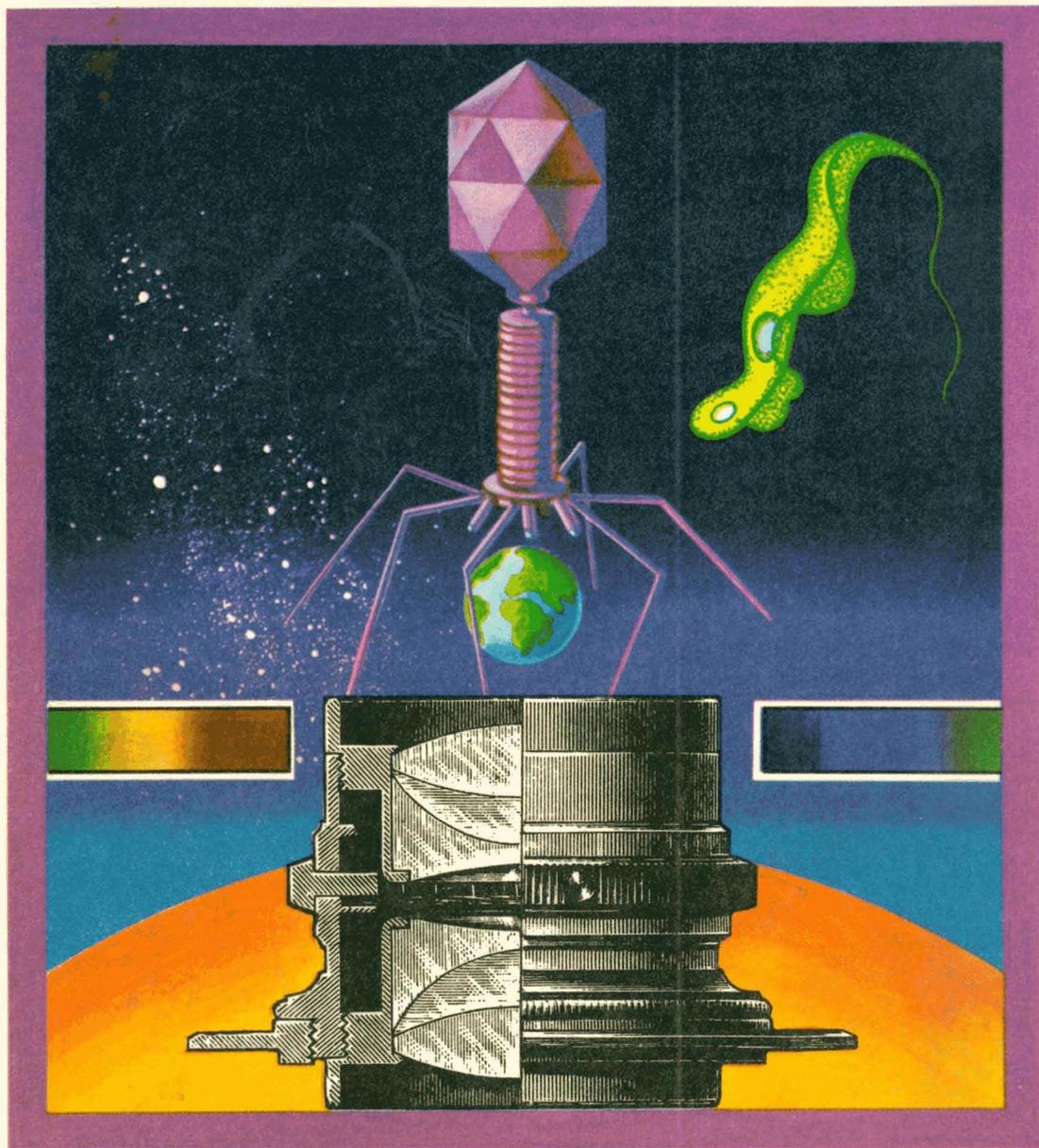


HANS KLEFFE

VORSTOSS INS

UNSICHTBARE

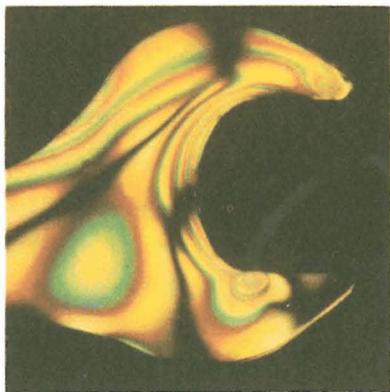






HANS KLEFFE

Vorstoß ins Unsichtbare



Illustrationen
von Günter Wongel

Der Kinderbuchverlag Berlin

Vorsatz: Farbmischbild nach Multispektralaufnahmen des Gebietes Moritzburg
Nachsatz: Farbmischbild nach Multispektralaufnahmen des Gebietes Süßer See

Was das Auge nicht sieht

Unsichtbares zu sehen – das klingt sehr geheimnisvoll, gehört aber zur täglichen Arbeit vieler Wissenschaftler und Techniker. Denn wir sind überall von unsichtbaren Dingen umgeben, und ein großer Teil der Herrschaft des Menschen über die Natur beruht darauf, daß er Mittel und Wege fand, Unsichtbares zu erkennen. Man kann sogar behaupten, daß es viel mehr Dinge gibt, die man mit bloßem Auge nicht sehen kann, als solche, die sichtbar sind. Zählen wir nur einige Beispiele auf!

Jedes Gramm fruchtbaren Ackerbodens enthält etwa zweieinhalb Milliarden ganz winzige Lebewesen. (Eine Milliarde sind eintausend Millionen.) Daß es solche Mikroorganismen – kurz Mikroben genannt – gibt, erkannten die Forscher erst mit Hilfe des Mikroskops. Das ist ein Instrument, das kleine Objekte (Gegenstände) bis zu etwa 1500mal vergrößert sichtbar macht. Weitaus kleiner sind die als Moleküle und Atome bezeichneten Teilchen, aus denen sich alle Stoffe, die Luft, das Wasser, die Berge, ja die ganze Erde, die Pflanzen, Tiere und Menschen aufbauen. Noch kleinere Teilchen, die aus dem Weltall in die Lufthülle der Erde eindringen, rasen in jeder Sekunde mit gigantischer Geschwindigkeit durch unseren Körper, ohne daß wir davon etwas merken. Nur mit komplizierten physikalischen Vorrichtungen sind sie zwar nicht sichtbar, aber auf andere Weise bemerkbar zu machen, zum Beispiel durch Zeigerausschlag an einem Meßinstrument.

Denken wir bei dem Unsichtbaren aber nicht nur an winzig kleine Objekte! In den Weiten des Weltalls gibt es Milliarden mal Milliarden riesig große Sterne. Weil sie sehr weit von uns entfernt sind, können wir mit bloßem Auge nur die wenigsten davon sehen. Erst das Fernrohr ermöglichte es dem Menschen, die meisten zu entdecken.

Unsichtbar sind uns auch so buchstäblich nahe liegende Dinge wie die Knochen, das Herz, die Lungen, der Magen und andere innere Organe, weil Haut und Muskelgewebe den Blick auf sie verwehren. Um manche Krankheiten rechtzeitig zu erkennen und Knochenbrüche richtig zu behandeln, mußte die Wissenschaft Mittel finden, in das Innere des Körpers zu blicken. Das gelang mit

Hilfe der Röntgenstrahlen, die den Körper durchdringen. Sie trugen dazu bei, ungezählten Menschen das Leben zu retten.

Nicht nur „Dinge“, Objekte bleiben unseren Augen verborgen, sondern auch Vorgänge. Wir sehen beispielsweise nicht, daß Insekten beim Fluge ihre Flügel in einer Sekunde hundertmal oder öfter hin und her schwingen. Erst wenn wir mit einer „Zeitlupe“-Kamera in der Sekunde Hunderte oder Tausende einzelne Aufnahmen machen und sie dann langsam nacheinander vorführen, werden die schnellen Bewegungen sichtbar. Umgekehrt geht die Entfaltung einer Blüte zu langsam vor sich, um sie zu sehen. Fotografieren wir in größeren Zeitabständen nur je ein Bild und führen die Aufnahmen in schneller Folge vor, so zeigt sich die Bewegung der Blütenblätter deutlich. Unserer Fähigkeit zum Sehen ist noch eine große Schranke gesetzt. Was die Augen erkennen sollen, muß entweder Licht aussenden oder durch Licht aus anderen Quellen beleuchtet werden. Das sichtbare Licht bildet aber nur einen ganz schmalen Ausschnitt aus dem riesigen Bereich der elektromagnetischen Wellen. Sie unterscheiden sich durch die Wellenlängen. Die kleinsten betragen nur 10^{-15} m. Das ist der millionste Teil eines Millionstelmmillimeters. Die längsten rechnen nach Hunderten und Tausenden Metern. Dazu gehören die Radiowellen. In dem ganzen Wellenlängenbereich nimmt das sichtbare Licht nur den Ausschnitt zwischen etwa 400 nm bis 750 nm (= Nanometer = Milliardstelmmeter oder Millionstelmmillimeter) ein. An das langwelligste sichtbare Licht, das uns rot erscheint, schließt sich das unsichtbare Infrarot (IR), an das kurzwelligste violette das ebenfalls nicht sichtbare Ultraviolett (UV) an. UV- und IR-Strahlen werden von vielen Objekten ausgesandt, auch von der Sonne. Infrarot strahlt jeder Gegenstand, der wärmer als $-273,15^{\circ}\text{C}$ ist, ununterbrochen aus, also praktisch alle Körper. Infrarot-Wellen sind Wärmestrahlen. UV- und einen großen Teil der IR-Strahlen kann man durch Fotografieren indirekt sichtbar machen.

Lassen wir es mit diesen wenigen Beispielen bewenden und verfolgen wir, wie der Mensch lernte, mit seinen Erkenntnissen in die Welt des Unsichtbaren vorzudringen!

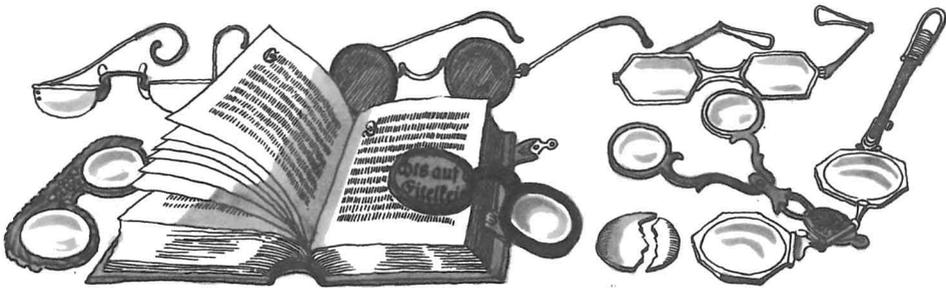
Von der Brille zum Flohglas

Optik heißt die Wissenschaft, die sich mit dem Licht beschäftigt. Im Altertum war sie im Vergleich zu anderen Gebieten sehr wenig entwickelt. Viele der damaligen Denker glaubten sogar, daß die Lichtstrahlen nicht von den Dingen in die Augen gelangen, sondern umgekehrt als „Sehstrahlen“ von den Augen ausgehen und die Gegenstände gleichsam „betasten“. Glas, aus dem sich vergrößernde und verkleinernde optische Linsen schleifen lassen, gab es zwar bereits im 4. Jahrtausend v. u. Z. in Ägypten. Auch Bergkristall, eine klar durchsichtige Form des Quarzes, hatte man in der Natur vorgefunden. Man verstand sogar schon Linsen zu schleifen. Doch merkwürdigerweise findet sich in keiner der zahlreichen überlieferten Schriften ein Hinweis darauf, daß sie benutzt wurden, um kleine Dinge vergrößert zu sehen. Belegt ist nur ihre Verwendung als Schmuck und bei kultischen Handlungen.

Erst in einer Schrift des arabischen Gelehrten Alhazen, geboren 965 u. Z., ist zu lesen, daß gläserne Linsen, die auf Schrift gelegt werden, diese vergrößert erscheinen lassen. Der englische Philosoph und Naturforscher Roger Bacon (1214–1294) wies darauf hin, daß diese optische Wirkung ein vorzügliches Mittel sei, um alten Leuten mit sehschwachen Augen das Lesen zu ermöglichen. Die Brille wurde um 1290 erfunden.

Diese Sehhilfen blieben jedoch jahrhundertlang schlecht und teuer. Sie wurden nicht von Augenärzten angepaßt, sondern auf Jahrmärkten und von durchreisenden Händlern feilgeboten. Was für eine Brille man bekam, richtete sich nach dem Alter des Käufers. Erst um 1800 begründete der Rathenower Pfarrer Heinrich

Brillen aus früheren Jahrhunderten





Brillenhändler und Linsenschleifer im 16. Jahrhundert

August Duncker mit staatlicher Unterstützung einen Betrieb, in dem Brillen guter Qualität nach wissenschaftlichen Methoden hergestellt wurden. Daraus sind die weltbekannten Rathenower Optischen Werke (ROW) hervorgegangen.

