt werden. Die Machzahl ist das Verhältnis zwischen Fluggeschwindigkeit und jeweiliger Schallgeschwindigkeit und ändert sich mit der Temperatur. Schließen Versuche die Drehung von Propellern, Hubschrauber-Rotoren oder Radarantennen ein, muß das Vortriebsverhältnis (d.h. das Verhältnis der Rotor spitzen-Geschwindigkeit zur Vorfahrts-Windgeschwindigkeit) dem Wert der natürlichen Größe entsprechen.

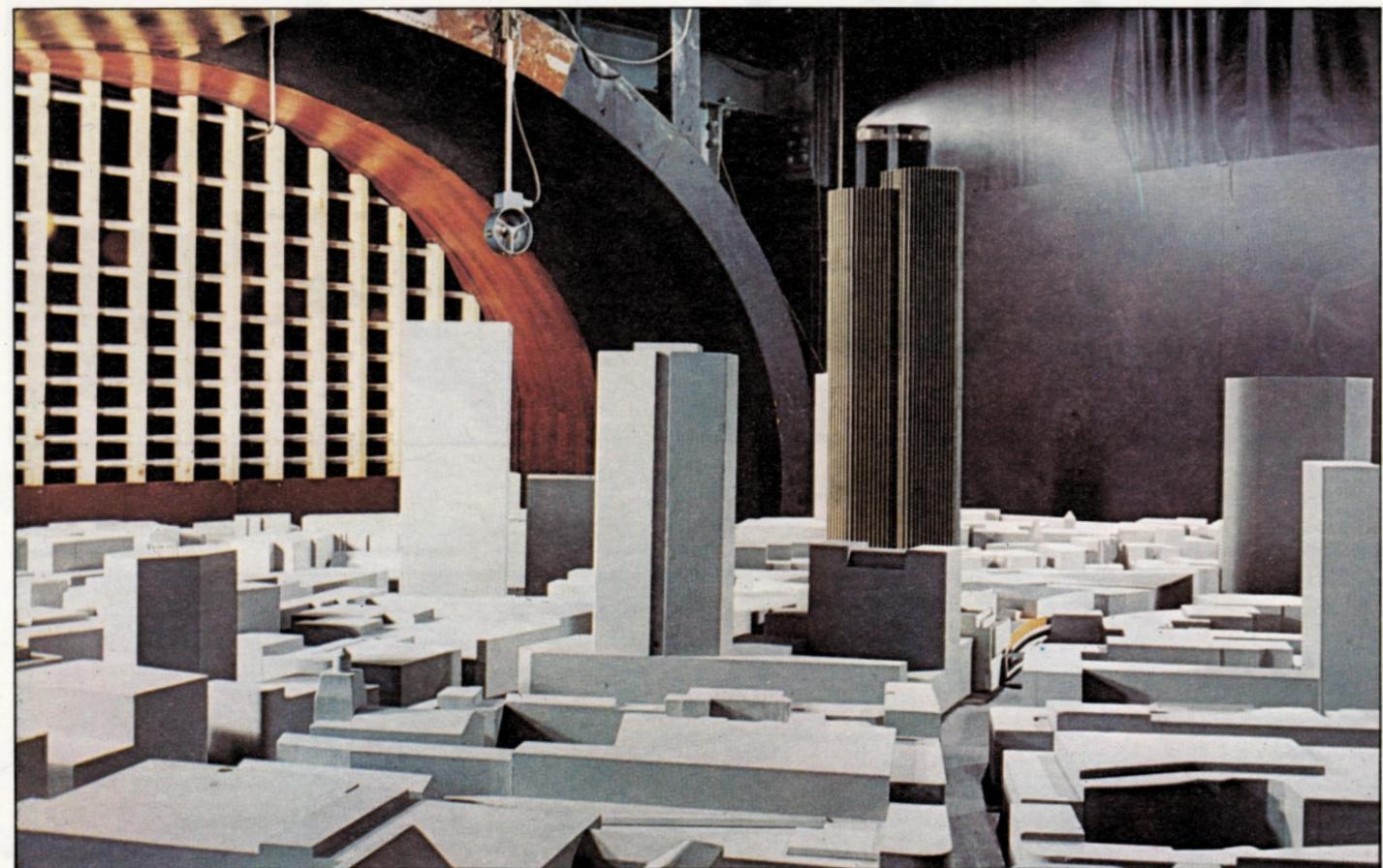
### Konstruktionseigenschaften

Die meisten für den Dauerbetrieb eingesetzten Windkanäle (geschlossene Windkanäle nach Göttinger Bauart) arbeiten mit einem Gebläse oder einer TURBINE, durch die der Luftstrom einen zur Wirbelbildung (eine unbeabsichtigte Nebenwirkung) führenden Drehimpuls erhält. Um diese Erscheinung zu kompensieren, können Vordrehflügelräder benutzt werden. Noch verbleibende Wirbel lassen sich durch den Einsatz von der Turbine nachgeschalteten Luftumlenkflügelrädern verringern.

Der Leistungsverlust in jedem Teil des Windkanals vergrößert sich um die dritte Potenz der örtlichen Luftgeschwindigkeit. Aus diesem Grunde werden alle Bereiche von Wind-



*Unten: Modell eines (in Wirklichkeit etwa 200 m hohen) Gebäudes, das bezüglich seiner Windfestigkeit, seiner hörbaren Schwingungen und seiner Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. durch die Verbreitung von Rauch über das Dach) geprüft wird.*





**Oben:** Techniker bei der Vorbereitung eines genau maßstabgerechten Modellflugzeugs zum Windkanaltest. Konstruktionsfehler lassen sich dadurch im voraus ausgleichen.

kanälen — mit Ausnahme der Meßstrecke (der Bereich, in dem das Prüfobjekt untersucht wird) — mit möglichst niedrigen örtlichen Luftgeschwindigkeiten konstruiert. Um einen Luftstrom mit zeitlich und räumlich konstanter Geschwindigkeit zu erhalten, wird hinter dem Gebläse oder der Turbine ein Diffusor (Kanal mit langsam zunehmendem Querschnitt) eingesetzt, wodurch es entsprechend der Bernoullischen Gleichung (eine aerodynamische Grundgleichung, nach der statischer Druck + Staudruck (dynamischer Druck) = Gesamtdruck) zu einer Drucksteigerung kommt. Bei einer etwa rechteckig konstruierten Gesamtanlage wird die Luft hinter dem eigentlichen Diffusor einmal in Quer- und einmal in Längsrichtung über sogenannte Umlenkecken mit senkrecht angeordneten, meist starren Luftleitblechen umgeleitet.

Als nächstes gelangt die bewegte Luft in eine Beruhigungskammer. Hier wird die Luftströmung zur Beruhigung und Kühlung durch einen wabenförmigen Gleichrichter, eine Anordnung von Kühlrohren, Turbulenzsiebe, eventuell einen weiteren Gleichrichter und, zur erneuten Beschleunigung, durch einen sich allmählich verengenden Kanal ('Düse') zur Meßstrecke geleitet.

Bei den kurzzeitig (intermittierend) eingesetzten 'offenen' Windkanälen kann die Luft über eine Vorkammer und eine Düse aus der Atmosphäre angesaugt werden und in einen Kessel (zur Speicherung) ein- oder in die Atmosphäre zurückströmen. Auch hier sorgen Gleichrichter und Siebe sowie eine sorgfältig entworfene Düse für einen Luftstrom mit zeitlich und räumlich konstanter Geschwindigkeit.

### Meßstrecken

Die meisten Windkanäle besitzen eine geschlossene Meßstrecke, in der der Luftstrom zwischen festen Wänden

eingeschlossen ist und sie ständig bestreicht. Werden Tragflächen in einer geschlossenen Meßstrecke geprüft, begrenzen die Wände die Krümmung der am Modell entlang fließenden Stromlinien und führen hierbei zu einer leichten Zunahme des gemessenen Auftriebs. Die Auftriebsmessung muß anschließend entsprechend berichtet werden; diese Angleichungen werden als Grenzschichtberichtigung bezeichnet.

Bei einigen Windkanälen ist die Meßstrecke nicht umschlossen (Freistrahl-Meßstrecke), so daß das Modell in dem freien Raum zwischen der eingezogenen Düse und einem größeren, in Strömungsrichtung angebrachten Auffangtrichter geprüft wird. Da keine Wände vorhanden sind, wird besonders bei großen Prüfobjekten der Zugang erleichtert; jedoch wird zusätzliche Kraft zum Ausgleich der Turbulenzverluste an den Düsenrändern benötigt. Die Krümmungen der Strömungslinien, die sich um eine im Freistrahl geprüfte Tragfläche bilden, zeigen sich leicht übersteigert, weshalb der gemessene Auftrieb etwas zu gering ist. In solch einem Falle muß eine genau entgegengesetzte Grenzschichtberichtigung erfolgen.

Durch die Aufstellung dünner, perforierter oder geschlitzter Wände um die Meßstrecke läßt sich die Notwendigkeit, Grenzschichtberichtigungen durchzuführen zu müssen, vermeiden. Außerdem verhindern sie die Bildung unerwünschter Stoßwellen, die sich als Überschallknall bemerkbar machen können.

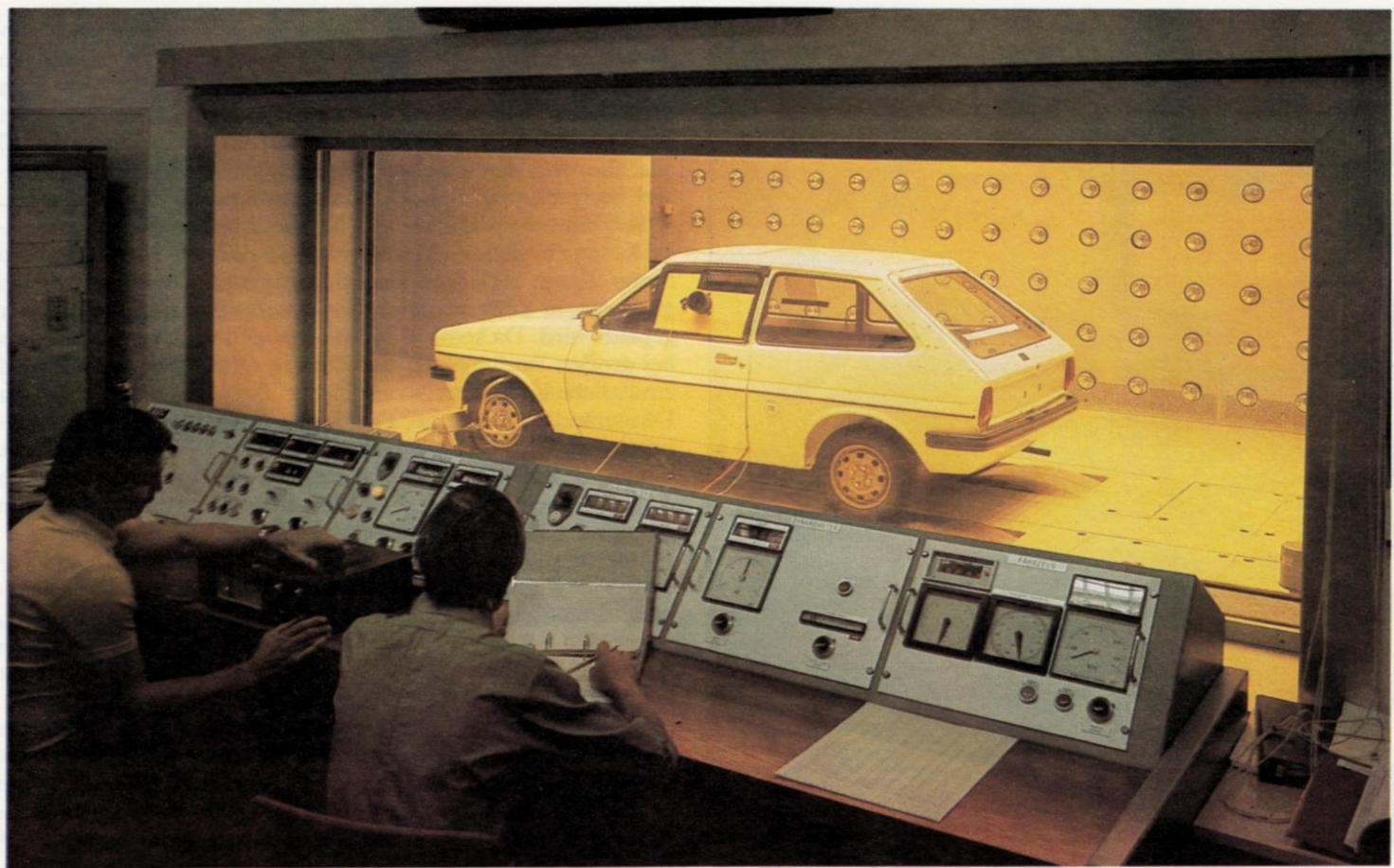
Im Bereich der Schallgeschwindigkeit (1 Mach) können herkömmliche geschlossene Meßstrecken nicht benutzt werden, weil sich selbst bei den kleinsten Prüfobjekten die Stoßwelle an das Profil anlegt. Hierdurch wird die Gleichförmigkeit der Luftströmung beträchtlich gestört. Bei Freistrahl-Meßstrecken können bei hohen Geschwindigkeiten (im transsonischen Bereich zwischen 0,9 Mach und 1,2 Mach) Strömungsschwankungen auftreten. Für diese Situationen sind spezielle Techniken erforderlich, die teilweise auf im Überschall-Windkanal (über 1 Mach) gewonnenen Erfahrungen beruhen.