Zwei holländische Brillenschleifer, Johannes und Zacharias Jansen, setzten Ende des 16. Jahrhunderts aus zwei Linsen ein Instrument zusammen, das den ersten Vorläufer des Mikroskops bildete. Damit waren aber nur Objekte bis etwa herab zur Größe einer Milbe zu erkennen. Im Volksmund nannte man diese Mikroskope Flohgläser. Durch ein solches Instrument schaute der Niederländer Antony van Leeuwenhoek (1632–1723) am Stand eines Brillenschleifers auf dem Jahrmarkt. Die vergrößernde Wirkung begeisterte ihn so, daß er den Händler anflehte, ihm die Kunst des Linsenschleifens beizubringen. Von da an verwandte er jede freie Zeit darauf, immer bessere Linsen herzustellen und Mikroskope zu bauen.

Bald übertraf er die Flohgläser und erreichte bis zu 270fache

Vergrößerungen. Das entspricht ungefähr der Leistung eines heutigen Schülermikroskops.

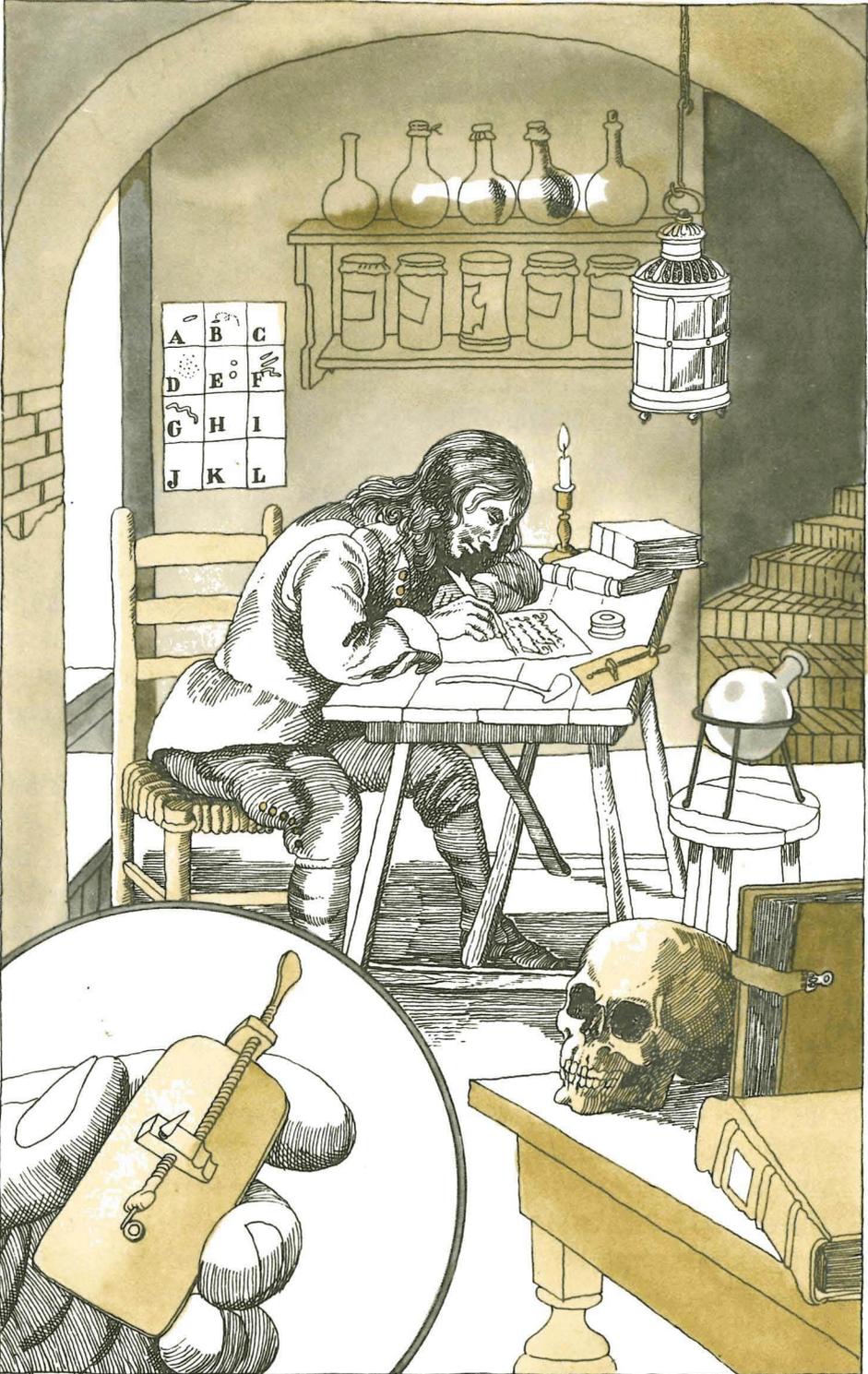
In unbändigem Forscherdrang untersuchte er die verschiedensten Objekte: Bienenstachel, Mückenrüssel, Käferbeine, die Augen von Läusen und so weiter. Vollends überwältigt war er, als er eines Tages auf die Idee kam, einen Heuaufguß unter dem Mikroskop zu betrachten. Er erblickte ein Gewimmel winziger Lebewesen.

Leeuwenhoek sah auch die roten Blutkörperchen. Sie bilden die Hauptbestandteile des Blutes. Er teilte seine Entdeckung der Londoner Königlichen Akademie in einem Brief mit. So wurde die Gelehrtenwelt auf den Laienforscher aufmerksam.

Die größte Überraschung bereitete Leeuwenhoek den Wissenschaftlern, als er 1683 etwas von dem feinen Belag auf seinen Zähnen abschabte und in einen frischen Regentropfen brachte. Dabei sah er als erster Mensch Bakterien: stabförmige, kugelige, spiralige und kommaähnliche Gebilde. Besonders viele fand er im Zahnbelag eines alten Mannes, der nach eigenen Angaben nie seine Zähne geputzt hatte. Immer mehr „Sendbriefen“ mit Berichten über neue Beobachtungen gingen nach London, bis sie schließlich sieben Bände füllten. Beim Schreiben eines solchen Briefes starb Leeuwenhoek als inzwischen 91jähriger am 27. August 1723.

Er war kein Wissenschaftler von Beruf. Geboren als Sohn eines Korbmachers, absolvierte er eine Kaufmannslehre bei einem Tuchhändler, richtete sich später einen kleinen Gemischtwarenladen ein und bekleidete ehrenamtlich die Stelle eines Rathauspförtners in Delft. Seine Mitbürger hielten ihn für etwas „verrückt“. Alles, was er an Wissen für seine Untersuchungen benötigte, erwarb er sich durch Selbststudium.

Mit der Entdeckung der Bakterien im Zahnbelag war Leeuwenhoek der Erkenntnis, daß auch manche Krankheiten durch Mikroben hervorgerufen werden, sehr nahe. Doch er selbst kam nicht auf den Gedanken. Erstmals schrieb der Römer Marcus Terentius Varro (116–27 v. u. Z.), daß es einen unsichtbaren „belebten Krankheitsstoff“ in Form winzig kleiner Tierchen gäbe, die mit der Luft durch Nase und Mund in den Körper gelangen. Solche Vermutungen wurden aber jahrhundertlang kaum beachtet. Vielmehr versuchte man, Krankheiten wie die Pest, die Cholera und den Typhus, welche in furchtbaren Seuchen auftraten und Hunderttau-



A	B	C
D	E	F
G	H	I
J	K	L

sende von Menschen dahinrafften, zum Teil mit äußerst unsinnigen Mitteln zu heilen. Quacksalber und Scharlatane schwatzten Leuten für teures Geld widerliche Getränke und Pillen auf. Für diese Entwicklungsstufe der Arzneimittel prägte man später mit Recht den Ausdruck „Dreckapotheke“. Denn sogar Unrat wurde zu „Heilmitteln“ verarbeitet. Eine solche Rezeptur bestand zum Beispiel aus einer Mischung von zerkleinerten Korallen, Kuhmist, Menschenkot, Ziegenbock-Urin und gedörrten Kröten. Dazu sollte man gesprenkelte Spinnen in der Wohnung umherlaufen lassen, damit sie das Seuchengift aufsaugen.

Zunächst verhalf das Mikroskop der Biologie zu wichtigen Grundlagenerkenntnissen. Eine davon besteht darin, daß alle Lebewesen aus sehr kleinen biologischen Einheiten, den Zellen, aufgebaut sind. Eine andere besagt, daß Lebewesen nicht – wie man jahrhundertlang meinte – aus lebloser Materie durch „Urzeugung“ entstehen können, sondern daß jede Zelle nur durch Teilung aus einer anderen hervorgeht. Der Sieg der modernen Medizin über mikroskopisch kleine Krankheitserreger begann insbesondere durch die Forschungen eines bis dahin unbekannten und unbedeutenden Landarztes: Robert Koch (1843–1910). In seinem Amtsbezirk trat häufig eine Milzbrand genannte Krankheit auf. Viele Rinder, Schafe und Pferde erkrankten daran; Menschen, die mit den Tieren umgingen, bekamen schmerzhafte schwarze Karbunkel an den Unterarmen, Händen, am Hals und im Gesicht.

Schon andere Ärzte hatten beobachtet, daß sich im Blut und Körpergewebe Milzbrandkranker merkwürdige mikroskopisch kleine „Stäbchen“ befanden. Aber sie meinten, daß diese eine Begleiterscheinung, nicht die Ursache der Krankheit seien. Koch jedoch lief Tag für Tag in die Ställe der Bauern, um den verendeten Tieren Blut zu entnehmen, das er an den Feierabenden mit dem Mikroskop untersuchte. Er fand die stäbchenförmigen Gebilde. Jetzt kam es darauf an, zu beweisen, daß sie die Erreger der Krankheit waren. Koch spritzte Mäusen etwas von dem Blut ein, das die verdächtigen Stäbchen enthielt. Sie erkrankten und starben. In ihren Organen fand er die gleichen typischen Veränderungen wie bei den Rindern – und auch die Stäbchen.

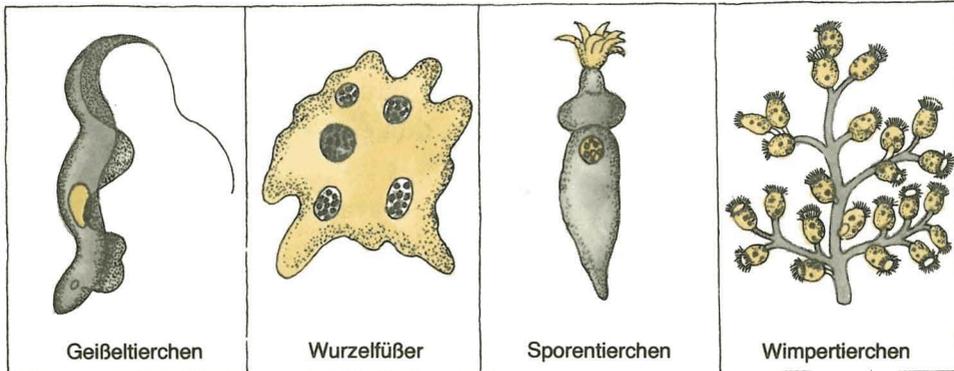
Leeuwenhoek beschreibt seine mikroskopischen Beobachtungen.
Unten links: eines seiner ersten Mikroskope

Jetzt blieb noch zu beweisen, daß die winzigen Gebilde wirklich Lebewesen sind, die sich vermehren. Das war besonders schwierig. Denn Bakterien vermehren sich außerhalb des menschlichen oder tierischen Körpers nur in einer geeigneten Nährsubstanz, die erst zu finden war. Nach vielen mühevollen Versuchen stellte Koch fest, daß sich die Milzbranderreger in der Kammerwasser genannten Augenflüssigkeit von Rindern vermehren lassen. Auch für die nötige Wärme mußte gesorgt werden. Koch beheizte den Objektisch des Mikroskops, auf dem sich das Kammerwasser mit den Milzbrandern befand. Nun konnte er Schritt für Schritt beobachten, wie sich die Stäbchen im Verlaufe von Tagen vermehrten. Ein Vierteljahr dauerten seine schwierigen Untersuchungen. Dann beschrieb er die Ergebnisse am 27. Mai 1876 in einer wissenschaftlichen Arbeit.

1882 – Koch war inzwischen nach Berlin berufen – berichtete er über die Entdeckung des Erregers der Tuberkulose, im Volksmund Schwindsucht genannt. Sie gehörte zu den damals am meisten verbreiteten Krankheiten. Schon ein Jahr später fand er den Cholera-bazillus. Nun ging es Schlag auf Schlag. Nach dem Verfahren Kochs wiesen jetzt auch andere Forscher die Erreger gefährlicher Krankheiten nach: der Diphtherie, des Wundstarrkrampfs (Tetanus), der epidemischen Genickstarre, der Pest und der besonders in tropischen Ländern häufigen Malaria und Schlafkrankheit. Alle diese Entdeckungen waren Voraussetzung dafür, Heilmittel zu schaffen, die gegen die verschiedenen Arten von Erregern wirksam sind.

Daß zahlreiche Krankheiten durch Mikroben hervorgerufen wer-

Verschiedene Urtierchen

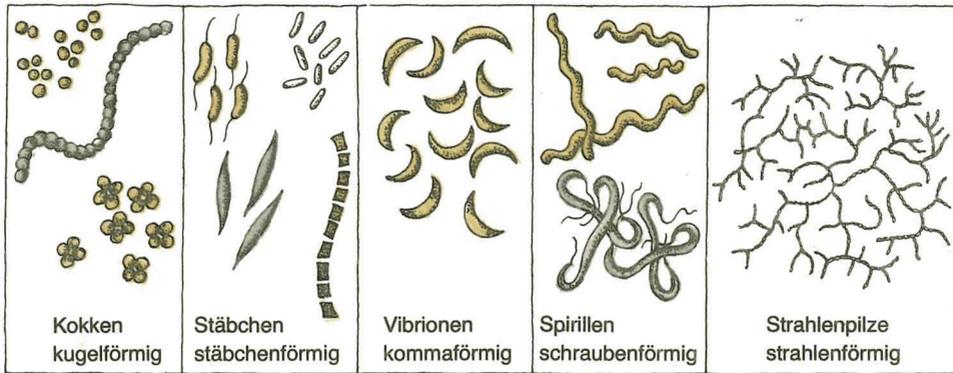




Robert Koch entdeckte die winzigen Erreger der Tuberkulose und anderer übertragbarer Krankheiten

den, darf uns aber nicht dazu verleiten, in diesen winzigen Lebewesen nur Schädlinge zu sehen! Das Gegenteil ist der Fall: Von der Gesamtheit der Mikroben bilden die Krankheitserreger eine nur kleine Minderheit. Die weitaus meisten sind äußerst nützlich, ja sogar unentbehrlich für das Leben auf der Erde. Es gibt weit mehr Mikroben als Pflanzen, Tiere und Menschen zusammengenommen. Das gilt nicht nur zahlenmäßig, sondern auch hinsichtlich ihrer Masse. Könnte man auf einer riesigen Waage alle unsichtbar kleinen Lebewesen der Erde in der einen Schale versammeln und in der anderen alle sichtbar großen, so würde sich die mit den Mikroben gefüllte nach unten neigen! Trotzdem wußte der Mensch jahrtausendlang nichts von ihrem Vorhandensein.

Die Mehrzahl dieser winzigen Organismen lebt im Boden. Aber man findet sie auch im Wasser und in der Luft. Sie haften an Staubteilchen und können vom Wind über Tausende von Kilometern verweht werden. Viele leben im menschlichen und tierischen



Formtypen von Bakterien

Körper, besonders im Darm. Dort sind sie sehr wichtig für die Verdauung. Man kann sogar behaupten, daß ohne Bakterien alles Leben auf der Erde zum Stillstand käme. Denn die Überreste abgestorbener Pflanzen, Tiere und Menschen würden sich ohne die im Boden lebenden Mikroben allmählich so anhäufen, daß kein Platz für nachfolgende Generationen bliebe. Die winzigen Wesen zersetzen jedoch alle diese Überreste und wandeln sie wieder in Nährstoffe für das Wachstum neuer Pflanzengenerationen um.

Heute „arbeiten“ Mikroben sogar in Fabriken. Sie erzeugen beispielsweise aus Erdöl Eiweiß, das dem Viehfutter beigemischt wird. In ähnlicher Weise wenden die Menschen schon seit Jahrtausenden Bakterien an. Denn Käse und andere Milchprodukte, Sauerkraut, saure Gurken, Bier und Wein – um nur wenige Beispiele zu nennen – entstehen durch ihre Mitwirkung. Doch wußte man das früher nicht.

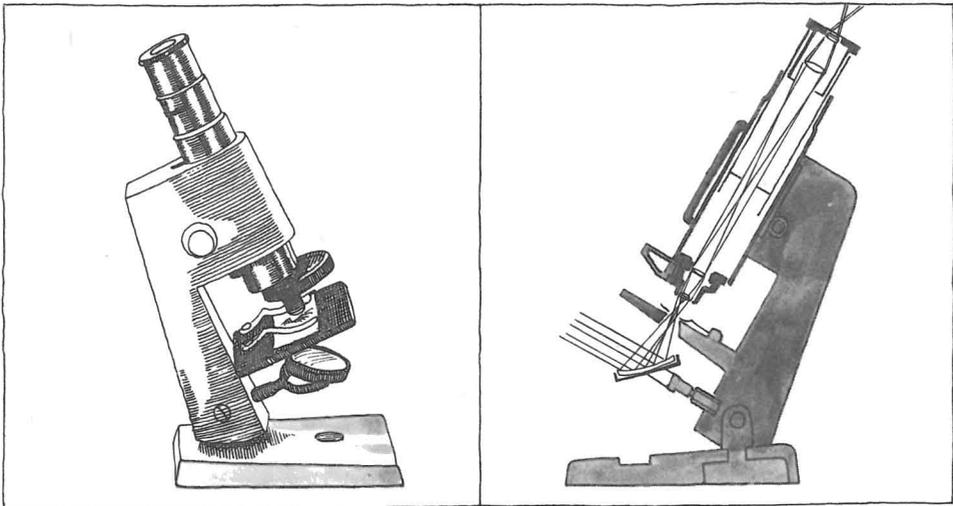
Es gibt ungezählte Arten von Mikroben. Ein gemeinsames Merkmal ist, daß sie aus nur einer Zelle bestehen. Die Bakterien werden dem Pflanzenreich zugerechnet. Nach ihrem Aussehen unterscheidet man kugelförmige (Kokken), stäbchenförmige (Bakterien im engeren Sinne und Bazillen), schraubenartige (Spirillen) und kommaähnliche Vibrionen. Das Bild zeigt in schematischer Vereinfachung die verschiedenen Formen. Manche Bakterien haben geißelartige Fortsätze. Andere bilden weitverzweigte Fäden, doch bestehen auch sie aus nur einer Zelle. Sie heißen Strahlenpilze. Ferner gibt es einzellige Algen. Im Tierreich kommen ebenfalls einzellige Lebewesen vor, zum Beispiel Amöben, Trompetentierchen, Geißeltierchen, Wurzelfüßer und viele andere.

Das Mikroskop ist jedoch nicht nur ein wichtiges Hilfsmittel für die Biologie und Medizin. Es wird auch in vielen anderen Wissenschaften sowie in der Technik angewendet, beispielsweise in der Chemie, der Werkstoff- und Gesteinskunde, der Kriminalistik, der Geologie und der Mikroelektronik.

Was ist ein Mikroskop?

Leeuwenhoeks Instrumente waren äußerst einfach. Sie hatten selbst mit einem heutigen Schülermikroskop noch keine Ähnlichkeit. Das Bild veranschaulicht schematisch den Aufbau eines Kleinmikroskops für etwa 50- bis 200fache Vergrößerung, wie es insbesondere Schüler verwenden. Das Stativ ist etwas geneigt auf dem Fuß montiert, um eine bequemere Körperhaltung zu ermöglichen. Es trägt unten die Halterung für einen schwenkbaren Spiegel. Darüber liegt der Objektstisch. Am unteren Ende des lichtdichten Rohrs (Tubus) befindet sich das Objektiv genannte Linsensystem, am oberen Ende das Okular (von lateinisch *oculus* = Auge), durch das man in das Instrument blickt. Die Okularlinsen sind in einer Hülse gefaßt, die in den Tubus gesteckt wird. Dadurch können verschiedene Okulare verwendet werden. Auch die Objektive können ausgewechselt werden. Damit dies schnell und mühelos möglich ist, sind sie bei größeren Mikroskopen in eine drehbare Vorrichtung, den Objektivrevolver, eingeschraubt. Je nachdem, in welche Stellung er gedreht wird, befindet sich jedesmal ein anderes Objektiv im Strahlengang. Die Vergrößerung ist durch Multiplikation der des Objektivs und des Okulars zu errechnen. Vergrößert ersteres zum Beispiel 40fach und das zweitgenannte 5fach, so resultiert eine 200fache Vergrößerung.

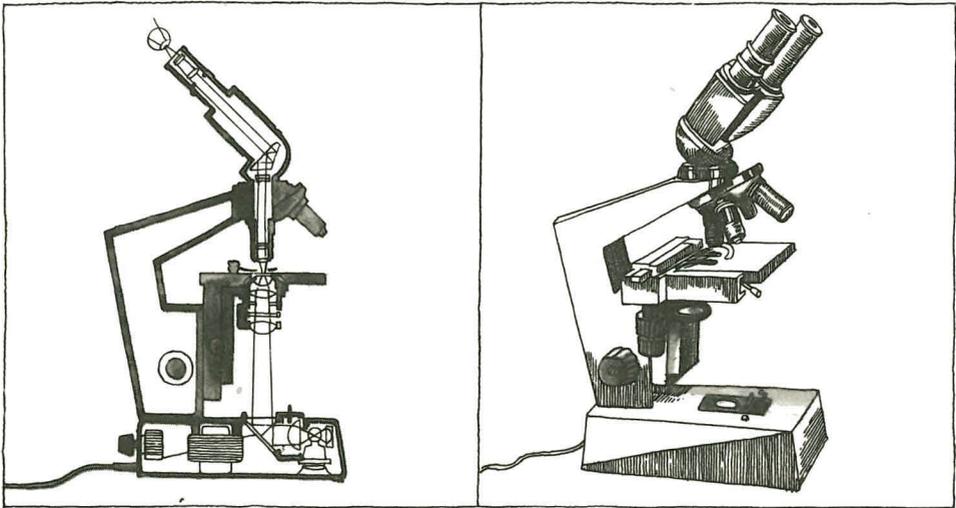
Mittels des Drehknopfes wird der Tubus über einen Zahnstangentrieb (bei Schülermikroskopen häufig durch ein Reibrad) in der Höhe verstellt, so daß sich der Abstand zwischen dem betrachteten Objekt und dem Objektiv ändert. Dies ist zum Scharfeinstellen des Bildes erforderlich. Der zu untersuchende Gegenstand wird auf eine kleine dünne Glasscheibe, den Objektträger, gebracht. Zwei



Schüler-Kleinmikroskop

Klemmfedern halten das Scheibchen auf dem Objektisch fest. Er hat in der Mitte ein Loch. Durch dieses fällt das vom Spiegel reflektierte (zurückgeworfene) Licht und durchstrahlt das Objekt. Diese Beleuchtungsart heißt Durchlicht. Fast alle biologischen mikroskopischen Objekte sind nämlich wegen ihrer Winzigkeit durchsichtig.

In der schematischen Darstellung eines Mikroskops für wissenschaftliche Arbeiten (siehe Bild) erkennen wir leicht alle wichtigen Bauelemente des einfachen Instruments wieder. Nur ist das Labormikroskop noch mit Zusatzeinrichtungen versehen, die seine Leistungsfähigkeit erhöhen. So ist in den Fuß eine Lichtquelle eingebaut. Das Licht wird über den Spiegel in eine Beleuchtungseinrichtung umgelenkt. Sie besteht aus mehreren Linsen und einer verstellbaren Blende. Dieser sogenannte Kondensator sammelt die Lichtstrahlen und richtet sie so aus, daß sie das Objekt gut und gleichmäßig durchleuchten. Dadurch sind feinste Einzelheiten deutlicher erkennbar. Da es bei starken Vergrößerungen darauf ankommt, den Abstand zwischen Objektiv und Objekt auf winzige Bruchteile eines Millimeters genau einzustellen, haben solche Mikroskope außer dem Grobtrieb einen Feintrieb für die Höhenverstellung. Er wird durch den zweiten, kleineren Drehknopf bedient. Der Tubus ist schräg angeordnet und läßt sich abnehmen. Man kann wahlweise einen sogenannten binokularen Tubus aufsetzen.



Arbeitsmikroskop mit eingebauter Beleuchtung

Er trägt zwei gleiche Okulare, so daß die Betrachtung des Objekts mit beiden Augen erfolgen kann. Das ist bei längerem Mikroskopieren weniger ermüdend. Da die Lichtstrahlen bei der Verwendung eines Schrägtubus umgelenkt werden müssen, befindet sich an seinem unteren Ende ein Glasprisma.

Besonders wichtige und hochwertige Bestandteile des Mikroskops bilden die optischen Linsen. Es gibt mehrere Linsenarten verschiedener Form und Wirkung. Das Bild zeigt eine Übersicht und enthält auch die Bezeichnungen der einzelnen Linsenarten. Konkav bedeutet erhaben gekrümmt, konvex hohl gekrümmt. Sind beide Seiten der Linse gleichartig gekrümmt, so wird die Silbe bi- (die sinngemäß zwei bedeutet) davorgesetzt. Eine bikonvexe Linse ist also beiderseitig erhaben gekrümmt. Ist nur eine Seite gekrümmt und die andere eben, „plan“, so spricht man von plankonvexen beziehungsweise plankonkaven Linsen. Ferner gibt es Linsen, die auf der einen Seite konvex, auf der anderen konkav sind. Ob sie konvexkonkav oder konkavkonvex genannt werden, richtet sich danach, welche Seite dem einfallenden Licht zugewandt ist. Sie wird in der Bezeichnung an erster Stelle genannt.