### Überschall-Windkanäle

Überschall-Windkanäle benötigen eine eingezogene Düse (Lavaldüse) zur Erzeugung der Überschallgeschwindigkeit in der Meßstrecke. Die Leistung dieser Düse ergibt sich durch eine besondere Konsequenz der die Strömung von Gasen betreffenden Gesetze. Obgleich die Geschwindigkeit eines durch einen sich verengenden Kanal strömenden Gases örtlich bis zur Schallgeschwindigkeit gesteigert werden kann, ist eine weitere Zunahme der Geschwindigkeit nur möglich, wenn sich der zuerst verengte Düsenbereich anschließend wieder erweitert.

Um einen gleichförmigen Gasdurchsatz im gesamten Kanalbereich aufrechtzuerhalten, geht mit dieser Überschall-Ausdehnung eine ausgleichende Verringerung der Gasdichte einher, zu der es durch eine Verringerung sowohl des statischen Drucks als auch der Temperatur kommt. Das Prinzip der Herabsetzung von Temperaturen durch die Ausdehnung von Gasen findet seinen praktischen Einsatz z.B. bei Haushaltstückschränken. Während für eine plötzliche Verdichtung eines Gases (damit sich dieses Gas erwärmen kann) Arbeit erforderlich ist, wird durch ein sich plötzlich ausdehnendes Gas Arbeit geleistet, und die hierfür erforderliche Energie wird dem Gas in Form von Wärme entzogen.

Bei der Ausdehnung vergrößert sich nicht nur die wahre Geschwindigkeit des Gases, sondern das damit einhergehende Absinken der Temperatur bewirkt eine Verringerung der örtlichen Schallgeschwindigkeit. Demzufolge wird die Machzahl in beiden Fällen vergrößert. Bei hohen Überschallgeschwindigkeiten (3 Mach und darüber) wird die Herabsetzung der Temperatur und dadurch die örtliche Schallgeschwindigkeit zum Hauptfaktor.



*Windkanal zur Feststellung der aerodynamischen Eigenschaften eines Autos. Korrekte aerodynamische Konstruktionen ergeben bessere Leistung und Brennstoffeinsparung.*

Wird das angewandte Druckverhältnis gesteigert, bildet sich im verengten Bereich der Lavaldüse eine Stoßwelle, wenn die örtliche Machzahl erreicht ist. Diese pflanzt sich allmählich in den sich erweiternden Bereich fort, bis das Prüfdruckverhältnis erreicht ist, worauf die einzelne Stoßwelle durch ein komplizierteres Stoßwellenmuster verdrängt und im abschließenden parallelen Teil durch eine gleichförmige Strömung mit der Prüf-Machzahl abgelöst wird. An irgend einer, in der Strömungsrichtung ziemlich weit unterhalb dieses Bereiches liegenden Stelle bildet sich eine weitere Stoßwelle, durch die die Strömungsgeschwindigkeit wieder in den subsonischen Bereich (unter 1 Mach) abfällt.

Um einen verschiedenen Überschallgeschwindigkeiten abdeckenden Bereich zu schaffen, müssen entweder abnehmbare Überschallverkleidungen der Reihe nach auf die Wandverstrebungen der Meßstrecke montiert oder eine durch eine elastische Wandbespannung herstellbare Düse benutzt werden, deren Form zur Erzielung jeder Machzahl entsprechend verändert werden kann.

Bei modernen transsonischen Windkanälen sind die oberhalb der perforierten oder geschlitzten Wände (gegen die Strömung gesehen) angeordneten elastischen Wände sorgfältig ausgeformt. Ein genau dosiertes Absaugen eines Teiles der strömenden Luft durch die Perforierungen oder Slitze hindurch führt bei jeder gewünschten Machzahl zu einem stabilisierten, gleichförmigen Luftstrom, bei dem es selbst bei verhältnismäßig großen Prüfmodellen zu keinen Strömungsstörungen oder Stoßwellenanlagerungen kommt.

Hyperschall-Windkanäle (Machzahl über 5) unterscheiden sich von Überschall-Windkanälen dadurch, daß sie eine Vorrichtung zur Vorerwärmung der Luft oder des Prüfgases

auf Temperaturen um 700°C besitzen. Hierdurch soll eine Verflüssigung des Mediums vermieden werden, wenn die Gastemperatur beim Erreichen von Überschallgeschwindigkeiten rapide fällt.

### Optische Hilfen

Abgesehen von den auf das Prüfobjekt einwirkenden Kräften und örtlichen Luftdrücken benötigt der Konstrukteur ebenfalls Informationen über die Art der Luftströmung, ob sie z.B. turbulent oder gleichförmig verläuft und welche Richtung sie einschlägt. Zur Sichtbarmachung dieser Informationen werden verschiedene Techniken angewendet. Hierzu gehören Rauchfäden (Rauchfahnen), Wollflocken und die Schlierenmethode.

Zur Erzeugung von Rauchfahnen wird eine regelmäßige Anordnung feiner Düsen entgegen der Stromrichtung vor dem Prüfobjekt im Meßbereich angeordnet. Durch Erhitzen eines Paraffinöls (ein Vorgang, der dem zur Erzielung von Bühneneffekten entspricht) wird weißer Rauch erzeugt und in die Düsen geleitet. Dieses Verfahren wird vielerorts angewendet, und in einigen Fällen werden statt des Rauches heliumgefüllte 'Seifenblasen' benutzt.

Wollflockchen bilden die weitaus einfachste optische Anzeige. Sie werden in regelmäßigen Abständen an der Oberfläche des Prüfobjektes befestigt. Sie bieten ein großes Strömungswiderstandsverhältnis, d.h. sie folgen dem Luftstrom selbst bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten. Ihr größter Nachteil liegt darin, daß die Wollflocken in einem Luftstrom mit Geschwindigkeitsgefälle in den schnelleren Luftstrom hineingezogen werden und dadurch die tatsächlichen Strömungslinien verwischen.

Die Schlierenmethode läßt sich in der Aerodynamik zur Sichtbarmachung von Strömungsbildern anwenden. Die sich ergebenden Änderungen der Luftdichte führen ebenfalls zu Änderungen in optisch dichter Luft, wodurch fotografische Aufnahmen ermöglicht werden.

## WINDMÜHLE UND WINDPUMPE

Windmühlen werden schon seit Jahrhunderten zur Nutzung der Windenergie eingesetzt, ursprünglich zum Getreidemahlen, später dann zum Trockenlegen tiefer gelegener Landstriche. Letzteres geschah besonders in den Niederlanden ('Poldermühlen').

Windmühlen wurden wohl zuerst im 7. Jahrhundert in Persien zum Kornmahlen bzw. zur Wasserhebung angewendet. Erstaunlich ist, daß diese ersten Windmühlen, wie die ersten Wassermühlen, vertikale Achsen aufwiesen und die Flügel sich in einer horizontalen Ebene drehten. Dies gab ihnen ein ganz anderes Aussehen, als man es von den in Westeuropa üblichen Windmühlen her kennt, deren horizontale Wellen von vier oder mehr Flügeln bewegt werden.

Darüber, wie die Windmühle nach Europa kam, gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Theorien. Eine davon besagt, daß sie von den Kreuzfahrern aus dem vorderen Orient

mitgebracht wurde. Es liegen keine zuverlässigen Zeugnisse dafür vor, daß Windmühlen bereits vor dem 12. Jahrhundert in Gebrauch waren. Vom 13. Jahrhundert an aber erscheinen sie auf kolorierten Zeichnungen und werden in Besitzurkunden u.ä. erwähnt.

### Bockwindmühlen

Bei allen frühen Windmühlen handelte es sich um sogenannte Bockmühlen. Ein schwerer und starrer Unterbau aus zwei rechtwinkeligen Holzbalken wurde auf einen ebenen Untergrund oder auf Pfeiler aus Mauerwerk gesetzt. In das Untergestell in einem Winkel von  $30^\circ$  eingeschlagene Vierkanthölzer dienten als Stützstreben für einen vertikalen Zapfen, um den die ganze Mühle drehbar war. Das Mühlenhaus wurde vom

*Bei dieser Bockwindmühle treibt eine vertikale Eisenwelle das Windrad an. Die Welle ist über ein Zwischengetriebe mit einem Räderpaar verbunden. Bei schrägem Windeinfall drehen sich das Windrad und damit auch die Räder und stellen auf diese Weise die Mühle wieder in den Wind.*



SONIA HALLIDAY

Müller mit Hilfe eines hinten an der Mühle befestigten langen Holmes, der häufig mit der ins Mühlenhaus führenden Treppe verbunden war, in den Wind gedreht. Später verwendete man dazu ein kleines Windrad, das normalerweise in der Windrichtung stand, sich nur bei schrägem Windeinfall, d.h. bei Wechsel der Windrichtung, drehte und über ein Rädergetriebe die Mühle wieder in den Wind stellte, ohne daß der Müller eingreifen mußte.

Diese ganz aus Holz bestehende Mühle war von ihrer Struktur her wenig stabil, so daß stets die Gefahr bestand, daß sie vom Sturm zerstört, niedergebrannt oder aber durch Fäulnis oder mangelnde Pflege irreparabel beschädigt wurde. Dem versuchte man dadurch zu begegnen, daß man um das eigentliche Mühlengestell ein zumeist steinernes Rundhaus baute. Die Mühle selbst drehte sich jedoch nach wie vor um den Zapfen in den Wind. Der Rundbau diente lediglich als Lagerhaus.

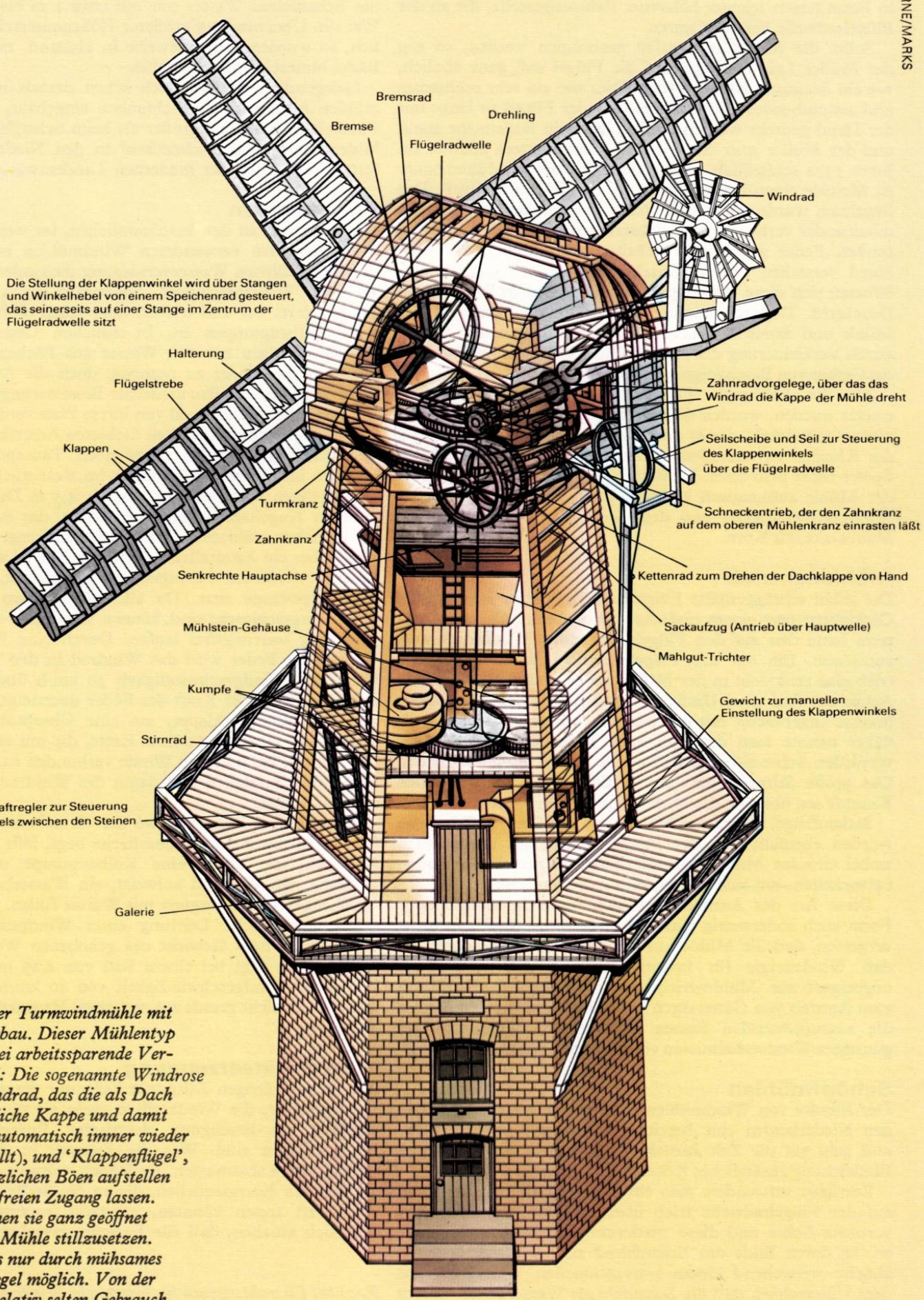
Die wenigen noch erhaltenen Mühlen dieses Typs sind mit großer Sorgfalt und teilweise erheblichen Kosten restauriert worden. Man findet sie in den küstennahen Landstrichen Westeuropas, wie z.B. im Süden und Südosten Englands und in der Normandie, wo sie, ihres eigentlichen Zweckes entfremdet, oft zu Wohngebäuden umfunktioniert wurden.