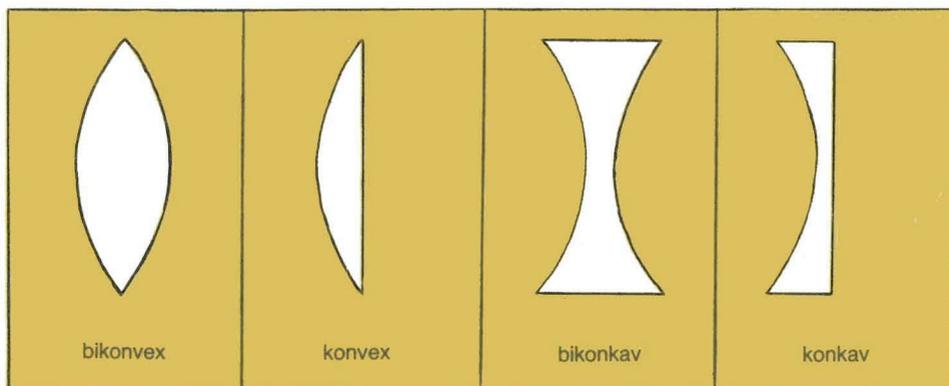
Die Krümmung der Linsen bewirkt, daß die Lichtstrahlen in gesetzmäßiger Weise aus ihrer ursprünglich geradlinigen Ausbreitungsrichtung abgelenkt, „gebrochen“ werden. Auf diese Weise können durch geeignete Linsenformen Gegenstände sowohl vergrößert

Bert als auch verkleinert abgebildet werden. Im Mikroskop erfolgt eine zweimalige Vergrößerung. Das Objektiv erzeugt ein vergrößertes Zwischenbild innerhalb des Tubus. Dieses wird durch das Okular nochmals vergrößert betrachtet.

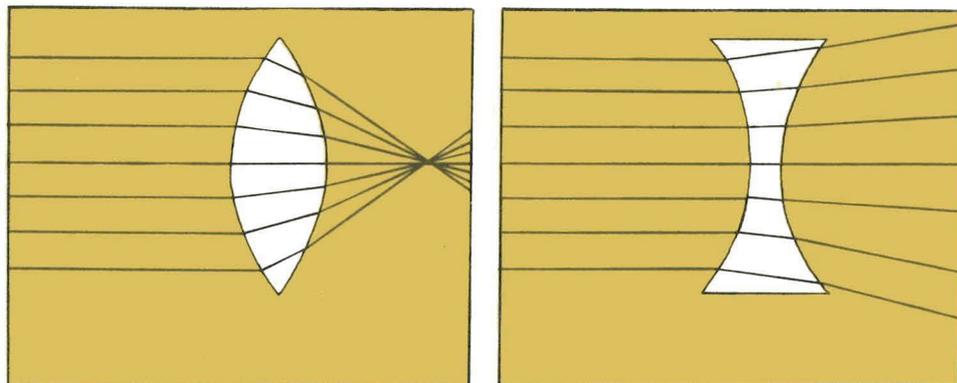
Konvexlinsen führen parallel einfallende Lichtstrahlen in einer bestimmten Entfernung hinter der Linse, im sogenannten Brennpunkt, zusammen. Daher heißen sie auch Sammellinsen. Jedes Brennglas ist eine solche. Es konzentriert die Lichtstrahlen der Sonne oder einer Lampe im Brennpunkt, der auch Fokus genannt wird. Konkavlinsen zerstreuen einfallende Strahlen, sie sind Zerstreuungslinsen.

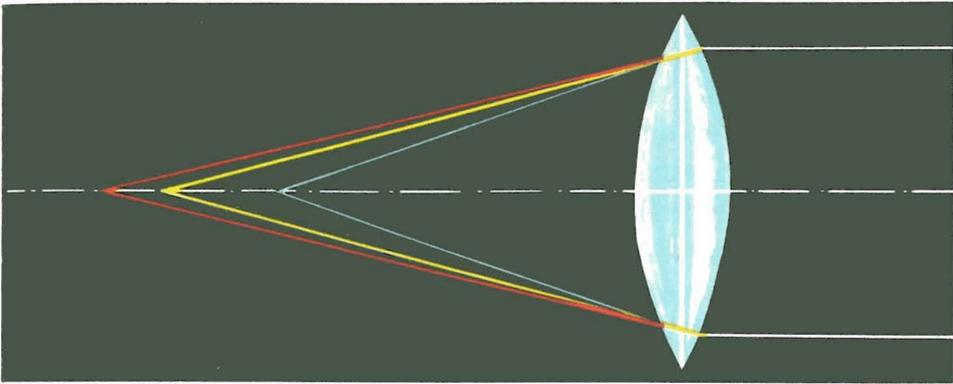
Alle hochwertigen Objektive und Okulare bestehen nicht nur aus einer, sondern aus mehreren Linsen. Denn jede optische Linse bildet die Gegenstände nicht völlig richtig ab. Zum Beispiel werden

Die Linsenarten und ihre Bezeichnungen



Brechung parallel einfallender Lichtstrahlen durch eine Sammellinse (links) und eine Zerstreuungslinse (rechts)





So entsteht der optische Fehler der Farbabweichung. Lichtstrahlen verschiedener Farben werden in etwas unterschiedlichen Brennpunkten vereinigt. Daraus resultiert eine unscharfe Abbildung

Lichtstrahlen verschiedener Farben durch die Linse etwas unterschiedlich abgelenkt. Daher liegen die Brennpunkte des Lichts der einzelnen Farben nicht in ganz genau gleicher Entfernung. Ein Punkt des Objekts wird dadurch nicht als ein ebenso feiner und völlig scharf umrissener Punkt abgebildet, sondern als ein winziges kreisförmiges Scheibchen. Es wird Zerstreuungskreis genannt. Dieser optische Fehler heißt Farbabweichung oder chromatische Aberration. Nun ergeben verschiedene Glassorten eine unterschiedliche Farbabweichung. Dieser Umstand läßt sich dafür nutzen, den Abbildungsfehler weitgehend zu korrigieren. Dabei werden mehrere Linsen aus andersartigen Gläsern mit einander entgegengesetzten Fehlern zu einem optischen System zusammengesetzt. Es gibt noch andere Arten optischer Fehler. Sie werden ebenfalls durch Kombination von Linsen aus verschiedenen Glassorten bis auf winzige Restfehler ausgeglichen.

Mikroskopieren ist eine interessante Freizeitbeschäftigung! Objekte zum Betrachten finden sich in Fülle, zum Beispiel Insekten und deren Körperbestandteile wie Flügel, Flügelschuppen, Augen, Beine, die Antennen genannten „Fühler“ und so weiter, ferner Pflanzenteile, Blütenstaub und dergleichen. Von einer Zwiebel lassen sich ganz feine Häutchen abziehen. Bringen wir ein Stückchen davon auf den Objektträger, so zeigt sich besonders deutlich die Zusammensetzung des pflanzlichen Gewebes aus einzelnen Zellen. Sehr viele mikroskopisch kleine Lebewesen findet man im Wasser von Seen, Teichen und Tümpeln. Erinnerung sei ferner an die schon

von Leeuwenhoek betrachteten Aufgußtierchen. Wir übergießen mit wenig Wasser etwas Heu in einer Schale und lassen es einige Tage stehen. Dann bringen wir einen Tropfen davon auf den Objektträger.

Niemals darf man die zu betrachtenden Dinge direkt auf den Objektisch des Mikroskops legen. Sie werden vielmehr auf das Objektträger genannte Glasscheibchen gelegt. Er ist vorher gut in Fitwasser oder noch besser mit Alkohol (Brennspiritus) zu reinigen. Den Wassertropfen, der die Mikroben enthält, sowie auch alle anderen dünnen Objekte bedecken wir außerdem mit einem noch kleineren und dünneren Gläschen. Dieses Deckgläschen muß gleichfalls sauber sein. Das Auflegen erfordert etwas Fingerfertigkeit, damit bei der Ausbreitung des Tropfens unter dem Deckgläschen möglichst keine Luftblasen mit eingeschlossen werden.

Wer sich eingehender mit dem Mikroskopieren beschäftigt, fertigt von den verschiedenen Objekten haltbare Präparate an, die sich aufbewahren und immer wieder betrachten lassen. Ausführliche Anleitungen dafür sowie über alles andere, was zum Mikroskopieren gehört, enthält das Buch „Mikroskopie“ von Werner Schlüter (Volk und Wissen Volkseigener Verlag). Kürzer gehalten und speziell für den Gebrauch von Kleinmikroskopen zugeschnitten ist das Buch „Wir mikroskopieren“ von Heinz Bonnke, Alfred Lehr und Hans-Dieter Scheplitz (VEB Verlag Technik). Viele Anleitungen und Hinweise auf interessante Objekte erhalten wir, wenn wir uns einer Arbeitsgemeinschaft für Mikroskopie anschließen.

In den Büchern sind auch verschiedene Färbemethoden beschrieben. Viele mikroskopische Objekte sind nämlich so durchsichtig, daß man sie ohne Anfärben gar nicht oder nur sehr undeutlich erkennt. Manchmal sind statt der einfachen Durchlicht-Hellfeld-Beleuchtung, wie sie bisher beschrieben wurde, spezielle Beleuchtungsverfahren erforderlich. Auch darüber sowie über das Zeichnen und Fotografieren mikroskopischer Bilder informiert die genannte Literatur.

Im Reich der Viren

Das Mikroskop wurde insbesondere durch den deutschen Physiker Ernst Abbe (1840–1905) immer weiter verbessert. Er arbeitete mit Carl Zeiss und Otto Schott zusammen und begründete mit ihnen den Weltruhm der Jenaer feinmechanisch-optischen Industrie. Doch gibt es eine naturgesetzlich bedingte Grenze der Vergrößerung, die mit Lichtmikroskopen höchstens zu erreichen ist. Abbe erkannte die physikalische Ursache dafür: Mit dem Mikroskop können keine Objekte abgebildet werden, die kleiner sind als die halbe Wellenlänge des Lichts. Es ist zwar möglich, durch ein entsprechendes Okular beispielsweise eine 2000fache Vergrößerung einzustellen. Doch wird das Bild dann verwaschen, unscharf. Es zeigt nicht mehr Feinheiten als bei einem kleineren Vergrößerungsmaßstab. Das Erkennen feinsten Einzelheiten hängt nämlich nicht allein von dem Vergrößerungsmaßstab ab, sondern sehr wesentlich vom sogenannten Auflösungsvermögen. Darunter versteht man die Eigenschaft eines optischen Systems, zwei eng beieinanderliegende Punkte eines Objekts noch deutlich getrennt abzubilden. Da die Wellenlänge des sichtbaren Lichts mindestens 400 nm beträgt, errechnet sich das Auflösungsvermögen zu 200 nm.

Daraus folgt, daß bei Verwendung unsichtbaren ultravioletten Lichts die Vergrößerung und das Auflösungsvermögen noch etwas zu steigern sind. Ultraviolett-Mikroskope wurden Anfang unseres Jahrhunderts erstmals gebaut. Da Glas Ultraviolettstrahlen weitgehend absorbiert, verschluckt, sind dafür Linsen aus Quarz erforderlich. Das Bild ist nicht direkt zu betrachten, da unsere Augen UV-Licht nicht sehen. Folglich muß die Abbildung des UV-Mikroskops fotografiert werden, um sie sichtbar zu machen. Trotz dieser Umstände ermöglicht das Ultraviolett-Mikroskop aber lediglich eine Verbesserung des Auflösungsvermögens auf etwa 100 nm beziehungsweise eine rund 3000fache Vergrößerung.

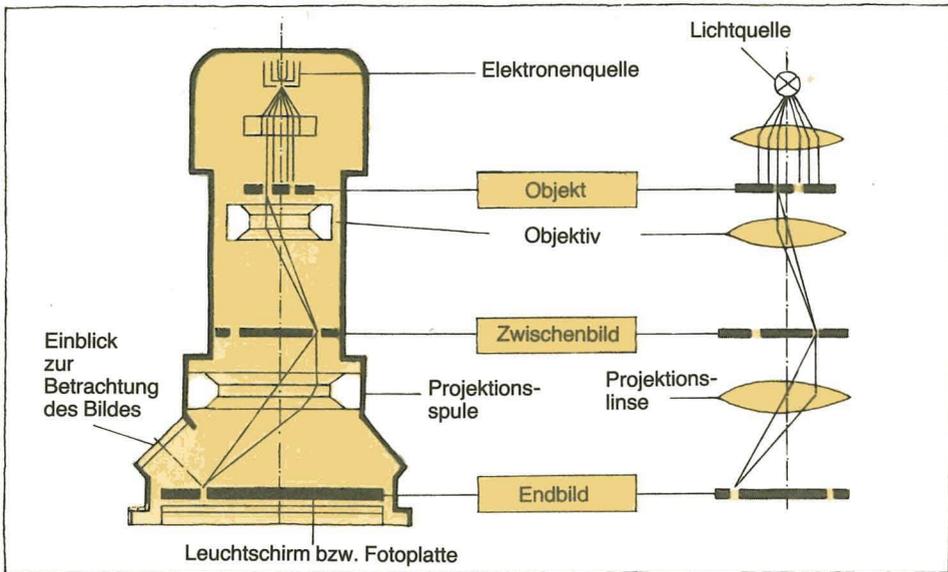
Aber die Forscher gaben ihren Kampf, immer weiter in die Welt des unsichtbar Winzigen vorzudringen, nicht auf. Der Weg, auf dem noch weit stärkere Vergrößerungen zu erzielen sind, war vorgezeichnet: Wenn das Auflösungsvermögen von der Wellenlänge der verwendeten Strahlen abhängt, so kam es darauf an, statt des sichtbaren oder ultra-

violetten Lichts Wellen von noch wesentlich kleinerer Länge zu verwenden, nämlich Elektronenstrahlen. Dies sind „Salven“ von unvorstellbar kleinen Teilchen, den Elektronen.