### Turmwindmühlen

Die Turmwindmühle wurde in Westeuropa entwickelt und wird nach ihrer Herkunft auch 'Holländermühle' genannt. Der Turm bestand in der Regel aus massivem Mauerwerk, gelegentlich auch aus einem Holzaufbau auf steinernem Fundament. Der wesentliche Fortschritt gegenüber der Bockmühle ist darin zu sehen, daß bei diesem Mühlentyp nur der obere Teil des Turms, die als Dach dienende Kappe, drehbar war. Die Windkraft wurde über eine an der Dachkappe befestigte Kronenwelle, auf der auch die Flügel saßen ('Flügelradwelle'), und ein Rädergetriebe auf die anzutreibenden Maschinen im Mühleninnern übertragen. Als beweglicher Unterbau für die drehbare Dachkappe diente ein Mechanismus, der als Vorläufer des modernen Gleit- und Rollenlagers angesehen werden kann.

*Unten: Eine Turmwindmühle in England. Hier dreht sich nur die weiße Dachkappe. Sie läuft auf Rädern und wird von dem Windrad über ein Schneckengetriebe, das in einen am oberen Turmrand befindlichen Zahnkranz eingreift, in den Wind gestellt. In der Bundesrepublik sind diese Mühlen vor allem in Nord- und Ostfriesland zu finden.*





**Querschnitt einer Turmwindmühle mit hölzernem Oberbau.** Dieser Mühlentyp weist bereits zwei arbeitssparende Verbesserungen auf: Die sogenannte Windrose (ein kleines Windrad, das die Dach dienende bewegliche Kappe und damit das Hauptrad automatisch immer wieder in den Wind stellt), und 'Klappenflügel', die sich bei plötzlichen Böen aufstellen und dem Wind freien Zugang lassen. Außerdem können sie ganz geöffnet werden, um die Mühle stillzusetzen. Vorher war dies nur durch mühsames Einholen der Segel möglich. Von der Bremse wurde relativ selten Gebrauch gemacht, da die hölzernen Bremsklötze leicht Feuer fingen.

## Windmühlenflügel

Die europäische Windmühle hatte in der Regel vier Flügel in Form relativ leichter hölzerner Rahmengestelle, die an der Flügelradwelle befestigt waren.

Sollte die Mühle in Betrieb genommen werden, so zog der Müller Leinwandsegel auf die Flügel auf, ganz ähnlich, wie ein Seemann die Segel setzt. Dies war ein sehr mühsames und zeitraubendes Unterfangen, da jeder Flügel so lange mit der Hand gedreht werden mußte, bis er in Bodennähe stand und der Müller zum 'Segelsetzen' hinaufklettern konnte. Im Jahre 1772 schließlich erfand der schottische Mühlenbauer A. Meickle einen neuen Flügeltyp, den 'Klappenflügel'. Das Segeltuch wurde durch eine Reihe beweglicher, jalousieartig miteinander verbundener Holzbrettcchen ersetzt, die von einer starken Feder geschlossen gehalten wurden und sich von Hand verstehen ließen. Frischte der Wind plötzlich auf, öffneten sich diese Holzklappen und ließen dem Wind freien Durchtritt. Dadurch konnte der Müller die Drehzahl der Mühle und damit ihre Leistung konstant halten und zudem durch Verkleinerung der Angriffsfläche bei Sturmgefahr auch die Gefahr von Beschädigungen verringern.

Als die hölzernen Flügelradwellen durch gußeiserne ersetzt wurden, wurden diese hohl gegossen und ein Mechanismus entwickelt, der es dem Müller gestattete, den Winkel der Klappen zu verstehen, während sich die Flügel drehten. Später baute man einen Fliehkraftregler ein, der die Drehzahl der Mühle automatisch konstant hielt, unabhängig von der Windgeschwindigkeit und dem Grad der Beschickung der Mahlwerke mit Korn.

## Mühlenantrieb

Die leicht schräggestellte Flügelradwelle war in zwei großen Gleitlagern und einem einfachen Drucklager gelagert. Letzteres hatte den auf den Flügeln lastenden Winddruck aufzunehmen. Ein auf der Flügelradwelle sitzendes Zahnrad trieb eine senkrecht in der Mühlenmitte nach unten laufende Achse an. Auf dem Umfang dieses Rades war eine Bandbremse angebracht, mit der sich die Mühle stillsetzen ließ; daher nannte man das Rad auch Bremsrad. Das auf der vertikalen Achse sitzende Rad wurde als Drehling bezeichnet. Das große Stirnrad am unteren Ende trieb die steinernen Kumpfe an, über die die Mühlsteine in Gang gesetzt wurden.

Sackaufzüge, Sichtmaschinen und andere Mühlenteile wurden ebenfalls von der Flügelradwelle aus angetrieben, wobei einzelne Müller teilweise geradezu geniale Methoden entwickelten, um sich die schwere Arbeit zu erleichtern.

Diese Art des Antriebs ließ sich in leicht modifizierter Form auch anderweitig einsetzen. Allerdings darf man nicht vergessen, daß die Mühle nur bei Wind arbeiten konnte, so daß Windenergie für kontinuierliche Verfahren denkbar ungeeignet war. Mühlentriebwerke dienten gelegentlich auch zum Antrieb von Gattersägen und Ölmühlen, wo der Müller die auszupressenden Samen auf Lager nehmen und bei günstigen Windverhältnissen verarbeiten konnte.

## Schöpfmühlen

Der Einsatz von Windmühlen zur Landentwässerung hat in den Niederlanden eine bereits Jahrhunderte alte Tradition und geht auf die Zeit zurück, als man dort begann, durch Eindeichung zusätzliches Ackerland zu gewinnen ('Polder').

Zunächst verwendete man ein Schaufelrad. Das Bremsrad auf der Flügelradwelle trieb über ein Winkelgetriebe eine vertikale Achse und diese wiederum eine horizontale Welle an, an deren Ende das Schaufelrad saß. Diese Anordnung ähnelte weitgehend einem konventionellen Wasserrad, mit dem Unterschied, daß die Schaufeln als Wasserheber dienten und nicht selbst umliefen. Schaufelräder dieses Typs wurden auch in England in erheblichem Umfang zur Landentwässerung

eingesetzt. Im 19. und frühen 20. Jahrhundert prägten dort Schöpfmühlen das Bild ganzer Landstriche. Allerdings konnte das Schaufelrad Wasser nur um etwa 1 m bis 1,5 m heben. War die Überwindung größerer Höhenunterschiede erforderlich, so wurden, beispielsweise in Holland, mehrere solcher Räder hintereinandergeschaltet.

Gelegentlich wurden auch schon damals in die Schöpfmühlen Archimedische Schrauben eingebaut, bei denen die Förderhöhe erheblich größer als beim Schaufelrad ist. Heute bilden diese 'Wasserschnecken' in den Niederlanden einen festen Bestandteil der modernen Landentwässerungsanlagen.

## Windpumpen

Im Gegensatz zu den herkömmlichen, im wesentlichen zum Getreidemahlen verwendeten Windmühlen bezeichnet man die der ländlichen Wasserversorgung dienenden Windmühlen auch als 'Windmaschinen'. Sie kamen gegen Ende des 19. Jahrhunderts auf und trieben über einen einfachen Kurbeltrieb Kolbenpumpen an. In manchen Gegenden Europas wurden sie dazu benutzt, Wasser aus Bächen, Flüssen und Seen auf die Felder zu pumpen, doch die Ausbreitung der Elektrizität und der Bau moderner Bewässerungsanlagen haben sie inzwischen weitgehend von ihrem Platz verdrängt.

In den dünner besiedelten Gebieten Amerikas, Australiens und Südafrikas werden heute noch Tausende von Windpumpen installiert. Sie bestehen im wesentlichen aus einem vielflügeligen Windrad von 3 m bis 4,5 m Durchmesser auf einer in Kugellagern geführten Welle, das auf einem etwa 7,5 m hohen stählernen Turmgerüst befestigt ist. Die Welle treibt über ein Zahnradvorgelege eine Kurbel an; die Kurbelstangen wiederum betätigen ein Querhaupt, an dem das Pumpengerüst sitzt. Da alle wesentlichen Teile in ein Ölbad eingeschlossen sind, können Windräder dieses Typs ein Jahr lang wartungsfrei laufen. Durch eine Windfahne mit eingebauter Feder wird das Windrad in den Wind gedreht. Wenn die Windgeschwindigkeit 40 km/h überschreitet und der Winddruck die Kraft der Feder übersteigt, wird das Rad aus dem Wind geklappt, um eine Überbeanspruchung zu vermeiden. Über eine dünne Kette, die mit einer am Boden des Turmes befindlichen Winde verbunden ist, kann man die Windfahne verstehen und damit das Windrad in Gang oder auch stillsetzen.

In trockenen Regionen, wo der Grundwasserspiegel 10 m bis 100 m unter der Erdoberfläche liegt, läßt sich durch ein Bohrloch, das unten eine Kolbenpumpe und oben, am Ausgang, ein Windrad aufweist, ein Wasserbehälter für die häusliche Selbstversorgung mit Wasser füllen.

Die tatsächliche Leistung einer Windpumpe (d.h. das Produkt aus dem Gewicht des gehobenen Wassers und der Förderhöhe) liegt bei einem Rad von 4,25 m Durchmesser und einer Windgeschwindigkeit von 40 km/h etwa bei 375 Watt. Dies reicht gerade aus, um einen Hausrat mit Wasser zu versorgen.

## Elektrizitätserzeugung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann nur gesagt werden, daß alle Versuche, die Windkraft in mehr als nur bescheidenem Umfang zur Erzeugung elektrischer Energie zu nutzen, fehlgeschlagen sind. Was die Zukunft in dieser Hinsicht bringt, bleibt abzuwarten. Da jedoch weltweit die Suche nach alternativen Energiequellen, die an die Stelle von Erdöl und Atomkraft treten könnten, verstärkt vorangetrieben wird, läßt sich absehen, daß für Forschungsvorhaben auf diesem

**Rechts:** Charakteristisch für griechische Windmühlen sind viele kleine Segel nach der Art der Lateinsegel mediterraner Schiffe. Diese Mühle befindet sich auf Mykonos.

Gebiet erhebliche Mittel zur Verfügung stehen werden.