Ihr Radius rechnet nach Millionsteln eines Nanometers, also nach 10^{-15} m oder 10^{-6} nm. Elektronen sind in jedem Atom enthalten. Sie umlaufen den Kern des Atoms in bestimmten Abständen ähnlich wie die Planeten die Sonne. Elektronen können auf verschiedene Weise aus dem Atom gelöst werden. Zum Beispiel senden Metalle, die durch elektrischen Strom auf Weißglut erhitzt sind, Elektronen aus. Das geschieht in jeder Radoröhre. In ihr befindet sich ein Katode genanntes Blech, das so stark erwärmt wird, daß Elektronen austreten.

Jedes Elektron trägt eine negative elektrische Ladung. Alle geladenen Teilchen werden durch elektrische und magnetische Kraftfelder in gesetzmäßiger Weise abgelenkt, ähnlich wie Lichtstrahlen durch Glas. Daher heißen solche Ablenkvorrichtungen Elektronenlinsen oder Elektronenoptiken. Sie bestehen aus stromdurchflossenen und in Eisen gekapselten Spulen oder aus Lochblenden, die an hohe elektrische Spannungen angeschlossen sind. Die deutschen Physiker Manfred von Ardenne, der 1930 auch das erste vollelektronisch funktionierende Fernsehen erfand, und Ernst Ruska schufen in den dreißiger Jahren ein Mikroskop, das nach diesem Prinzip arbeitet, das Elektronenmikroskop.

Das Bild zeigt schematisch vereinfacht nebeneinander den Aufbau und die Wirkungsweise des Elektronen- und des Lichtmikroskops. Dieses ist (rechts im Bild) hierbei auf den Kopf gestellt, so daß sich die Lichtquelle oben und das – in diesem Falle als Projektiv bezeichnete – Objektiv unten befindet. Die Gegenüberstellung läßt die Gemeinsamkeiten der Bildentstehung erkennen. Im Elektronenmikroskop liegt ganz oben die Elektronenquelle, ein glühender Draht aus dem Metall Wolfram. Die von ihm ausgesandten Elektronen werden durch hohe elektrische Spannungen von 40000 bis 100000 V (Volt) in sehr schnelle Bewegung versetzt, beschleunigt, und durch eine Elektronenoptik, die dem Kondensor des Lichtmikroskops vergleichbar ist, ausgerichtet. So treffen sie auf das zu betrachtende Objekt und durchdringen es. Danach erfolgt durch eine weitere Elektronenlinse eine Ablenkung der Strahlen, so daß ein 20- bis 100fach vergrößertes Zwischenbild entsteht. Ein



Vergleichendes Schema des Aufbaus und der Wirkungsweise des Elektronen- und des Lichtmikroskops

kleiner Ausschnitt davon wird durch die dritte Elektronenlinse zum Endbild vergrößert auf die untere Fläche entworfen. Elektronenmikroskope ermöglichen ein Auflösungsvermögen bis 0,5 nm und bis zu rund 600 000fache Vergrößerungen.

Doch bestehen auch grundlegende Unterschiede zwischen dem Licht- und dem Elektronenmikroskop. Das letztgenannte muß evakuiert, das heißt luftleer gepumpt werden, da sonst die Elektronen mit den Gasteilchen der Luft zusammenstoßen und chaotisch in die verschiedensten Richtungen gestreut würden. (Einen luftleeren Raum nennt man Vakuum.) Das hat zur Folge, daß mit dem Elektronenmikroskop keine lebenden Objekte betrachtet werden können. Außerdem darf das Objekt nur äußerst dünn sein, höchstens ein Zehntausendstelmillimeter. Sonst würden die Elektronenstrahlen nicht hindurchdringen. Meist wird deshalb gar nicht der interessierende Gegenstand selbst in das Elektronenmikroskop eingebracht, sondern ein hauchdünner Abdruck seiner Oberfläche. Er gibt das Relief der Oberfläche des Objekts wieder. Für das Einlegen des Abdrucks in das Elektronenmikroskop ist eine Vakuumschleuse erforderlich, ähnlich wie beim Aussteigen eines Kosmonauten aus dem Raumschiff in den luftleeren Weltraum. Als Ob-

jektträger dient nicht Glas, sondern eine Lackfolie; sie ist nur ein Hunderttausendstelmillimeter dick.

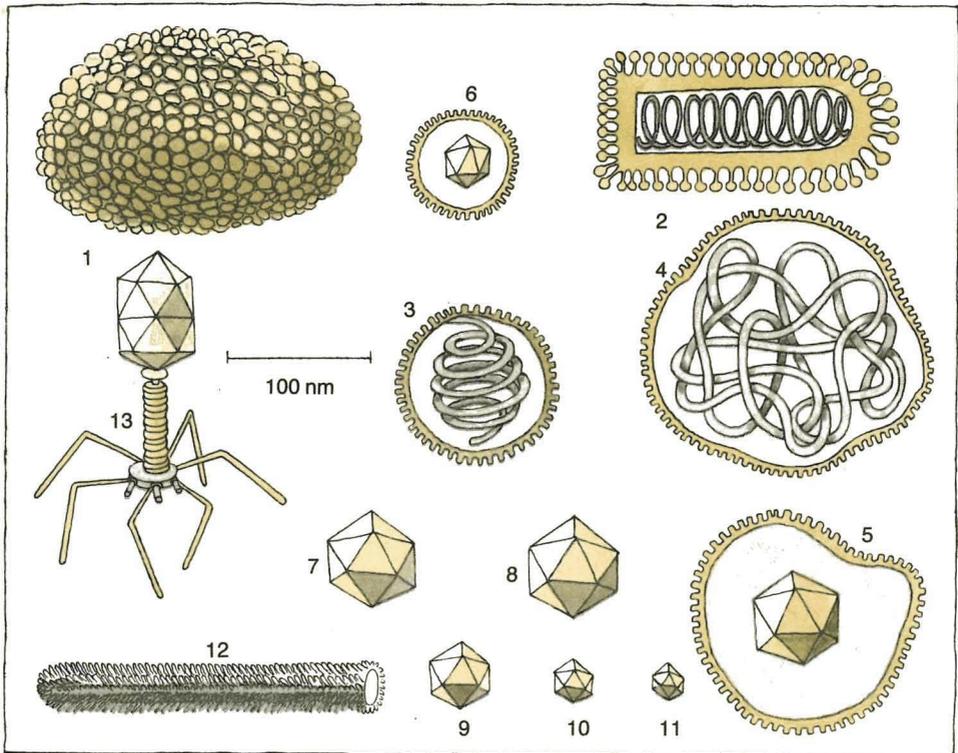
Da Elektronenstrahlen unsichtbar sind, befindet sich auf der Fläche, auf die das Endbild entworfen wird, eine Leuchtstoffschicht wie an der Innenseite der Fernsehbirne. Sie sendet beim Auftreffen der Elektronen Licht aus und macht so das Bild indirekt sichtbar. Durch eine seitliche Öffnung am Fuß des Elektronenmikroskops schaut man auf das Leuchtschirmbild. Es wird mittels einer Optik aus normalen Glaslinsen nochmals vergrößert betrachtet. Will man das Bild fotografieren, legt man in der Ebene des Leuchtstoffschirms eine fotografische Platte ein.

Das Elektronenmikroskop hat auf vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik große Bedeutung. Den Medizinern und Biologen macht es beispielsweise Krankheitserreger sichtbar, die noch viel kleiner als Bakterien sind: die Viren. Zu den Viruskrankheiten gehören unter anderen der Schnupfen, die Grippe und die spinale Kinderlähmung (Poliomyelitis). Bakterien haben Größen zwischen etwa 500 nm und 5000 nm, Viren von nur 10 nm bis 400 nm.

Versuchen wir, uns die Winzigkeit von Viren zu veranschaulichen! Von den kleinsten dieser Gebilde würden in einen winzigen Würfel von nur 1 mm Kantenlänge 10^{15} Stück passen. Das sind eine Million mal eine Milliarde. Gäbe es eine Maschine, welche die Viren mit einer Geschwindigkeit von zwei Stück je Sekunde abzählte, so müßte sie 16 Millionen Jahre Tag und Nacht ununterbrochen arbeiten, bis alle 10^{15} Exemplare durchgezählt sind.

Viren können sich wie Bakterien vermehren, jedoch nur mit Hilfe lebender Zellen, das heißt, wenn sie in eine Zelle eindringen. Sie sind deshalb keine selbständigen Lebewesen, werden aber meist mit zu den Mikroben gerechnet. Viele Viren könnte man als die Bakterien der Bakterien bezeichnen. Denn wenn sie in eine Bakterienzelle eindringen, zerstören sie diese und bilden zahlreiche neue Viren, die in weitere Zellen eindringen und sie ebenfalls zersetzen. Daher heißen solche Viren Bakteriophagen, was soviel wie Bakterienfresser bedeutet.

Aber nicht alle Viren sind Phagen. Im Bild sind einige Arten zeichnerisch dargestellt. Die Maßstab-Strecke von 100 nm verschafft uns eine Vorstellung von den Größen. Die Form des Bakteriophagen T 2 erinnert zwar an ein Tier mit Kopf und Schwanz,

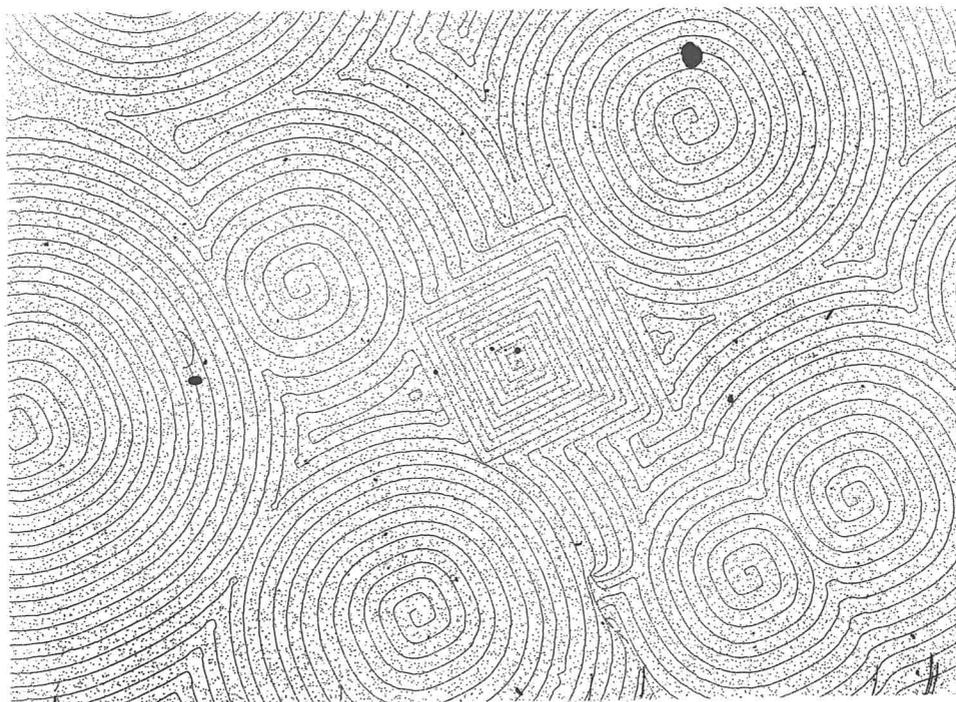


Schematische Darstellung verschiedener Viren im gleichen Maßstab. Die eingezeichnete Maßstabsstrecke von 100 nm (Nanometer = Milliardstelmeter = Millionstelmmillimeter) läßt die wirkliche Größe der Viren erkennen. $100 \text{ nm} = \frac{1}{10\,000} \text{ mm}$. 1 Pocken-Virus, 2 Tollwut-Virus, 3 Grippe-Virus, 4 Masern-Virus, 5 Kükenpocken-Virus, 6 Gelbfieber-Virus, 7 Adeno-Virus, 8 Reo-Virus, 9 Warzen-Virus, 10 Kinderlähmungs-Virus, 11 Parvo-Virus, 12 Tabakmosaik-Virus, 13 Bakteriophage T 2.

doch ist er kein wirkliches Tier. Am genauesten untersucht ist das stäbchenförmige Tabakmosaik-Virus, so genannt, weil es eine Erkrankung der Tabakpflanzen hervorruft. Bisher sind etwa 750 verschiedene Virusarten bekannt.

Höchst überraschende Einblicke eröffnet das Elektronenmikroskop aber auch in den feinsten Aufbau von Stoffen. Betrachten wir zum Beispiel das Bild der elektronenmikrografischen Aufnahme der Oberfläche eines Steinsalzkristalls. Was unserem Auge als glatte Fläche erscheint, ist in stärkster Vergrößerung betrachtet ein Gebilde mit unzähligen Klüften und Schründen.

Wenn ein riesiger Meteorit aus dem Weltall auf die Erde stürzt, reißt er einen großen Krater auf. In Arizona (USA) gibt es einen solchen Einschlagskrater von 1300 m Durchmesser und 175 m



Elektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines Kochsalzkristalls

Tiefe. Stellen wir nun einmal die Frage, was passiert, wenn ein winziges Staubkörnchen aus 20 cm Höhe auf die Oberfläche eines Kristalls fällt. Die Fragestellung erscheint uns unsinnig. Denn wir meinen, daß dem Kristall dabei überhaupt nichts geschehen könne.

In einem Experiment wurde ein Körnchen von 70 Tausendstelmillimeter Durchmesser aus der genannten Höhe auf die völlig geglättete Oberfläche eines Kristalls fallen gelassen. Der Versuch mußte im Vakuum erfolgen, da ein solches Körnchen so leicht ist, daß schon der Luftwiderstand seinen Fall stark abbremst und es mehr in der Schwebelage hält. Dann erfolgte eine elektronenmikrografische Aufnahme der Kristalloberfläche. Das Bild bewies, daß dieses winzige Teilchen einen kleinen Krater schlug. Das ist zugleich ein Beispiel dafür, wie genau die Wissenschaftler heute die feinste Beschaffenheit der Dinge untersuchen können.

Wenden wir uns nun von der Welt des Kleinsten, dem Mikrokosmos, dem Bereich der größten Körper des Weltalls zu, die infolge ihrer unvorstellbar weiten Entfernungen mit dem bloßen Auge dennoch nicht sichtbar sind!

Riesenaugen blicken ins All

Das am weitesten entfernte Objekt, welches wir unter günstigen Bedingungen mit bloßem Auge am Himmel gerade noch als kleinen verwaschenen Lichtfleck erkennen, ist der Andromedanebel. Er ist nach dem Sternbild benannt, in dem er sich befindet. Sein Abstand zu uns beträgt 2,25 Millionen Lj (Lichtjahre). Das Lichtjahr ist das „Metermaß“ der Astronomen. Denn da das Weltall unvorstellbar groß ist und die Sterne sehr weit entfernt sind, käme man mit der Einheit Kilometer nicht gut aus; es entstünden zu große Zahlen. 1 Lj ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Da seine Geschwindigkeit im Vakuum rund 300 000 km/s (Kilometer je Sekunde) beträgt, errechnet sich ein Lichtjahr zu rund $9,46 \cdot 10^{12}$ km (9,46 Billionen km), da ein Jahr $60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365,25$ s = 31 557 600 s hat. (1 Billionen = 1 000 Milliarden.)

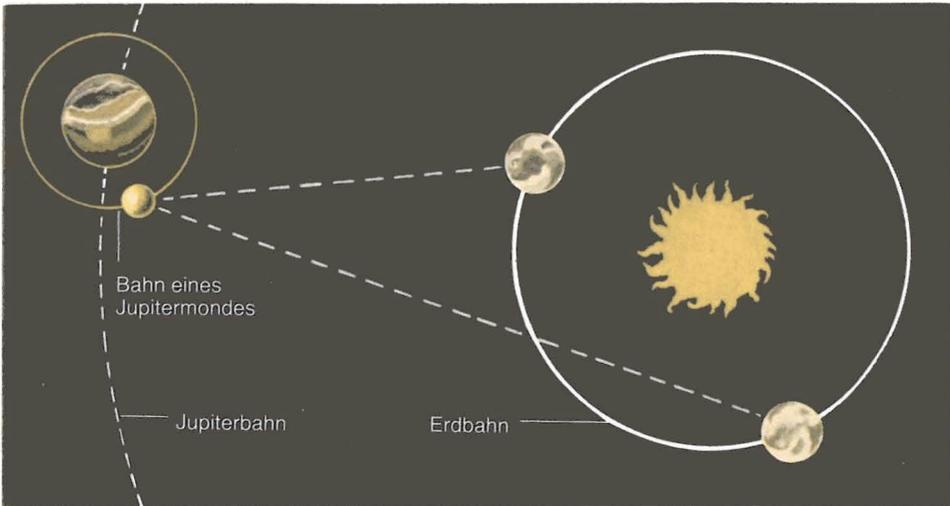
Durch moderne astronomische Instrumente haben wir inzwischen Kenntnis von Himmelsobjekten, die rund 4 500mal weiter als der Andromedanebel entfernt sind, nämlich etwa 10 Milliarden Lj. Mit Hilfe der Fernrohre wurde erkannt, daß der Andromedanebel gar kein Nebel, sondern eine Ansammlung von etwa 300 Milliarden Sternen ist, die unserer Sonne vergleichbar sind. Man nennt ein solches kosmisches Gebilde aus unvorstellbar vielen Sternen ein Milchstraßensystem oder eine Galaxie. Die Fernrohre enthüllten uns, daß auch unsere Sonne einem Milchstraßensystem angehört, das weit über 100 Milliarden Sterne umfaßt. Einige sind kleiner, manche sehr viel größer als die Sonne, andere sind etwa gleich groß.

Wie kam es zu dieser revolutionierenden Erweiterung unseres Wissens über das Weltall? – Den gestirnten Himmel haben schon die Völker des Altertums beobachtet. Sie fanden, daß es sehr viele Sterne gibt, die immer an derselben Stelle bleiben. Sie nannten sie deshalb Fix-, das heißt feststehende Sterne. Einige Objekte ändern dagegen ihre Stellungen langsam im Verlaufe der Zeit. Sie wurden als Planeten (Wandelsterne) bezeichnet. Schon vor der Erfindung des Fernrohrs gab es Sternwarten, ausgerüstet mit Winkelmeßgeräten. Die Astronomen visierten die Sterne an und bestimmten ihre Orte am Himmel beziehungsweise ihre Bewegungsbahnen. Noch

ohne Fernrohr kam dabei der polnische Domherr und Arzt Nicolaus Copernicus (1473–1543) auf den genialen Gedanken, daß nicht die Erde im Mittelpunkt des Weltalls steht, wie die Gelehrten bis dahin meinten, sondern daß sie und die anderen Planeten um die Sonne kreisen.

Die Erfindung des Fernrohrs führt wie die des Mikroskops zu den holländischen Brillenschleifern um die Wende des 16. zum 17. Jahrhundert. Wer es zuerst erfand, ist nicht genau bekannt. Drei Holländer kommen dafür in Frage: Jacob Metius, der schon früher erwähnte Zacharias Jansen und Johannes Lippershey. Vielleicht bauten sie es alle drei etwa gleichzeitig, aber unabhängig voneinander. Ferne Dinge näher zu sehen war eine Sensation. Sie beeindruckte die Menschen sehr stark. Daher verbreitete sich die Kunde darüber schnell in viele Länder. Auch der italienische Physiker Galileo Galilei (1564–1642) erfuhr im Jahre 1609 davon und beschäftigte sich sofort mit der neuen Technik. Das erste Fernrohr, das er schuf, vergrößerte nur etwa 3fach, weniger als der einfachste heutige Feldstecher. Nach kurzer Zeit gelangen ihm aber schon Instrumente mit 8facher und über 30facher Vergrößerung. Freunde Galileis prägten für das neue Instrument das Wort Teleskop (von altgriechisch *telos* = *Ende, Ferne* und *skopein* = *sehen, spähen*).

Am 17. Januar 1610 datiert die erste bedeutende astronomische Entdeckung mit Hilfe des Fernrohrs. Galilei erblickte drei Monde des Planeten Jupiter. Sie sind dem Mond der Erde vergleichbar. Außerdem sah er Berge und Täler sowie „Meere“ auf dem Mond (die aber nicht mit Wasser gefüllt sind), ferner die Sonnenflecken. Dies sind kleine unregelmäßig geformte Gebilde. Sie sind sichtbar, wenn eine sehr dunkle, fast undurchsichtige Glasscheibe vor dem Objektiv oder hinter dem Okular angebracht ist. Obwohl die Sonnenoberfläche in den Fleckengebieten nur etwas weniger hell als in deren Umgebung ist, dunkelt das Filterglas sie so weit ab, daß sie schwarz erscheinen. Häufig sind auch mit dem Feldstecher Sonnenflecken zu sehen. Doch müssen dabei stets tiefdunkelrote Filter, die als Zubehör in Fachgeschäften für optische Geräte erhältlich sind, auf die Okulare gesteckt werden. Das ist nicht nur erforderlich, um die Sonnenflecken zu erkennen, sondern auch zum Schutz der Augen. Ohne diese Filter mit dem Feldstecher in die Sonne zu blicken kann zur Erblindung führen!



Die Entdeckung der Lichtgeschwindigkeit. Je nach der Entfernung zwischen Jupiter und Erde verfrühte oder verspätete sich das Verschwinden bzw. Wiederscheinen seiner Monde, weil das Licht eine kürzere oder längere Strecke zurückzulegen hatte

Mit Hilfe des Fernrohrs wurde überhaupt erst erkannt, daß sich Licht nicht mit unendlicher, sondern nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet. Sie ist – wie schon erwähnt – mit 300 000 km/s allerdings sehr groß. Dem dänischen Astronomen Olaf Römer (1644–1710) fiel bei der Beobachtung der Monde, die den Planeten Jupiter umkreisen, auf, daß sich ihr Erscheinen und Wiederverschwinden im Schatten gegenüber den Vorausberechnungen verfrühte oder verspätete, je nachdem wie groß zum Zeitpunkt der Beobachtung ihr Abstand von der Erde war. Bei größerer Entfernung kamen die Monde mit Verspätung hinter dem Jupiter hervor, bei geringerem Abstand erschienen sie zu früh. Römer schloß daraus, daß diese „Fahrplanabweichungen“ dadurch entstehen, daß sich Licht nur mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet. Es benötigt daher für eine längere Strecke mehr Zeit als für eine kürzere. Das ist im Bild (nicht maßstäblich, sondern übertrieben) dargestellt. Spätere Experimente bestätigten die Richtigkeit seiner Annahme.

Das Galileische Fernrohr war ein so einfaches Instrument, wie es heute selbst die Amateurastronomen kaum noch benutzen. Als Objektiv diente eine Sammell-, als Okular eine Zerstreuungslinse. Im Verlaufe der Jahrhunderte wurden die Teleskope immer weiter ver-

bessert. Johannes Kepler (1571–1630) verwendete als Okular eine zweite Bikonvexlinse von sehr kurzer Brennweite. Der Vergrößerungsmaßstab eines solchen Fernrohrs ist zu errechnen, indem die Brennweite des Objektivs durch die des Okulars dividiert wird. Beträgt sie beim Objektiv zum Beispiel 100 mm, so ergibt ein Okular von 5 mm Brennweite 20fache Vergrößerung.

Die Abbildungsschärfe der frühen Fernrohre war noch recht unbefriedigend. Sie wurde insbesondere durch zwei Fehler der Linsen verursacht. Den einen, die Farbabweichung oder chromatische Aberration, erwähnten wir schon beim Mikroskop. Er führt zu Farbsäumen an den Konturen (Kanten) der Objekte. Der zweite beruht darauf, daß die Linsenoberfläche einen Ausschnitt aus der Oberfläche einer Kugel darstellt. Dies bewirkt, daß die von einem Punkt des Gegenstands ausgehenden Lichtstrahlen nicht wieder genau in einem Punkt der Abbildung zusammentreffen. Man nennt diesen Fehler Kugelabweichung oder sphärische Aberration.

Die Kugelabweichung ist bei Objektiven von sehr großer Brenn-

Riesenfernrohr des Hevelius





Newton und sein Spiegelteleskop

weite geringer. Sie erfordern aber auch dementsprechend lange Rohre. So entstanden die ersten Riesenteleskope. Der Mathematiker und Astronom Johannes Hevelius (1611–1687) baute ein Instrument, das 45 m lang war. Es mußte außerhalb der Stadt aufgestellt werden. Da es wegen seiner Länge schon bei schwachem Luftzug schwankte, war es nur bei Windstille zu benutzen.

Der englische Physiker Isaac Newton (1643–1727) erkannte, daß die Unschärfe zu einem großen Teil durch die Farbabweichung bedingt ist. Darum ging er zum Spiegelteleskop über, das von diesem Fehler frei ist. Die optische Wirkung des Spiegelteleskops beruht nicht auf der Brechung, der Umlenkung der Lichtstrahlen durch Glaslinsen; bei ihm werden die Strahlen von einer spiegelnden Fläche reflektiert, das heißt zurückgeworfen. Spiegelteleskope nennt man deshalb auch Reflektoren und Linsenfernrohre Refraktoren. Ist ein Spiegel nicht plan wie eine Fensterscheibe, sondern gewölbt, so kann er ebenfalls vergrößerte Abbilder erzeugen.