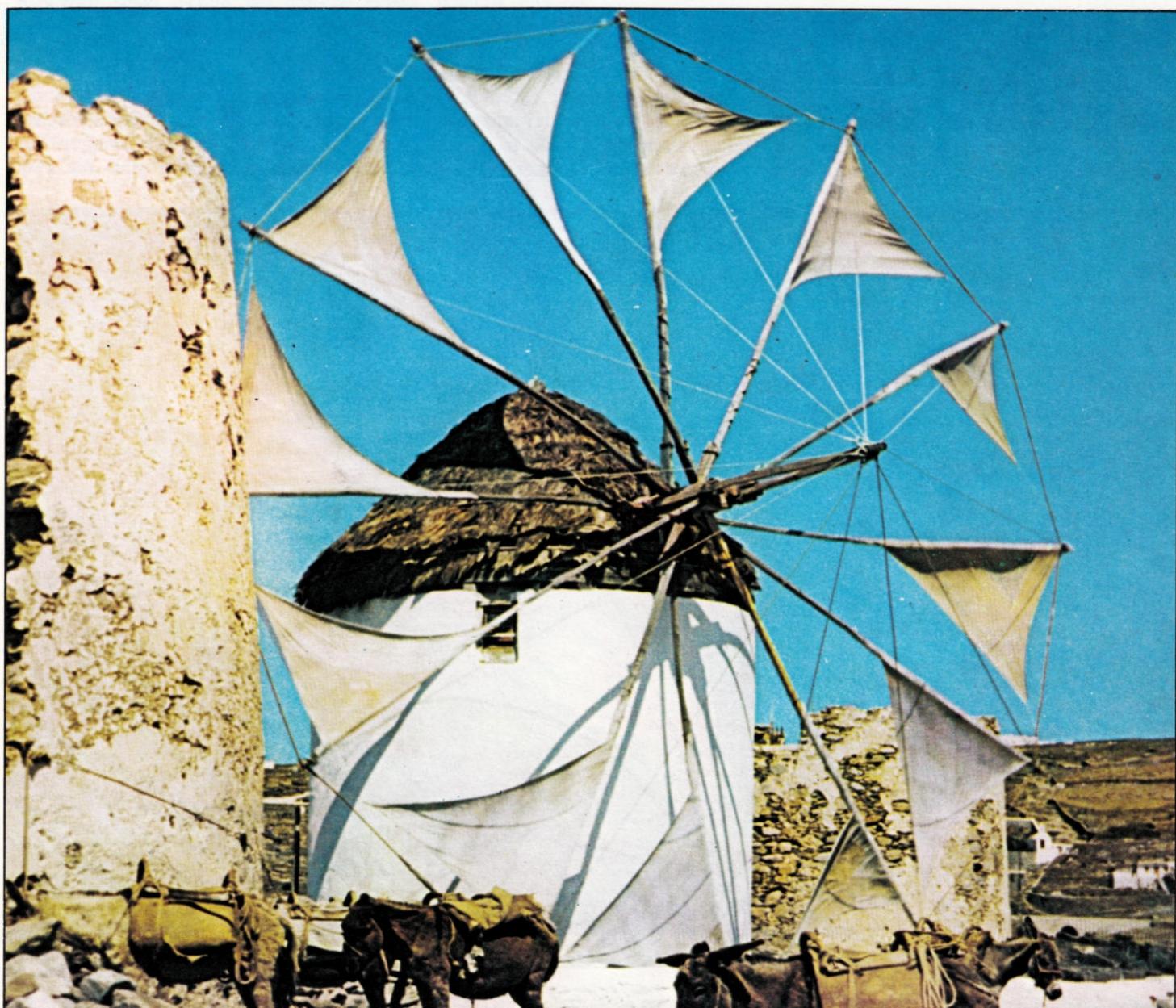
Ein kleiner 'Windlader' kann, mit Sorgfalt konstruiert und gewartet, durchaus mit gutem Erfolg arbeiten, vorausgesetzt, er ist auf einem ausreichend hohen Gerüst in einer windreichen Gegend und nahe genug am Abnehmer der von ihm erzeugten elektrischen Energie installiert. Es wird nicht immer genügend berücksichtigt, daß es sich bei einer solchen Anlage in der Regel um einen Niederspannungsgenerator handelt, so daß eine Energieübertragung über größere Entfernungen entweder mit hohen Verlusten oder mit hohen Kosten verbunden ist. Das Anbringen eines Windgenerators zur Selbstversorgung mit elektrischer Energie auf dem Haustisch stellt auch keine zufriedenstellende Lösung dar, da sich die von dem Gebäude verursachten Wirbelströme störend bemerkbar machen.

Im Regelfall werden Niedervoltbatterien aufgeladen, oder aber, wenn der Wind stetig und mit ausreichender Geschwindigkeit bläst, die erzeugte elektrische Energie direkt genutzt. Eine reichliche Stromversorgung der meisten westeuropäischen und amerikanischen Haushalte und der relativ geringe Preis eines kleinen motorbetriebenen Generators, der einen Wechselstrom von zum Betrieb von Haushaltsgeräten geeigneter Spannung und Frequenz liefert, lassen die Installation kleiner Windlader, als wenig sinnvoll erscheinen.

Man muß sich bewußt sein, daß das spezifische Volumen der Luft gering ist, ebenso wie die durchschnittliche Windgeschwindigkeit. Auf der anderen Seite kann eine steife Brise

hohe und leicht gebaute Aggregate schwer beschädigen, ja sogar zerstören. In Dänemark, wo stürmische Winde an der Tagesordnung sind, wurde während des Zweiten Weltkrieges, als ein akuter Brennstoffmangel herrschte, in beträchtlichem Umfang mit der Erzeugung elektrischer Energie aus Windkraft experimentiert, doch Firmen, die Windgeneratoren mit einer Leistung von 5 kW bis 25 kW hergestellt hatten, stellten nach dem Kriege die Produktion ein. Heute ist man sich darüber einig, daß die Windenergie für größere Anlagen am besten auf dem Weg über die Verwendung mehrflügeliger Propeller, die als schnellaufende Windräder Induktionsgeneratoren antreiben und ein Stromnetz speisen, genutzt werden kann. Der Windgenerator war nicht in der Lage, eine gleichmäßige Stromversorgung sicherzustellen. Sein wirtschaftlicher Wert darf deshalb nur vor dem Hintergrund der Brennstoffersparnis gesehen werden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg sind verschiedene Windkraftanlagen zu Versuchszwecken gebaut worden, jedoch alle ohne sichtbaren Erfolg. Ein deutsches Projekt aus dem Jahre 1947, das allerdings bis heute auf seine Realisierung wartet, sah einen Propeller von 130 m Durchmesser vor, der zusammen mit einem Generator auf einem 259 m hohen Turm zu installieren wäre. 47 solcher Modelle wären nötig, um einen einzigen 660 MW-Dampferzeuger zu ersetzen, allerdings auch nur dann, wenn die Windgeschwindigkeit mehr als 40 km/h betrüge, was bereits als 'steife Brise' bezeichnet wird (Windstärke 6 nach der Beaufort-Skala). An einem windstillen Tag aber wäre eine solche Anlage wenig nützlich gewesen.



## WORTVERARBEITENDE SYSTEME

**Wortverarbeitende Systeme können im Geschäftsleben und in der Verwaltung viel Zeit bei der Anfertigung von Briefen und schriftlichen Berichten sparen helfen. Sekretärinnen können damit sinnvoller und wirtschaftlicher arbeiten.**

'Wortverarbeitung' ist ein moderner Ausdruck für die Anfertigung eines Briefes oder eines anderen Dokuments und möglichst perfekter Kopien zur Übermittlung an die jeweiligen Empfänger. Die einfachste Art der Wortverarbeitung besteht aus der handschriftlichen Abfassung einer Nachricht, der Übergabe an eine Stenotypistin zur Anfertigung einer maschinengeschriebenen Fassung, der Herstellung der notwendigen Kopien und dem Absenden an die vorgesehenen Empfänger. In früheren Zeiten waren Sekretäre damit beschäftigt, Briefe in eleganter, stilvoller Schrift niederzuschreiben. Die wachsende Dokumentations- und Informationsflut des zwanzigsten Jahrhunderts hat jedoch zu einer Vereinfachung und Beschleunigung der verschiedenen Schritte geführt, vor allem aus wirtschaftlichen Gründen. Neben der üblichen SCHREIBMASCHINE werden heute Diktiergeräte, automatische Schreibmaschinen, Kopiergeräte und elektronische Datenübertragungsanlagen zur Wortverarbeitung eingesetzt.

### Diktiergeräte

Wenn Führungskräfte im Wirtschafts- und Verwaltungsleben alle Schriftstücke selbst anfertigen müßten, wären die Kosten extrem hoch. Der erste Ansatz, die Zeit hochbezahlter Kräfte besser zu nutzen, führte zur Beschäftigung von Sekretären, denen man die schriftlich festzuhaltenden Informationen diktierte. Aber auch dabei wird wertvolle

Zeit, diesmal des Sekretärs oder der Sekretärin, vergeudet, denn die stenografierten Notizen müssen erst noch ausgeschrieben werden, und während der Diktate sind Störungen wie z.B. Telefonanrufe fast nie auszuschließen. Diese Umstände führten zur Entwicklung von Diktiergeräten. Damit kann der Urheber einer Nachricht die zur Niederschrift vorgesehene Information registrieren, aber auch jederzeit zum Nachdenken oder bei Unterbrechungen eine Pause einlegen. Die Sekretärin kann die fertige Aufnahme mit der gewünschten Geschwindigkeit abspielen. Durch Betätigung eines Fußschalters spielt sie sich über Kopfhörer kurze Teile der Aufnahme vor, und die Hände sind zum Schreiben frei.

Die wichtigsten Träger (Speichermedien), die in Diktiergeräten benutzt werden, sind mit magnetischen Oxidteilchen beschichtete Kunststoffbänder (wie bei TONBANDGERÄTEN) oder Kunststoffplatten, in die eine Aufnahme als Rille eingeschnitten werden kann (ähnlich wie bei Schallplatten).

Fortschritte in der Miniaturisierung (Verkleinerung) der Komponenten zur Schallaufzeichnung haben auch die Diktiergeräte sehr klein und kompakt werden lassen. Diese Apparate lassen sich leicht transportieren und können auch auf Reisen, im Fertigungsbereich eines Betriebes usw. eingesetzt werden.

Bei großen Bürokomplexen empfiehlt sich der Einsatz zentraler Diktieranlagen. Sie besitzen entweder eine Anzahl über die Büros verteilter Mikrofone, mit denen der Diktierende Zugriff zu einem zentralen Aufnahmegerät hat, oder die Aufnahmestation kann über das Haustelefonnetz angewählt werden. Dabei werden die Start-, Halt- und Abhörfunktionen vom Telefonapparat aus betätigt.

### Schreibmaschinen

Seit ihren Anfängen vor nahezu 100 Jahren hat sich die Schreibmaschine von einem ausschließlich mechanischen Gerät zu einem Apparat entwickelt, der mit zeitgemäßen elektronischen Bauteilen bestückt ist. Leider sind die Pro-



bleme des Maschineschreibens nach wie vor dieselben: Tippfehler müssen umständlich korrigiert werden und hinterlassen meist Spuren. Bei der kleinsten Änderung muß mindestens ein ganzes Blatt neu geschrieben werden, der Arbeitsaufwand vervielfacht sich und die Tätigkeit wird langweilig, wenn viele Empfänger ähnliche Informationen erhalten sollen.

Diese Probleme wurden durch die automatische Schreibmaschine und ihr modernes Gegenstück, den Texteditor, behoben. Automatische Schreibmaschinen entwickelten sich als naheliegende Erweiterung elektrischer Schreibmaschinen, die leicht automatisiert werden konnten. Anfänglich dienten automatische Schreibmaschinen vor allem der Erledigung eintöniger, sich wiederholender Schreibaufgaben. Die Information wurde dazu in codierter (verschlüsselter) Form festgehalten, meist auf einem Lochstreifen. Die ersten Maschinen arbeiteten nach dem vom elektrischen Klavier und von Drehorgeln bekannten Prinzip. An jeder Position, an der ein Loch in einem gestanzten Papier auftauchen konnte, endete ein Vakuumröhrenchen. War ein Loch vorhanden, so trat Luft in das jeweilige Röhrchen ein, und ein Relais wurde aktiviert, das die entsprechende Schreibmaschinentaste betätigte. Die Papierrolle konnte nach Wunsch aufgelegt und abgespielt werden, und man erhielt ein schnell geschriebenes, fehlerfreies Dokument.

Mit der Einführung der elektrischen Kugelkopfschreibmaschine durch die Firma IBM wurde ein Gerät verfügbar, das von vielen Fabrikanten als Komponente in automatischen Schreibmaschinen genutzt wurde. Der Kugelkopf eignet sich wegen der hohen Schreibgeschwindigkeit von etwa 150 Worten pro Minute und wegen der leichten Codierung der Dreh- und Kippbewegung besonders gut zur Automatisierung. Bei einem Modell wird ein 16 mm breites Magnetband zur Aufzeichnung benutzt, das an einem Rand perforiert ist. Drückt man eine Taste, so wird eine eindeutig zugeordnete Codierung vorgenommen, indem eine bestimmte Kombination von RELAIS aktiviert wird. Ein Aufnahmekopf, über eine Nocke und eine Welle angetrieben, bewegt sich über die Breite des Bandes. Auf derselben Welle sitzt ein Magnet am Ende eines 'Geberarms', der über eine Reihe von Induktions-

spulen streicht und Pulse erzeugt. Diese übertragen die Information von den aktivierte Relais auf den Aufnahmekopf, der an der jeweils passenden Stelle auf dem Band ein Bit (binäres Zeichen) aufzeichnet. Die aufgezeichnete Information wird bei der Rückwärtsbewegung überprüft, und das Band wird zur nächsten Aufzeichnung ein Stück weitergefahrene. Wird während der Aufzeichnung eine falsche Taste gedrückt, so genügt die Betätigung der Rücktaste, und das falsche Zeichen auf dem Band wird durch das nun eingegebene richtige Zeichen 'überschrieben'. Damit wird das Anfertigen von Schriftstücken beschleunigt, da Fehler sofort korrigiert werden können. Das fertige Band kann mit einer Geschwindigkeit von etwa 150 Worten pro Minute beliebig oft abgespielt werden und die fehlerfreie Endfassung produzieren.