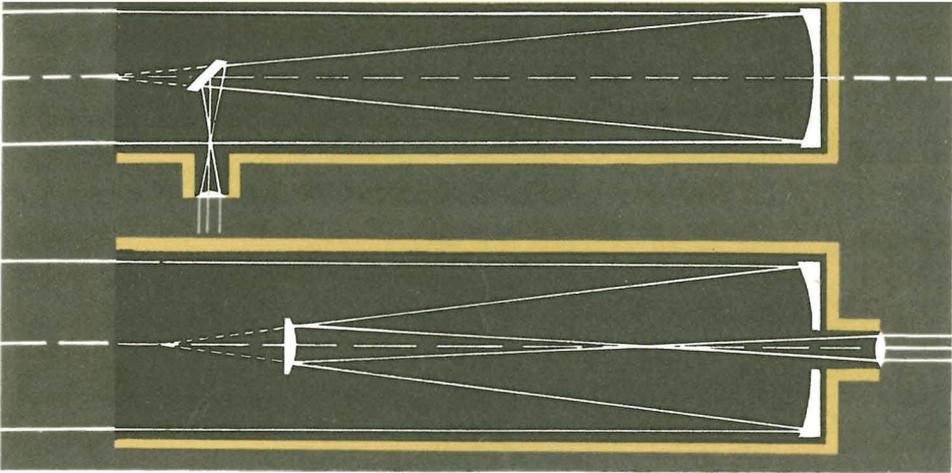
Von einem gewöhnlichen Spiegel unterscheidet sich der eines Teleskops jedoch dadurch, daß der Licht reflektierende Belag nicht

auf der Rück-, sondern auf der Vorderseite der Glasfläche angebracht ist. Da man zu Newtons Zeit Glas in dieser Weise noch nicht verspiegeln konnte, benutzten er und viele nach ihm Metallspiegel. Deren polierte Oberfläche wirft ohne Aufbringen eines spiegelnden Belags das Licht zurück. Die Spiegel moderner Reflektoren werden aus Spezialglas hergestellt und oberflächenverspiegelt.

Es gibt zwei Arten von Spiegelfernrohren, die nach ihren Erfindern Newton- beziehungsweise Cassegrain-Teleskope heißen. Beim Newtonschen Instrument, das schematisch im Bild oben dargestellt ist, treffen die vom Hauptspiegel reflektierten Lichtstrahlen – bevor sie im Brennpunkt vereinigt werden – auf einen kleinen schräggestellten Planspiegel. Er hat keine gekrümmte, sondern eine ebene Oberfläche und lenkt die Strahlen so um, daß im Punkt F das Abbild entsteht. Es wird durch eine seitliche Öffnung des Rohrs mittels des dort angeordneten Okulars betrachtet. Beim Cassegrain-Teleskop (Bild unten) ist der Hauptspiegel in der Mitte durchbohrt. Die von ihm reflektierten Strahlen treffen auf einen kleineren gewölbten Hilfsspiegel, der sie durch die Öffnung des Hauptspiegels in Richtung auf das Okular entwirft. Ein solches Cassegrain-Instrument ist auch das in Schulsternwarten gebräuchliche Spiegelfernrohr „Meniscas“.

Obwohl die früheren Spiegelteleskope bei weitem nicht die Wünsche der Astronomen erfüllten, ergaben sie bessere Abbildungen als die Riesenfernrohre. Dabei waren die Reflektoren wegen ihrer wesentlich kürzeren Baulänge von etwa anderthalb Metern viel leichter zu handhaben.

Doch auch die Anhänger des Linsenfernrohrs gaben den Kampf um die Verbesserung der Abbildungsgüte nicht auf. Der Engländer Chester Moor Hall schuf 1729 zum ersten Mal ein Objektiv, bei dem die Farbabweichung durch Kombination von zwei Linsen aus verschiedenen Glassorten mit unterschiedlichem Farbfehler weitgehend behoben wurde. Dieses Prinzip, die Abbildungsgüte eines optischen Systems zu verbessern, lernten wir schon beim Mikroskop kennen. Solche Kombinationen aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse werden Achromate genannt. Später entwickelten die deutschen Gelehrten Ernst Abbe und Otto Schott die Methode zu höchster Vollendung weiter. Nach Berechnungen von Abbe



Strahlengang im Spiegelteleskop nach Newton (oben) und nach Cassegrain (unten)

schuf Schott gewissermaßen Glassorten „nach Maß“, also mit genau der Brechkraft, die erforderlich ist, um durch Zusammenstellung mehrerer Linsen die Abbildungsfehler zu korrigieren und damit die schärfste Abbildung zu erzielen. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann deshalb nochmals eine Blütezeit der Linsenfernrohre, die nun ebenfalls hohe Leistungsfähigkeit erreichten und noch heute in vielen Sternwarten in Gebrauch sind.

Kerzenschein aus 28000 km Entfernung

Bei astronomischen Fernrohren kommt es aber außer auf scharfe Abbildung auch entscheidend auf den Durchmesser des Objektivs beziehungsweise Hauptspiegels an. Denn der stärkste sinnvolle Vergrößerungsmaßstab entspricht etwa dem Durchmesser des Objektivs, man sagt auch: der Öffnung des Teleskops, in Millimetern. Zwar lassen sich größere Maßstäbe durch entsprechende Okulare einstellen. Doch erhöht sich dadurch das Auflösungsvermögen nicht weiter, so daß – wie bereits beim Mikroskop erwähnt – „leere“ Vergrößerungen entstehen, die nicht mehr Einzelheiten zeigen als bei kleinerem Maßstab. Stärker als 500fach wird selten vergrößert. Fixsterne sind so weit entfernt, daß sie selbst bei noch grö-

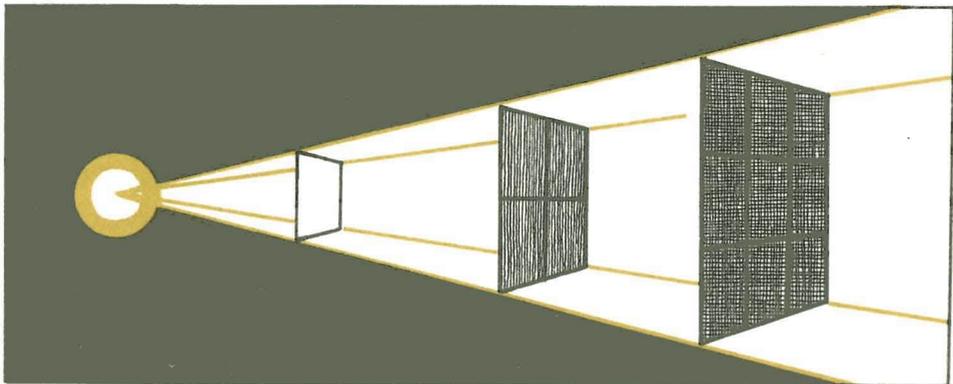
Beren Maßstäben nicht wie Planeten als Scheibchen, sondern nur als Lichtpünktchen abgebildet würden.

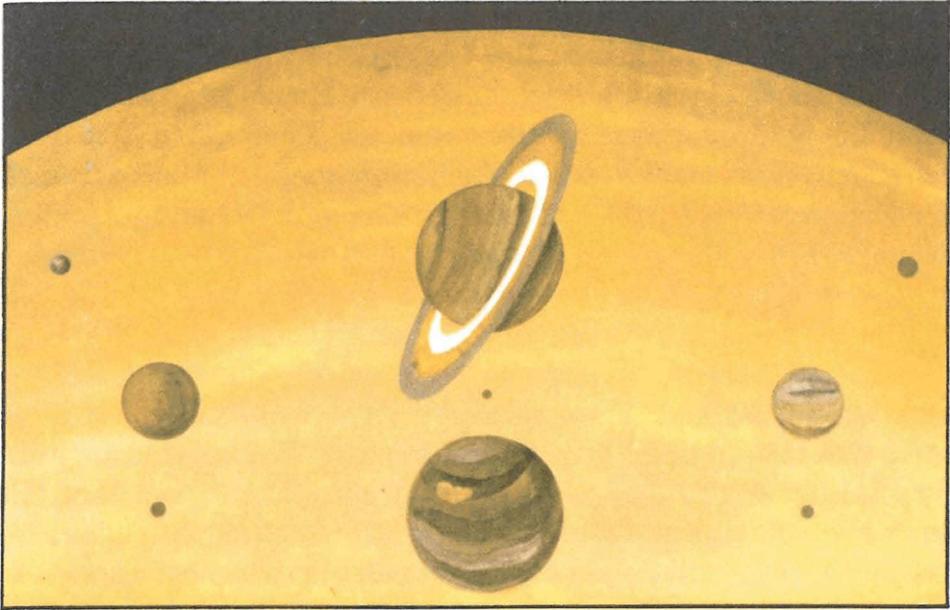
Ausschlaggebend ist die Öffnung des Teleskops ferner dafür, wie lichtschwache und wie weit entfernte Himmelsobjekte noch zu erkennen sind. Das Licht, das von einem Stern zur Erde dringt, ist stets ein Bündel paralleler Strahlen. Da die Lichteintrittsöffnung unserer Augen, die Pupille, nur einige Millimeter groß ist, können durch sie nicht viele Strahlen einfallen. Ein Fernrohr mit einem oder sogar mehreren Metern Öffnung fängt dagegen entsprechend mehr Lichtstrahlen ein und führt sie gesammelt in unser Auge. Das erklärt, warum mit dem Teleskop viel lichtschwächere Objekte zu erkennen sind als mit bloßem Auge. Auch mit dem Feldstecher sehen wir bereits sehr viel mehr Himmelsobjekte als ohne. Denn seine Objektive sind ebenfalls größer als unsere Pupillen.

Je größer das Objektiv beziehungsweise der Spiegel, desto „lichtstärker“ ist ein Teleskop. Große Lichtstärke ist wichtig, weil die Helligkeit, in der uns ein kosmisches Objekt erscheint, mit dem Quadrat seiner Entfernung abnimmt. Von einem Stern B, der beispielsweise 20 Lj entfernt ist, trifft daher nur ein Viertel der Lichtmenge auf der Erde ein, die von einem gleich leuchtkräftigen Stern A ankommt, der 10 Lj weit ist. Von einem Stern C gleicher Leuchtkraft, der aber 100 Lj entfernt ist, erreicht uns nur ein Hundertstel der Lichtintensität des Sterns A und so weiter.

Man kann aber aus der Helligkeit, mit der uns ein Himmelsobjekt erscheint, nicht ohne weiteres auf seine Entfernung schließen.

Die scheinbare Helligkeit eines Himmelskörpers nimmt mit dem Quadrat seiner Entfernung ab, weil sich die Lichtstrahlen auf eine immer größere Fläche verteilen





Mit dem Fernrohr sieht man die Planeten als kleinere oder größere Scheibchen, mit bloßem Auge nur als Lichtpunkte

Denn die Sterne und Galaxien haben unterschiedliche Leuchtkräfte. Ein ferner, aber sehr leuchtkräftiger Stern kann daher heller erscheinen als ein naher, der nur schwach leuchtet. Auch Wolken kosmischen Staubs zwischen dem Stern und der Erde setzen seine scheinbare Helligkeit herab. Mit den lichtstärksten Teleskopen sind noch Himmelsobjekte erkennbar, deren scheinbare Helligkeit der einer brennenden Kerze in ungefähr 28 000 km Entfernung entspricht!

Die scheinbare Helligkeit besagt auch nichts über den Durchmesser eines Sterns. Doch hat sich von alters her der physikalisch falsche Ausdruck „Größe“ für die scheinbare Helligkeit erhalten, und die Himmelsobjekte werden nach „Größenklassen“ eingeteilt, obwohl in Wirklichkeit damit die Klassen scheinbarer Helligkeit gemeint sind.

Mit bloßem Auge sind am Himmel der Nord- und der Südhalbkugel zusammengenommen etwa 5 000 Sterne zu sehen. Wie viele Objekte mit Hilfe des Fernrohrs zu erkennen sind, läßt sich nicht allgemeingültig angeben, weil die Zahl je nach der Lichtstärke verschieden ist. Jahrzehntlang war der 5-Meter-Spiegel auf dem Mount Palomar in den USA das größte und lichtstärkste Teleskop

der Erde. Seit einigen Jahren ist es durch den sowjetischen 6-Meter-Reflektor der Sternwarte bei Selentschukskaja im Kaukasus übertroffen. Allein der Spiegel dieses Instruments wiegt 42 t (Tonnen). Er mußte auf Hundertstelmmillimeter genau geschliffen werden. Die Gesamtmasse des Teleskops einschließlich des Rohrs und der Halterung beträgt 840 t. Mehrere Meter große Linsenobjektive lassen sich kaum anfertigen, so daß die lichtstärksten Fernrohre nur als Spiegelteleskope gebaut werden können. Erfaßte der Reflektor auf dem Mount Palomar noch Milchstraßensysteme in Entfernungen von einigen Milliarden Lj, so ermöglicht das neue sowjetische Instrument noch etwas größere Reichweiten.

Zu den leistungsfähigsten Fernrohren der Welt gehört auch das 2-m-Spiegelteleskop des Observatoriums Tautenburg bei Jena. Es ist mit einer sogenannten Korrekptionsplatte ausgestattet, welche die optischen Abbildungsfehler, die auch einem Spiegel noch anhaften, beseitigt. Ohne eine solche erstmals um 1930 von dem deutschen Optiker Bernhard Schmidt geschaffene Platte wird nur der mittlere Teil des Gesichtsfeldes in brauchbarer Qualität abgebildet. In der Größe des für wissenschaftliche Forschungen geeigneten Bildausschnitts ist das Tautenburger Teleskop daher sogar dem 5-m-Spiegel überlegen.

Aber selbst am Okular eines großen Fernrohrs erblickt das menschliche Auge weit weniger Sterne, als sich auf einer fotografischen Aufnahme zeigen, die mit demselben Instrument angefertigt wird. Die großen Teleskope sind daher kaum für die visuelle, direkt mit den Augen vorzunehmende Beobachtung konstruiert, sondern nur als eine Art Fotoapparat. Das Bild wird auf eine große Fotoplatte entworfen. Ihre lichtempfindliche Schicht hat eine Eigenschaft, über die das Auge nicht verfügt. Wirkt Licht immer auf dieselbe Stelle der Platte ein, so summiert sich die fotografische Wirkung mit zunehmender Zeit. Selbst ein ganz lichtschwaches Objekt ruft deshalb nach entsprechend langer Belichtung eine Abbildung hervor. (Dafür muß die Platte freilich wie auch jeder Film entwickelt werden.) Fotografische Himmelsaufnahmen werden viele Minuten, sogar mehrere Stunden belichtet.