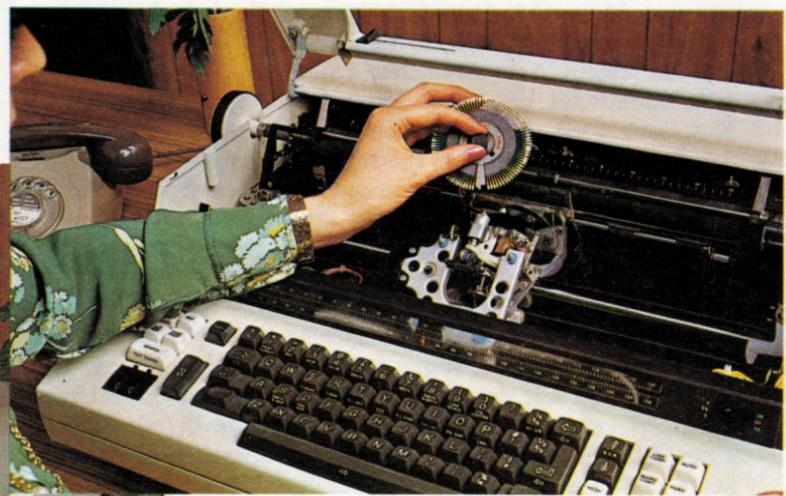
Eine weitere vorteilhafte Eigenschaft dieser und ähnlicher Geräte ist die Möglichkeit, Information von einer Bandstation auf eine andere zu übertragen. Textbearbeitungen können auf diese Weise sehr schnell und einfach vorgenommen werden. Die Übertragung vom alten auf ein neues Band kann jederzeit unterbrochen werden, um neue Textteile über die Tastatur einzufügen. Diese Doppel-Anordnung ist auch sehr nützlich, wenn ein Standardbrief an viele Empfänger geschrieben werden soll. Der Brief wird auf einem Band gespeichert, während die Namen und Adressen sich auf einem zweiten Band befinden. Durch geeignete Schaltbefehle wird die Wiedergabe jeweils von dem einen oder dem anderen Band abgerufen. So entsteht jedesmal derselbe Brieftext mit einer neuen Anschrift. Wie bei den Diktiergeräten gibt es auch bei den verschiedenen automatischen Schreibmaschinen eine Vielfalt von Bandtypen, aber alle Hersteller gehen von den gleichen Prinzipien der Korrektur und Textbearbeitung aus.

Einen weiteren Fortschritt bedeutet die Verwendung von magnetisch beschichteten Karten statt Bändern. Die Magnetkarten haben das gleiche Format wie die in der Datenverarbeitung üblichen 80-spaltigen Lochkarten. Man kann pro Textseite eine Magnetkarte anfertigen, wobei jede Zeile Text in einer bestimmten Gruppe von Spuren auf der Karte aufgezeichnet wird. Je nach Hersteller und Modell findet

**Links:** Eine Schreibmaschine mit Textspeicher. Ein Arbeitsspeicher kann bis zu 8000 Zeichen aufnehmen. Ein 'endloses Band' hat Platz für 200 000 Zeichen, etwa 80 bis 100 Seiten eines Berichts.

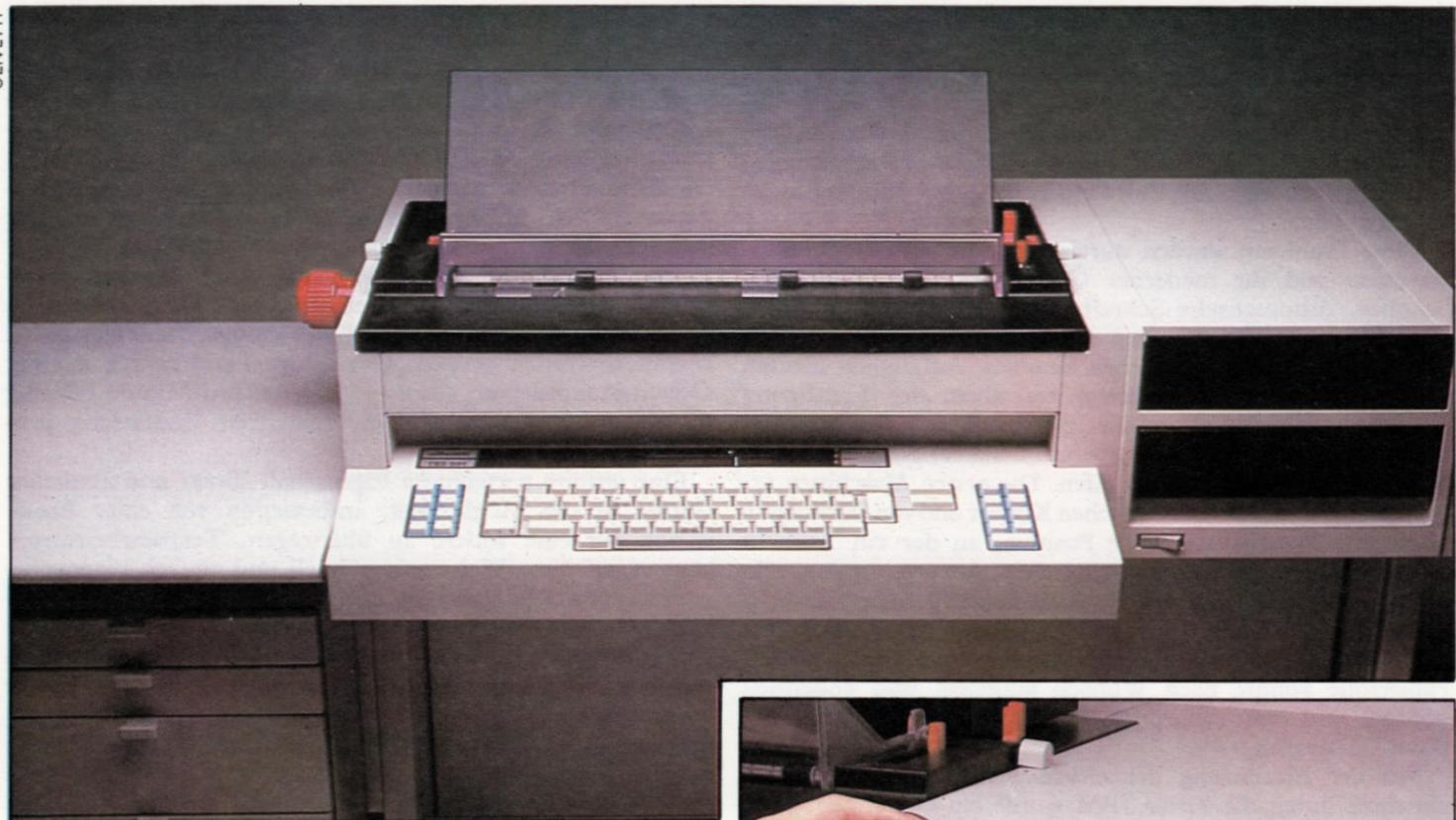


RANK XEROX



**Oben:** Die Xerox 800 ist im Gegensatz zu anderen Maschinen nicht mit einem Kugelkopf, sondern mit einer Typenscheibe ausgerüstet.

**Links:** Das Xerox-800-Textsystem ist ein elektronisches System. Es nimmt die Zeichen entweder auf Magnetkarten oder, wie im Bild, auf Magnetband-Kassetten auf.



**Oben:** Der Olivetti-Texteditor TES 501, ein elektronisches Wortverarbeitungssystem für Korrespondenz und automatische Texkorrektur.

**Rechts:** Bei dem TES 501 wird die Information nicht mehr auf Band oder Karte, sondern auf einer Scheibe gespeichert.

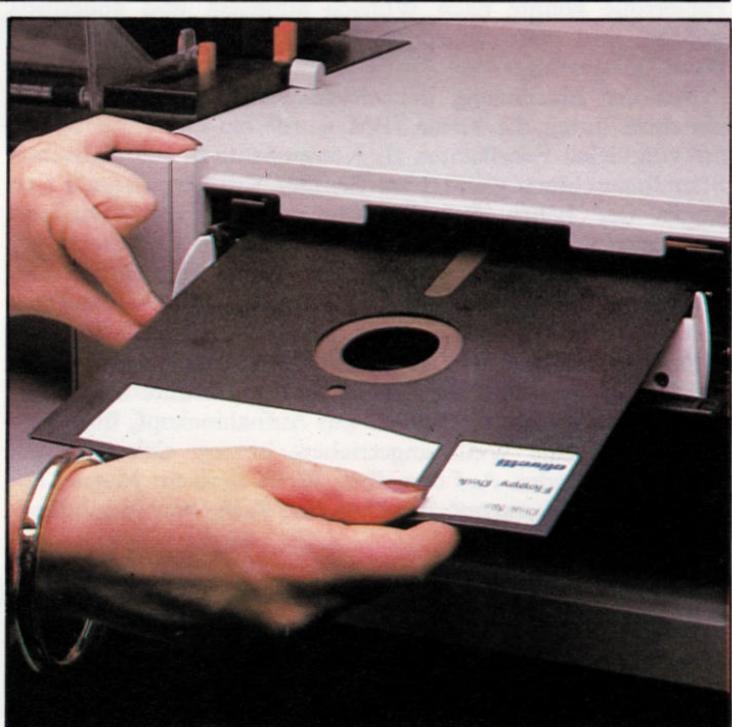
man zwischen 50 und 75 Spuren pro Karte und 100 bis 150 Zeichen pro Spur. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens ist der direkte Zugriff zu jeder geschriebenen Zeile, ohne die langwierigen Umspulvorgänge der Bandgeräte vornehmen zu müssen.

Die neuesten Textverarbeitungssysteme besitzen zwar nach wie vor Magnetbänder oder -karten, die jedoch erst beschrieben werden, wenn die Endfassung ausgegeben werden soll. In einem Arbeitsspeicher kann der Text zeilenweise oder seitenweise bearbeitet werden. Erst nach vollständiger Korrektur wird er vom Speicher auf die Magnetkarte oder das Band übertragen. Die modernsten Anlagen haben heute Bildschirm-Sichtgeräte, auf denen man den Speicherinhalt darstellen und Korrekturen und Änderungen direkt nachprüfen kann, ehe die endgültige Aufzeichnung stattfindet.

### Kopieren und Fernübertragung

Auch die herkömmlichen Durchschläge von Texten werden immer seltener angefertigt; selbst die Übersendung von Schriftstücken mit der Post wird häufig durch neuere Übermittlungsverfahren überflüssig. Kopiergeräte liefern Kopien großer Qualität, die mit dem Original übereinstimmen und keine zusätzlichen Korrekturen verlangen. Man zieht sie daher immer mehr den mit Kohlepapier angefertigten Durchschlägen vor, die bei jedem Fehler umständlich ausgebessert werden müssen.

Wenn es wichtig ist, ein Dokument schneller als auf dem Postweg zu übermitteln, bedient man sich eines Fernkopierers oder eines FERN SCHREIBERS. Beide benutzen normale Telefonleitungen zum Senden und Empfangen von Information. Die Verbindung muß also zunächst wie bei einem Telefon-gespräch durch Anwählen des Empfängers hergestellt werden.



Danach wird das Gerät auf Ausgabe geschaltet, und die Übertragung kann beginnen.

Beim Fernkopiergerät wird das Dokument zeilenweise und Schritt für Schritt abgetastet, ähnlich der Rastertechnik beim Fernsehen. Helle und dunkle Bereiche werden dabei in elektronische Signale umgesetzt. Auf der Empfangsseite werden diese Signale entschlüsselt, und ein Schreiber, der sich über einem Blatt Papier ebenfalls zeilenweise in Schritten voranbewegt, macht jeweils einen kleinen Punkt, wenn das Original an der entsprechenden Stelle dunkel ist. Man erhält mit dieser 'Faksimileübertragung' ein dem Original nachgezeichnetes Bild, dessen Qualität von der Feinheit des Rasters abhängt.

Die neuesten Textverarbeitungssysteme sind ebenfalls für Fernübertragung ausgerüstet. Die auf einem Band oder einer Magnetkarte gespeicherte Information wird vom sendenden System eingelesen und über eine Telefonleitung dem empfangenden Gerät überspielt, das den Text mit hoher Geschwindigkeit ausschreibt oder speichert.



**Oben und links:** Ein modernes Textverarbeitungssystem von Philips. Auch hier werden die Informationen auf einer flexiblen Scheibe gespeichert. Oben ist der elektronische Drucker des Systems zu sehen, links Tastatur und Bildschirm, auf dem man den eingegebenen Text jederzeit verfolgen kann.



**Rechts:** Elektronisches Fernübertragungssystem. Das Gerät gibt Informationen per Telefonleitung weiter und kann selbst auf diese Weise Informationen empfangen.

# X

## XEROGRAPHIE

Bis zur Einführung der Xerografie gab es nur die fotografischen Kopierverfahren. Sie sind relativ langsam, arbeiten naß-chemisch und erfordern eine große Geschicklichkeit. Die Xerografie ist dagegen ein schnelles, trockenes und für jeden Benutzer leicht zu handhabendes Kopierverfahren.

Die ersten xerografischen Verfahren benutzten eine leitende Platte, die mit Schwefel beschichtet war und durch Reiben mit einem Stück Fell elektrostatisch aufgeladen wurde (siehe ELEKTROSTATIK). Diese Platte wurde dann im Reflex belichtet, wobei an den belichteten Stellen die elektrische Ladung abfloss, während sie an den unbelichteten Stellen erhalten blieb. Dann wurde die Platte mit Lykopodium (Bärlappssamen) oder Collophonium bestäubt, das aber nur an den elektrisch geladenen Stellen festhaftete. Dieses sichtbare Puderbild wurde schließlich auf ein Stück Wachspapier übertragen und stellte so die Kopie dar.

Das heutige xerografische Verfahren arbeitet im Prinzip immer noch ganz ähnlich. Der Kopievorgang läßt sich in sechs getrennte Arbeitsschritte unterteilen. Bevor diese Schritte im einzelnen beschrieben werden, soll die xero-

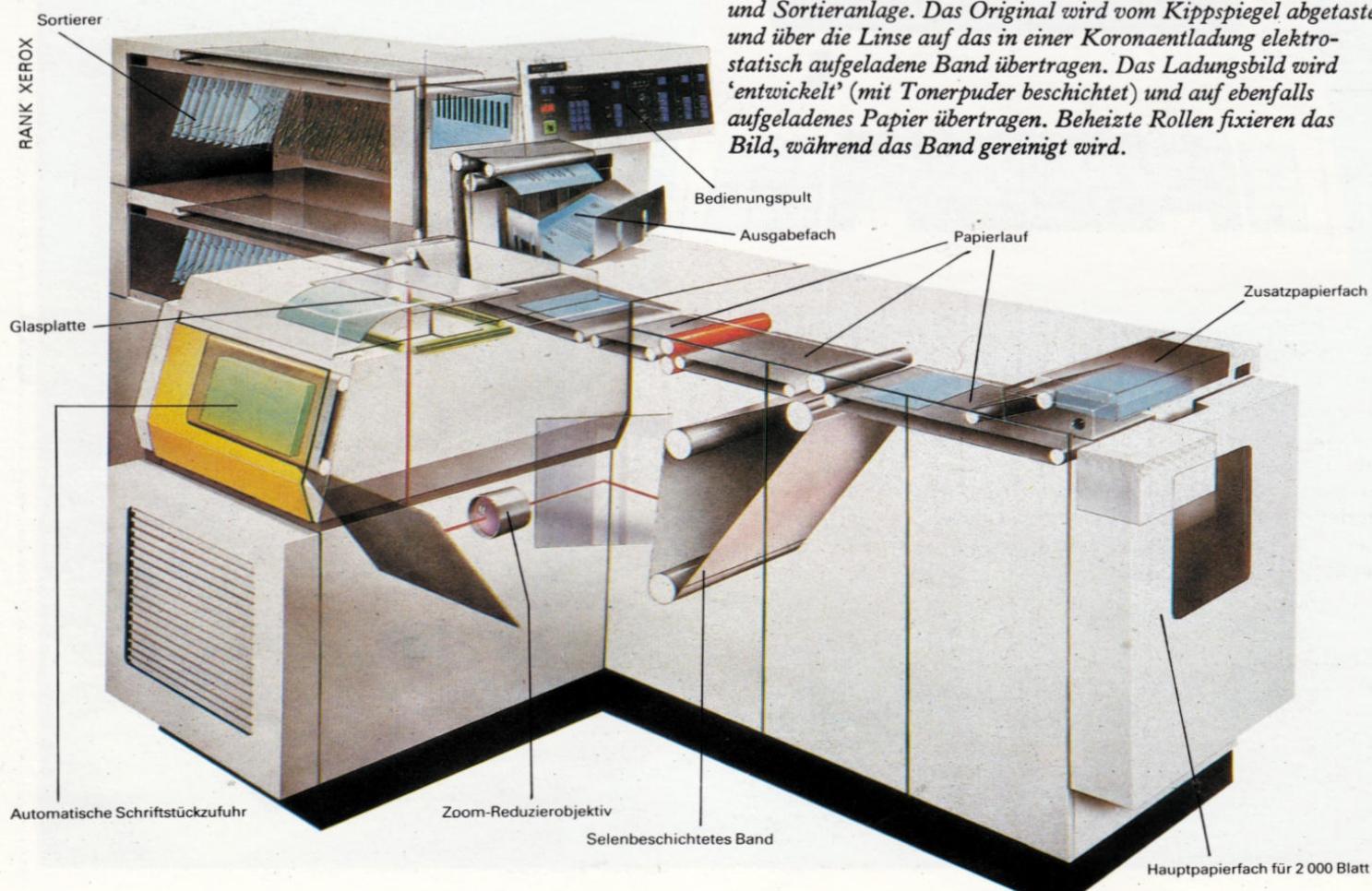
grafische Walze, die wichtigste Komponente der Kopiergeräte, näher betrachtet werden.

### Die xerografische Walze

Die Mantelfläche der Walze besteht aus Aluminium, das oberflächlich in einer Dicke von etwa 10 Atomlagen oxidiert ist. Darauf ist eine besonders lichtempfindliche Schicht aus Selen aufgebracht. Selen ist ein Fotohalbleiter, d.h. er ist nur bei Belichtung elektrisch leitfähig. Wird also die Walze elektrostatisch aufgeladen, so bleibt die Ladung auf ihrer Oberfläche erhalten, solange kein Licht einfällt. Wird die Selenschicht aber belichtet, dann fließt die Ladung zu der darunter befindlichen Aluminiumwalze ab. Die dünne isolierende Oxidhaut verlangsamt dabei die Entladung.

Der erste Schritt im xerografischen Kopievorgang ist die elektrostatische Aufladung der Trommel im Dunkeln. Hierzu wird die Trommel unter einer 'Koronaentladung' hindurchgedreht, wobei positive Ionen auf die Oberfläche aufgesprührt werden. Um eine solche Entladung in Gang zu setzen, wird im einfachsten Falle ein blanker Draht an den positiven Pol einer Hochspannungsquelle (mit etwa 7 kV) angeschlossen. Bei genügend kleinem Abstand zur geerdeten Walze ionisiert die hohe elektrische Feldstärke die Moleküle der Luft, und die beginnende Gasentladung wird in Form einer bläulich leuchtenden Wolke um den Draht herum sichtbar. Um eine über das ganze Format gleichmäßige Kopie zu erhalten, muß die elektrische Aufladung natürlich sehr homogen auf die Walze gebracht werden. Hierzu muß die Walze gleichmäßig, in exakt definiertem Abstand unter der Drahtelektrode hindurchgedreht werden und auch die Hochspannung muß absolut konstant gehalten werden. Eine weitere Voraussetzung ist, daß der Draht sauber und die Aluminiumwalze gut geerdet ist. Alles in allem stellt die elektrostatische Aufladung eine kritische Phase im Arbeitsablauf dar.

*Xerox 9200-Kopiergerät mit automatischer Schriftstückzufuhr und Sortieranlage. Das Original wird vom Kippspiegel abgetastet und über die Linse auf das in einer Koronaentladung elektrostatisch aufgeladene Band übertragen. Das Ladungsbild wird 'entwickelt' (mit Tonerpuder beschichtet) und auf ebenfalls aufgeladenes Papier übertragen. Beheizte Rollen fixieren das Bild, während das Band gereinigt wird.*

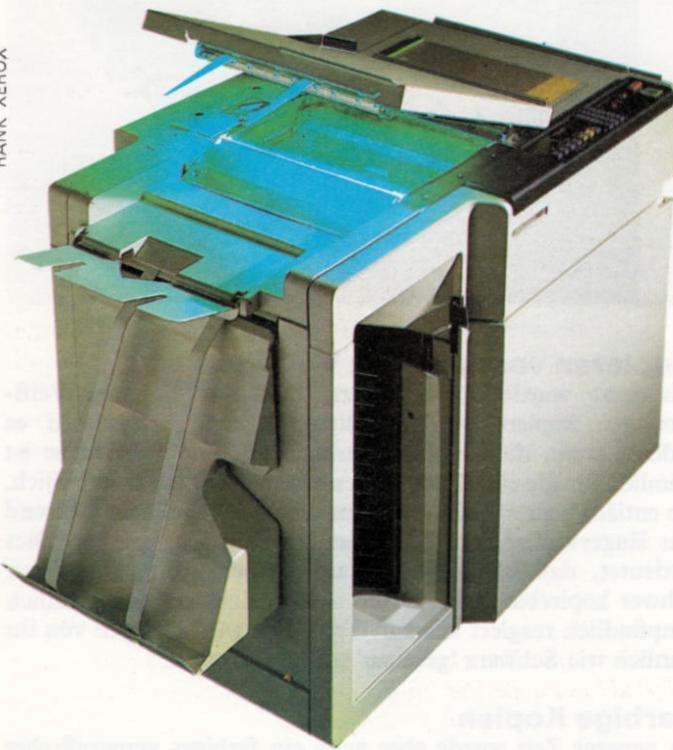


## Belichtung und Entwicklung

Der nächste und zweite Schritt ist die Belichtung. Die zu kopierende Vorlage wird über Spiegel und Linsen spiegelbildlich auf die Trommel projiziert. Wie bereits erwähnt, bleibt die elektrostatische Ladung dabei nur an den dunklen unbelichteten Stellen erhalten. Das projizierte Bild wird auf diese Weise in ein Ladungsbild umgesetzt. Dieses ist analog zur Fotografie zunächst noch latent, d.h. unsichtbar und verschwindet, sobald es dem Licht ausgesetzt wird.

Zur Entwicklung (dritter Schritt) wird ein spezieller Trockenentwickler verwendet. Er besteht aus einer Mischung von einem Trägermaterial und einem Toner. Als Träger für den Toner dienen winzige etwa 0,25 mm dicke Glaskügelchen (manchmal auch Quarz- oder Stahlkügelchen), die mit einer ausgesuchten Plastiksicht überzogen sind. Der Toner ist ein feiner schwarzer Puder, der aus einem thermoplastischen

RANK XEROX

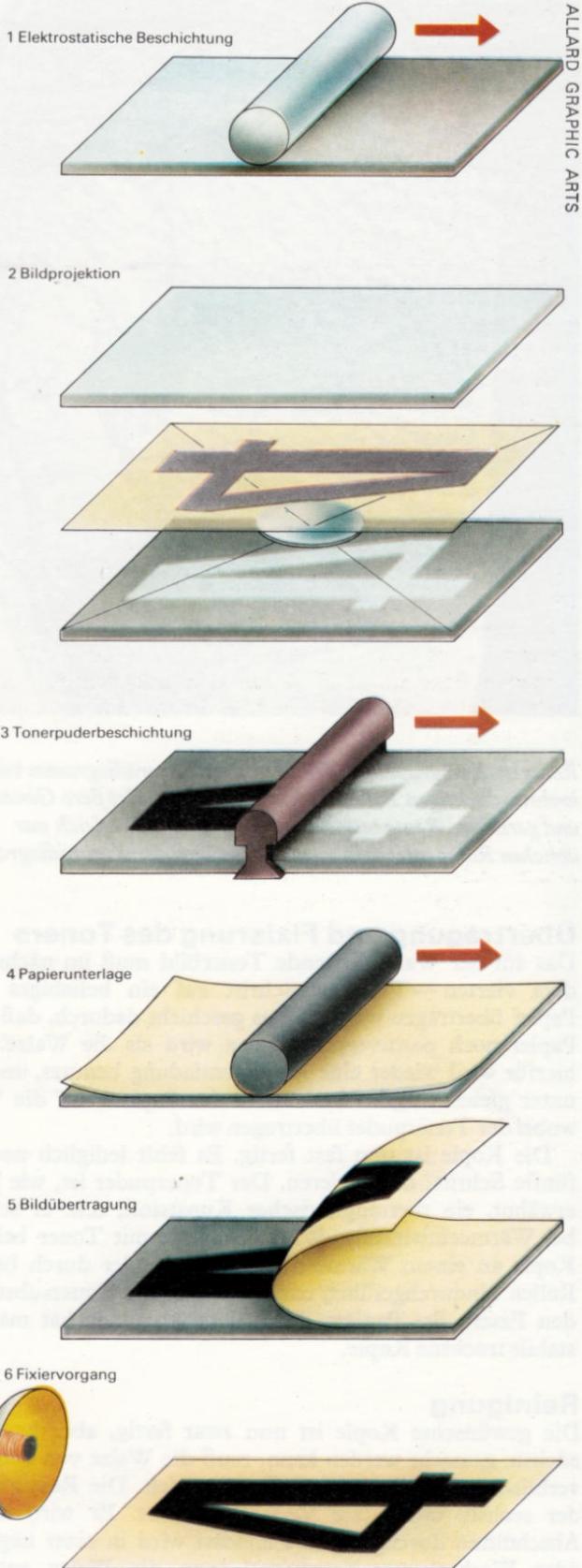


*Oben: Modernes xerografisches Kopiergerät in kompakter Ausführung. Alle Bauteile sind miniaturisiert.*

Kunststoff und Kohlestaub besteht. Die Tonerteilchen sind im Vergleich zu den Trägerkügelchen noch wesentlich kleiner. Ihr Größenverhältnis entspricht etwa demjenigen von Erbsen zu Fußbällen.

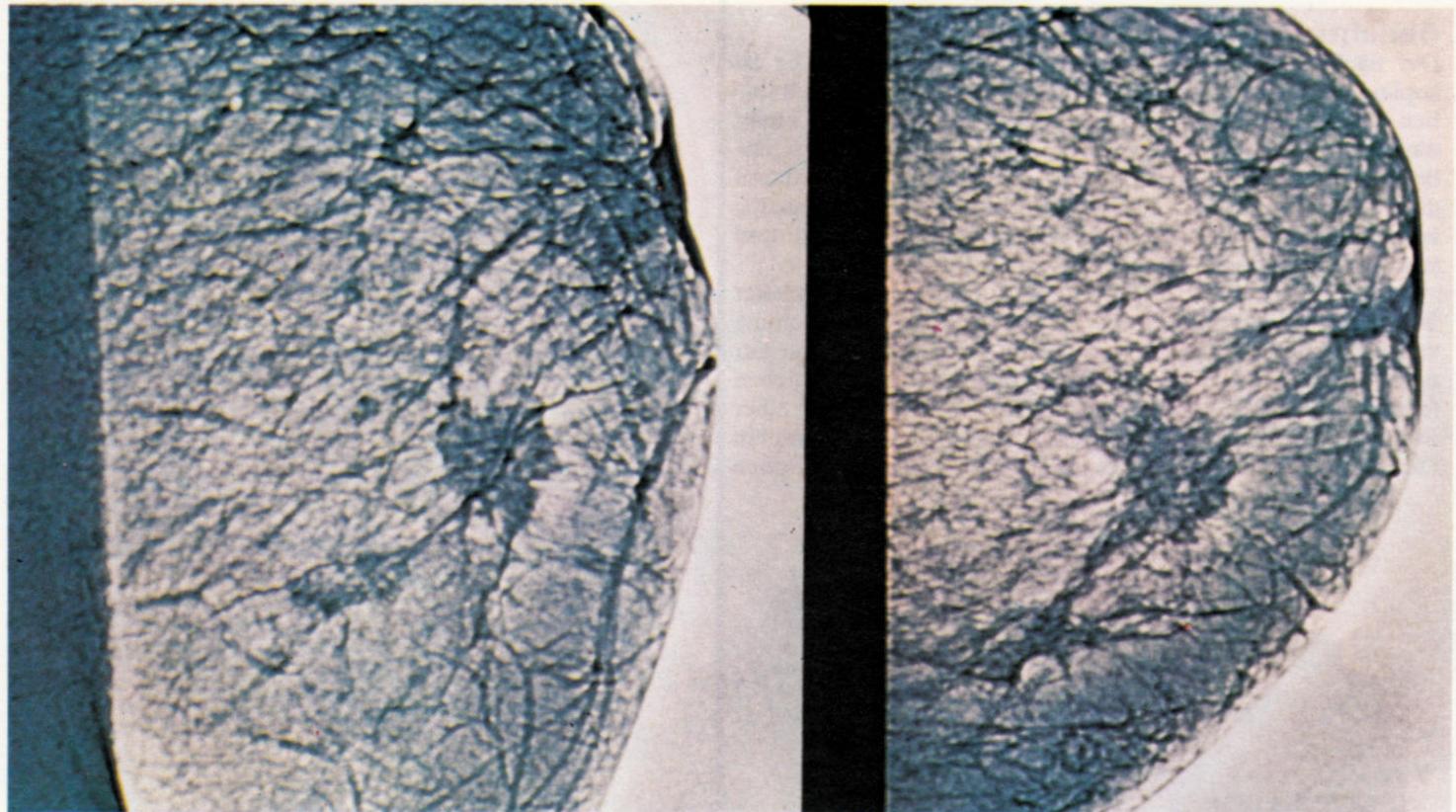
Sowohl der Toner als auch die Trägersubstanz haben besondere reibungs- oder triboelektrische Eigenschaften. Sie erzeugen elektrostatische Ladungen, wenn sie aneinandergerieben werden. Die Trägerkügelchen laden sich positiv, der Toner negativ auf und infolge der gegenseitigen Anziehung werden die Trägerkügelchen mit einer dünnen Tonerschicht bedeckt.

Dieser Trockenentwickler wird nun über die Walze geschüttet, wobei die schwarz gefärbten Trägerkügelchen über die Oberfläche rollen (Kaskadenentwicklung). Da das latente elektrostatische Bild aber stärker positiv geladen ist als die Trägerkügelchen, trennt sich der negativ geladene Tonerstaub von seinem Träger und bleibt an den aufgeladenen Stellen der Walze haften. Die dunklen Flächen des Originals werden folglich auch in der Kopie geschwärzt; auf der Walze entsteht ein sichtbares positives Tonerbild.



*Xerografischer Prozeß: Eine Halbleiterplatte wird elektrostatisch aufgeladen. Wenn ein Bild auf die Oberfläche projiziert wird, bleiben nur die dunklen Stellen aufgeladen und der feine Puder bleibt auf ihnen haften. Das 'Bild' kann dann auf eine andere Unterlage übertragen und fixiert werden.*

ALLARD GRAPHIC ARTS



**Röntgen-Xerographie in der Medizin:** Xeroradiogramm von zwei krebsverdächtigen Brüsten (dunkle Stellen). Größere Genauigkeit und geringere Röntgenstrahlung gehören im Vergleich zur üblichen Röntgentechnik zu den Vorteilen der Xeroradiographie.

### Übertragung und Fixierung des Toners

Das auf der Walze haftende Tonerbild muß im nächsten — dem vierten — Verfahrensschritt auf ein beliebiges Stück Papier übertragen werden. Das geschieht dadurch, daß dieses Papier noch positiver aufgeladen wird als die Walze. Auch hierfür wird wieder eine Koronaentladung benutzt, und zwar unter gleichzeitigem Andrücken des Papiers auf die Walze, wobei der Tonerpuder übertragen wird.

Die Kopie ist nun fast fertig. Es fehlt lediglich noch der fünfte Schritt: das Fixieren. Der Tonerpuder ist, wie bereits erwähnt, ein thermoplastischer Kunststoff, d.h. er schmilzt bei Wärmeeinwirkung. Wird daher die mit Toner behaftete Kopie an einem Wärmestrahler vorbei oder durch beheizte Rollen hindurchgeführt, dann schmilzt die Tonersubstanz in den Fasern des Papiers. Nach dem Abkühlen hat man eine stabile trockene Kopie.

### Reinigung

Die gewünschte Kopie ist nun zwar fertig, aber bevor die nächste gemacht werden kann, muß die Walze von den noch verbliebenen Tonerresten befreit werden. Die Reinigung ist der sechste und letzte Verfahrensschritt. Er wird in drei Abschnitten durchgeführt. Zunächst wird in einer negativen oder Wechselstrom-Koronaentladung die Walze entladen, dann wird sie angewischt und schließlich belichtet.

Die negative Entladung zerstört die positive Restladung und erleichtert das anschließende Abbürsten bzw. Abwischen der Trommel. Andererseits können dabei aber auch neue elektrostatische Ladungen erzeugt werden, so daß die Walze zusätzlich noch belichtet und dadurch ladungslos gemacht werden muß. Obgleich für jede Kopie die angeführten sechs Verfahrensschritte erforderlich sind, können einige Kopiergeräte dennoch bis zu zwei Kopien pro Sekunde machen.

### Kopieren von farbigen Vorlagen

Bis jetzt wurde vorausgesetzt, daß nur Schwarz/Weiß-Vorlagen kopiert werden sollten. Komplizierter wird es jedoch, wenn die Originale farbig sind. Die Selenwalze ist nämlich für die einzelnen Farben unterschiedlich empfindlich. So entlädt blaues Licht die Selenschicht sehr schnell, während das längerwellige rote Licht das nur sehr langsam tut. Dies bedeutet, daß blaue Stellen auf weißem Untergrund nur schwer kopierbar sind, da die Selenschicht auf Blau ähnlich empfindlich reagiert wie auf Weiß. Rot wird dagegen von ihr ähnlich wie Schwarz 'gesehen' und gut kopiert.

### Farbige Kopien

In neuerer Zeit wurde aber auch ein farbiges xerografisches Verfahren entwickelt, das in sechs Farben und zusätzlich in Schwarz kopiert. Es ähnelt dem Farbdruckverfahren und arbeitet auch mit drei Farbauszügen des Originals. Die Farben sind Purpur, Gelb und Blaugrün, die Grundfarben des subtraktiven Farbensystems (siehe KOLORIMETRIE). Rot, Grün und Blau können durch das Übereinanderdrucken von jeweils zwei subtraktiven Farben erhalten werden: Aus Purpur und Gelb wird Rot, aus Gelb und Blaugrün wird Grün und aus Blaugrün und Purpur wird tiefes Blau. Alle drei Farben übereinandergefügt ergeben natürlich Schwarz.

Um z.B. das purpurfarbene (= rotblaue) Teilbild des farbigen Originals zu erhalten, wird durch ein komplementärfarbenes grünes Filter kopiert. Die Selentrommel wird dann überall dort entladen, wo grünes und natürlich auch weißes Licht, das ja Grün enthält, auftrifft. Das andersfarbige, nämlich rote und blaue Licht wird im Grünenfilter zurückgehalten, die entsprechenden Stellen erscheinen schwarz und bleiben auf der Selentrommel geladen. Dieses Ladungsbild wird dann mit einem purpurfarbenen Toner eingefärbt und damit in der originalgetreuen Farbe übertragen.

Die anderen beiden Grundfarben werden in ähnlicher Weise erhalten. Die drei Farbauszüge mit den entsprechenden Belichtungen werden hintereinander ausgeführt. Das Farbpaket wird dann durch Wärmeeinwirkung fixiert. Der gesamte Kopievorgang dauert etwa 30 Sekunden.



# Erfindungen 63: FLUGZEUGE

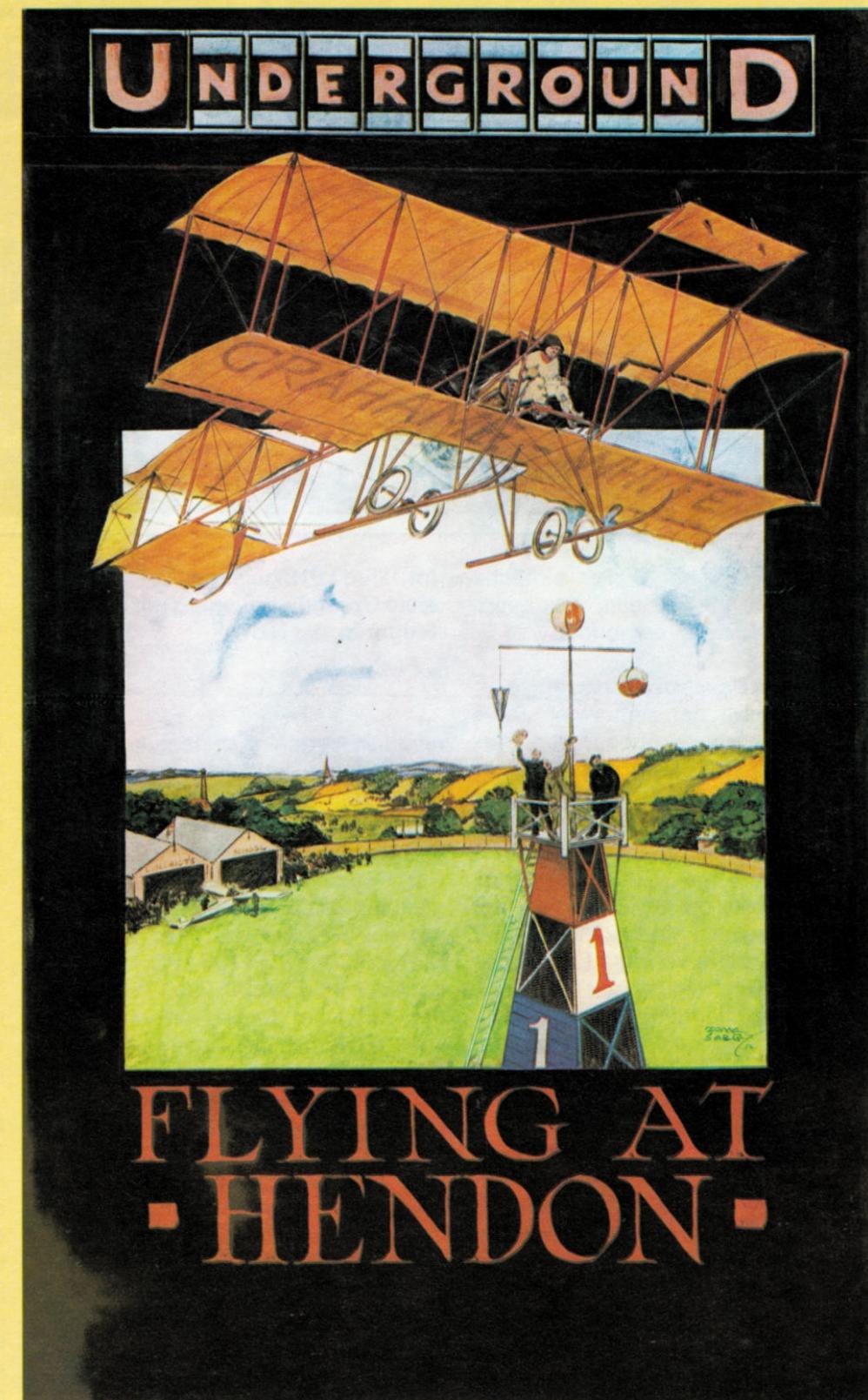
Der Kutscher von Sir George Cayley (1773 bis 1857), dem Luftfahrt-Pionier des 19. Jahrhunderts, drohte mit Kündigung, weil er es ablehnte, in Sir Cayleys primitivem Gleitflugzeug zu fliegen. Dieses Ereignis fand im Jahre 1853 bei Scarborough in Yorkshire statt und bedeutete einen der ersten Schritte zum Flugzeug und zur Beförderung von Personen in der Luft. Es war bereits möglich, mit einem Ballon zu fliegen, und anlässlich der Belagerung von Paris während der Jahre 1870 und 1871 wurden viele Menschen mit Ballons aus der eingeschlossenen Stadt befreit. Aber die Ballons konnten nur dahin fliegen, wohin sie der Wind, eine sehr unzuverlässige Antriebskraft, trieb.

## Die ersten Lufttransporte

Während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde der Verbrennungsmotor erfunden und als Antriebsquelle für Luftschiffe nutzbar gemacht. Im Jahre 1903 gelang dann den Brüdern Wright der erste Flug in einem 'Flugzeug schwerer als Luft'. Das Fliegen wurde im nachviktorianischen England ein beliebter Sport; aber einige vorausschauende Zeitgenossen trugen sich mit dem Gedanken, das Flugzeug auch als Transportmittel einzusetzen. Während des Jahres 1911 wurden versuchsweise Postflüge zwischen einer Reihe von Orten, unter anderem auch zwischen Hendon (im Nordwesten Londons) und Windsor aufgenommen. In Deutschland jedoch war ein noch bedeutenderer Transportdienst in Angriff genommen worden, für den man sich der neuen, starren Luftschiffe oder Zeppeline bediente. Zwischen 1910 und 1914 wurden rund 35 000 Passagiere auf Flügen zwischen deutschen Städten befördert, ohne daß es zu einem einzigen Unfall gekommen wäre.

## Militärische Verwendung

Gerade als sich Flugzeuge und Luftschiffe als praktische Transportmittel zu erweisen begannen, brach der Erste Weltkrieg aus, und man paßte sie eilends an militärische Zwecke an. Unter Kriegsbedingungen wurden die Leistungen der Flugzeuge und ihrer Motoren mit rasender Geschwindigkeit verbessert. Eine Fluggeschwindigkeit von 110 km/h war im Jahre 1914 normal; bis zum

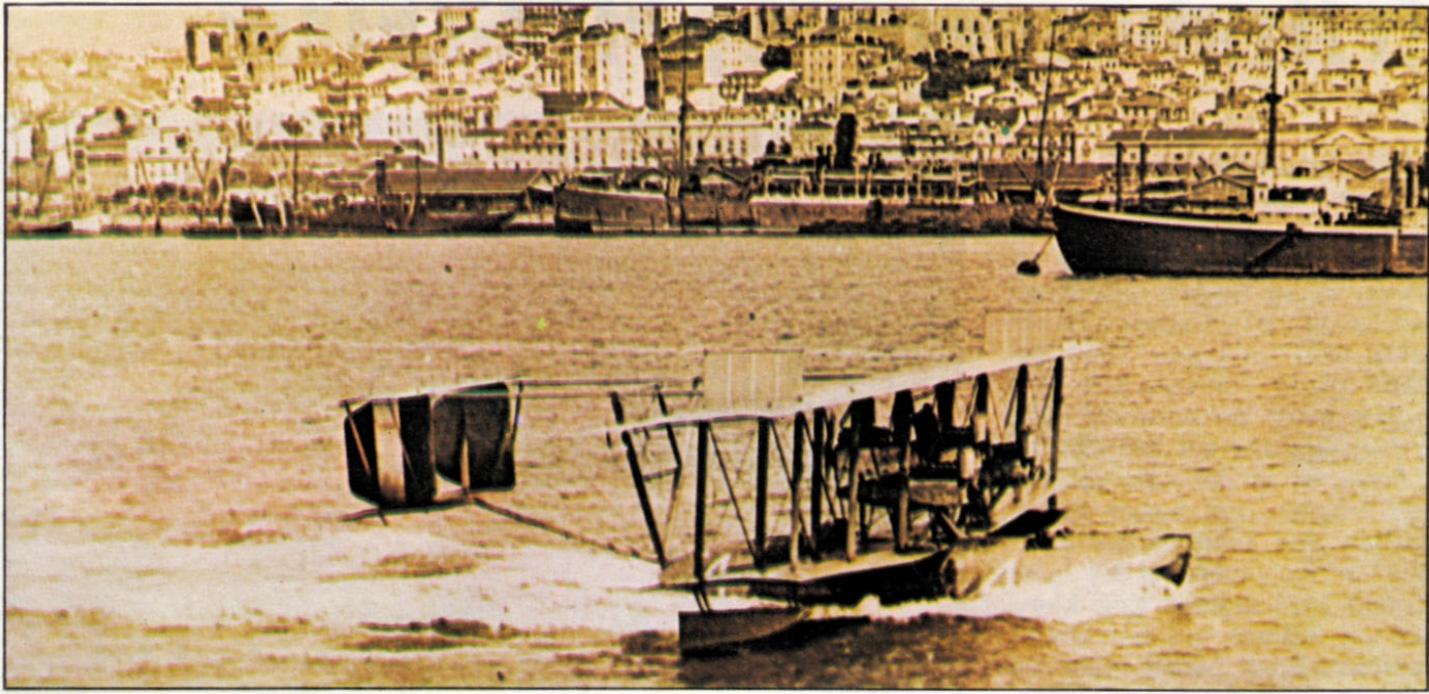


Jahre 1918 war diese Geschwindigkeit verdoppelt worden.

Bei Kriegsende wurde eine Anzahl von Bombern zur Personenbeförderung umgebaut. Da aber ihre Tragfähigkeit oder Nutzlast sehr klein war, kam es in der Folge zu hohen Flugpreisen. Der erste tägliche Flugverkehr wurde im Jahre 1919 zwischen London und Paris eröffnet, wobei man sich eines dieser Bomber zur Beförderung von jeweils vier

Der Flugplatz bei Hendon in der Nähe von London, dargestellt auf einem Plakat der Londoner Untergrundbahn. Viele Pioniere der Luftfahrt machten in Hendon ihre ersten erfolgreichen Flugversuche.

unerschrockenen Fluggästen bediente. Obgleich die Reisezeit durch das Fliegen auf 2 1/2 Stunden verkürzt wurde, war der hierfür zu



zahlende Preis hoch. Der einfache Flug kostete 20 Guineen, was heute ungefähr DM 500,- entspricht.

#### **Die ersten Passagierflugzeuge**

Um die Mitte der zwanziger Jahre wurden Flugzeuge nur für den Personentransport konstruiert, und es kam in der Folge zum Einsatz der ersten wirklichen Passagierflugzeuge. Eines dieser Passagierflugzeuge war die dreimotorige Armstrong-Whitworth Argosy, die 20 Passagiere bei einer Reisegeschwindigkeit von 150 km/h befördern konnte. Leider betrug ihre Reichweite nur 480 km, weshalb auf langen Strecken viele Zwischenlandungen erforderlich wurden. Selbst die berühmte Handley Page HP42, die im Jahre 1931 in Dienst gestellt wurde und 38 Passagiere befördern konnte, erreichte weder eine bedeutend schnellere Reisegeschwindigkeit noch besaß sie eine größere Reichweite. Die Flugzeiten auf Kurzstrecken, wie von London nach Paris, waren beträchtlich kürzer als die Reise über Land und mit der Kanalfähre; jedoch erwies sich die Zeitersparnis auf Langstrecken als nicht so ausgeprägt. Ein Flug von London nach Kapstadt dauerte ungefähr 11 Tage (sofern es keine Verspätungen gab), während der Postdampfer für diese Strecke 17 Tage benötigte.

Das Jahr 1936 war für Flugreisende von Bedeutung. Die Imperial Airways erwarben die neuen Flugboote vom Typ Short Empire, die mit einer Reichweite von etwa 2100 km den Flugzeug-Langstreckenverkehr

**Im Jahre 1919 gelang A.C. Read die erste Ozeanüberquerung mit einem Flugboot, der NC-4.**

revolutionierten. Kapstadt konnte in 6 1/2 Tagen erreicht werden; diese Zeit wurde ein Jahr später auf 4 1/2 Tage verkürzt — die Kontinente begannen einander näherzurücken.

In Deutschland finden wir etwa zur gleichen Zeit ähnliche Entwicklungen mit der Heinkel He 111c mit zwei Motoren zu je 1100 PS und der Focke-Wulf FW200 vom Typ 'Condor' mit einer Reisegeschwindigkeit von 370 km/h. In Amerika wurden zum ersten Male die großartigen Passagierflugzeuge vom Typ Douglas DC3S eingesetzt, deren verbesserte Ausführungen, wie z.B. die Super DC8, ein Langstreckenverkehrsflugzeug mit vier Strahltriebwerken für 251 Fluggäste, noch heute Verwendung finden.

#### **Turbo-Jet und Turbo-Prop-Motoren**

Obgleich bereits im Jahre 1919 der zweimotorige Doppeldecker Vickers-Vimy von Alcock und Brown den Atlantik überquerte, dauerte es doch bis zum Jahre 1939, ehe Flugzeuge zum Transport von Nutzlasten über den Atlantik zur Verfügung standen. Diese Entwicklung wurde durch den Zweiten Weltkrieg unterbrochen. Wieder einmal kam es zu beschleunigten Verbesserungen der Flugzeugleistungen, wobei insbesondere die Ge-

schwindigkeiten der Kampfflugzeuge infolge der Bereitstellung von Düsenmotoren drastisch gesteigert wurden. Jedoch wurden in Amerika Transportflugzeuge mit 'Kolbenmotoren', wie die DC4 und die Lockheed Constellation, entwickelt und erwiesen sich nach dem Weltkrieg als ausgezeichnete Linienflugzeuge. Großbritannien besaß keine solchen Flugzeuge, weshalb man sich dazu entschloß, die eigenen Flugzeuge mit den verhältnismäßig neuen Düsentriebwerken auszurüsten. Es kam zur Entwicklung der de Havilland 'Comet' und der Vickers Viscount-Linienmaschinen, die sich schließlich auch durchsetzten und zu beträchtlichen Flugzeit-Verkürzungen führten.

#### **Moderne Großflugzeuge**

Die Beliebtheit der für den Einsatz in großen Flugzeugen bestimmten Turbo-Prop-Triebwerke (PTL- oder Propeller-Turbine-Luftstrahltriebwerke) hielt nicht lange an; jedoch wurden mit Düsentriebwerken (Turbo-Jet) ausgerüstete Linienflugzeuge in großer Zahl gebaut, allen voran die Boeing 707-Serie. Der große Aufschwung auf dem Gebiet des Personen-Flugverkehrs und der Flug-Touristik bewirkten in den sechziger Jahren den Ruf nach größerer und schnelleren Linienflugzeugen. Demzufolge wurden Großraumflugzeuge wie der Jumbo Jet (Boeing 747), die Concorde der BAe/Aérospatiale und ähnliche Flugzeuge gebaut — eine Evolutions-epochen von Cayleys Gleitflugzeug entfernt.