In neuester Zeit ersetzt man die Fotoplatte zunehmend durch den elektronenoptischen Bildwandler, eine Art Fernsehkamera. Er ist etwa 100mal lichtempfindlicher als die fotografische Schicht.

Alle Himmelsaufnahmen setzen freilich voraus, daß das Instrument der scheinbaren Bewegung des Sternenhimmels, in der sich die Umdrehung der Erde widerspiegelt, genau nachgeführt wird. Solche Nachführvorrichtungen sind nicht nur beim Fotografieren, sondern auch für visuelle Beobachtungen erforderlich. Bereits bei mäßigen Vergrößerungen wandert der beobachtete Stern ohne Nachführung sehr schnell aus dem Gesichtsfeld. Denn um den gleichen Faktor der Vergrößerung erscheinen alle Bewegungen am Himmel schneller.

Zum „Werkzeug“ des Astronomen gehören außer dem Fernrohr noch viele weitere Instrumente, die an das Teleskop angeschlossen werden. Erwähnt sei nur der Spektrograf. Er zerlegt das Licht eines Himmelsobjekts nach den verschiedenen Wellenlängen in ein breites Lichtband, das man Spektrum nennt. Darin liegen die verschiedenen Farben nebeneinander. Außerdem erkennt man darin bestimmte Linien. Aus den Spektren sind Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Himmelskörper und Galaxien zu ziehen.

100 Milliarden Sonnen

Mit Hilfe der astronomischen Instrumente wurde Baustein für Baustein zur Erkenntnis des Weltalls zusammengefügt. Wollte man alles, was die Forscher heute darüber wissen, berichten, so reichte dafür kein noch so dickes Buch; es füllte eine ganze Bibliothek. Wir wollen hier nur einige wenige Erkenntnisse erwähnen.

Die Erde ist einer von neun Planeten, welche die Sonne auf elliptischen Bahnen umlaufen. Außerdem bewegen sich sehr viele Planetoiden (kleine Planeten) um das Zentralgestirn. Bisher kennt man etwa 4000, doch wird ihre Gesamtzahl auf 50000 bis 100000 geschätzt. Die meisten dürften nur Durchmesser von weniger als 1 km haben. Derart kleine Himmelskörper kann man auf so große Entfernungen kaum entdecken. Die Sonne bildet zusammen mit allen Planeten und Planetoiden das Sonnensystem. Der am weitesten entfernte Planet ist der Pluto. Selbst wenn wir ein Raumschiff besäßen, das mit der Lichtgeschwindigkeit von 300000 km/s fliegt,

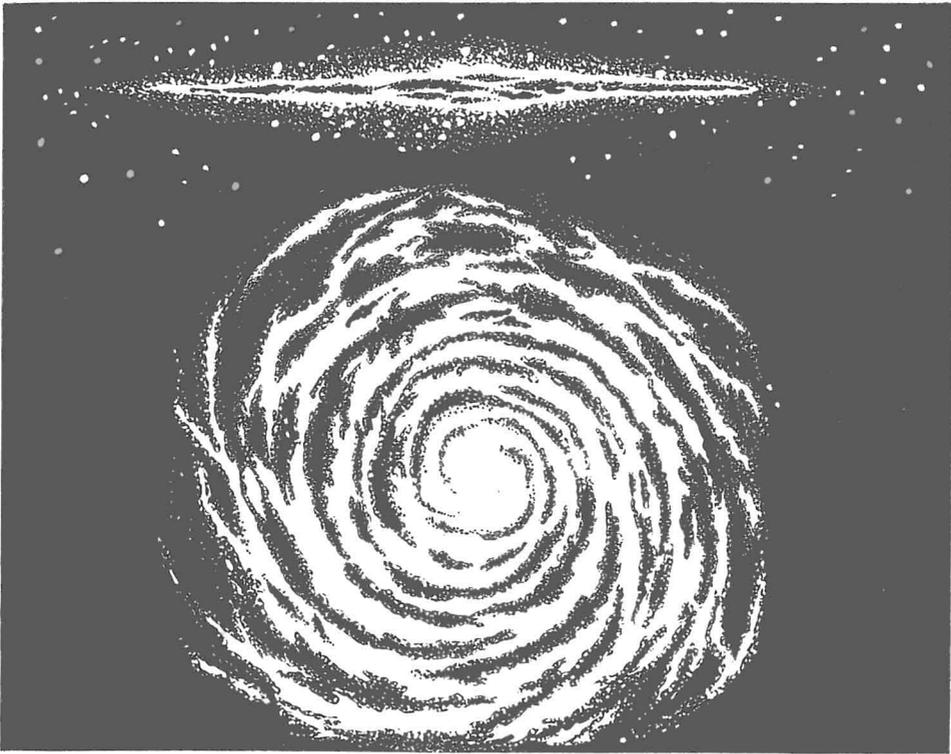
was physikalisch aber nicht möglich ist, brauchten wir für die Strecke von der Sonne zum Pluto $5\frac{1}{2}$ Stunden (für den Flug von der Erde zur Sonne dagegen nur $8\frac{1}{3}$ Minuten).

Reisen wir in Gedanken noch weiter, über die Bahn des Pluto hinaus, so treffen wir erst nach 4,3 Lj wieder auf einen anderen, der Sonne vergleichbaren Stern, den Alpha Centauri. Er ist der uns nächstbenachbarte Fixstern. Wie die Sonne ist er eine riesige Kugel aus glühendem Gas. Über 100 Milliarden solcher Sonnen bilden zusammengenommen unser Milchstraßensystem. Die meisten dieser Sterne befinden sich in einem Raum, dessen Begrenzung etwa der einer Diskusscheibe entspricht, die in der Mitte verdickt ist. Ihr Durchmesser beträgt 100 000 Lj, ihre größte Verdickung 15 000 Lj. Im Kern der Galaxie stehen die Sterne dichter als in den ihn umgebenden Teilen. In diesen Regionen sind sie hauptsächlich in spiralförmigen „Armen“ angeordnet.

Könnten wir von einem Punkt des Weltalls außerhalb unseres Milchstraßensystems auf die Ebene der Scheibe herabschauen, so böte sich der im Bild unten dargestellte Anblick, von der Seite, also aus der Ebene der Scheibe gesehen der im Bild oben gezeigte. Unsere Sonne befindet sich in einem der Spiralarme etwa 33 000 Lj vom Zentrum der Galaxie entfernt. Schauen wir von der Erde aus in die Richtung der Scheibenebene auf den nächtlichen Himmel, dann stehen in der Blickrichtung folglich besonders viele Sterne. Sie scheinen so dicht beieinander zu sein, daß das Auge sie nicht mehr als getrennte Lichtpünktchen sieht; ihr Licht fließt vielmehr zu einem schimmernden Band zusammen. Das ist die Milchstraße genannte Region des Himmels. Nur das Fernrohr löst den milchig-nebligen Schimmer in viele einzelne Lichtpunkte, in Sterne auf.

Die dunklen Einschnitte der Milchstraße besagen nicht, daß es in dieser Richtung keine Sterne gibt. Sie werden vielmehr durch Ansammlungen kosmischen Staubs verursacht, der im Raum zwischen den Sternen schwebt. Solche Dunkelwolken interstellarer, das heißt zwischen den Sternen angeordneter Materie verwehren uns auch den Blick auf das Zentrum der Galaxie. Die Scheibe wird noch beiderseits umwölbt von dem sogenannten galaktischen Halo. Hier befinden sich in einem etwa kugelförmigen Raum ebenfalls Sterne, jedoch nicht so dicht beieinander wie in der Scheibe.

So wie die Planeten die Sonne umlaufen, bewegen sich auch die



So wäre unser Milchstraßensystem aus den Weiten des Weltalls zu sehen.
Oben: Blick aus einer Richtung, die in der Ebene der Scheibe liegt. Unten: Blick aus einer Richtung senkrecht zur Scheibenebene

Sterne der Galaxie um das Zentrum des Milchstraßensystems. Unser Sonnensystem umkreist es mit einer Geschwindigkeit von 250 km/s. Trotzdem benötigt es für einen vollen Umlauf 250 Millionen Jahre. Viele Sterne bilden ein Doppelsystem. Dabei kreisen zwei Sonnen umeinander. Sie ähneln Tänzern, die sich bei der Umrundung des Saales gleichzeitig wie im Walzer drehen.

Fixsterne im wörtlichen Sinne gibt es also gar nicht. Die alten Astronomen konnten ihre Bewegungen nur noch nicht feststellen. Denn infolge der riesigen Entfernungen scheinen die Sterne trotz ihrer hohen Geschwindigkeiten stillzustehen. Auch mit den heutigen Fernrohren sind die Bewegungen nicht innerhalb einer Nacht zu erkennen. Erst wenn man fotografische Aufnahmen vergleicht, die in Abständen von Jahren oder Jahrzehnten erfolgten, ist eine Veränderung ihrer Orte am Himmel zu bemerken.

Nun ist „unser“ Milchstraßensystem aber nicht das einzige im

Weltall! Seit es die großen Teleskope gibt, wissen wir, daß in dem Teil des Kosmos, der in ihrer Blickweite liegt, etwa 10 Milliarden Galaxien existieren. Sie sind in einem Raum von 10 Milliarden Lj Radius (Halbmesser) verteilt. Auch diese Galaxien ziehen ihre Bahnen. Im ganzen Universum gibt es also kein unbewegtes Objekt.

Wollte man ein maßstäbliches Modell des bisher bekannten Teils des Universums anfertigen und dabei der Erde einen Durchmesser von nur 1 mm geben, so wäre die Sonne 10,7 cm groß und 11,54 m entfernt, der Pluto 457 m und der Alpha Centauri 3 129 km weit. Unser Milchstraßensystem hätte einen Durchmesser von 72,8 Millionen km. Die nächstbenachbarte Galaxie, der Andromedanebel, wäre 118 Millionen km groß und 1,638 Milliarden km von der Erde entfernt. Die fernsten Milchstraßensysteme befänden sich 7,277 Billionen km weit von dem winzigen Erdkugelchen. (1 Billion = 1000 Milliarden.)

Dies sind wohlgermerkt nicht die wirklichen Entfernungen, sondern nur die in einem gedachten maßstäblichen Modell, in dem die Erde, die in Wirklichkeit eine Kugel von rund 12 700 km Durchmesser ist, auf die Winzigkeit eines Millimeters verkleinert wurde! Um ein solches Modell aufzubauen, reichte also nicht einmal der Raum zwischen Erde und Mond aus. Denn dieser ist im Mittel nur 384 000 km entfernt. Das Modell beanspruchte vielmehr einen Raum mit dem über 1 000fachen Durchmesser des Sonnensystems. Vielleicht läßt uns das ein bißchen ahnen, wie groß das Weltall ist.

Jeder Stern und jede Galaxie existierte nicht von Anfang an in dem heutigen Zustand. Auch die Himmelsobjekte haben eine Geschichte und sind in ständiger Veränderung begriffen. Sterne durchlaufen verschiedene Stadien der Entwicklung. Unsere Sonne zum Beispiel wird nach Milliarden Jahren zu einem „Roten Riesen“, das heißt sich so ausdehnen, daß ihr Radius bis über die Bahnen der beiden ihr nächsten Planeten Merkur und Venus hinausreicht. Sie wird diese dann gewissermaßen verschlucken. In sehr späten Stadien ihrer Entwicklung ziehen sich Sterne wieder auf engsten Raum zusammen. Manche werden dabei wahrscheinlich so stark verdichtet, daß die Anziehungskraft ihrer Oberfläche unvorstellbar groß ist. Sie ziehen dann selbst das Licht so stark an, daß

sich kein Strahl mehr in den Raum ausbreitet. Weil ihr Vorhandensein durch Licht nicht mehr festzustellen ist, nennt man solche „toten“ Sterne schwarze Löcher.

Bei ein und demselben Stern ist die Abfolge der Entwicklungsstufen freilich nicht zu beobachten, weil sich die Vorgänge im Verlaufe von vielen Millionen und Milliarden Jahren vollziehen. Da wir im Weltall jedoch Sterne in unterschiedlichen Stadien ihrer Geschichte antreffen, läßt sich unter Anwendung bekannter physikalischer Gesetzmäßigkeiten schlußfolgern, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Zustände durchlaufen werden.

Alle diese Erkenntnisse wurden aber nicht allein durch bloße Fernrohr-Beobachtungen der Himmelskörper gewonnen. Hand in Hand mit dem Gebrauch der Teleskope ging die Erforschung der Grundbausteine der Materie in irdischen Labors vonstatten. Auch dies erforderte, in Bereiche der kleinsten und daher ebenfalls unsichtbaren Teilchen der Stoffe vorzudringen, worüber später noch berichtet wird. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen konnten Schlüsse gezogen werden, wie die im Weltall zu beobachtenden Erscheinungen zu erklären sind.

Stellen wir nun einmal dem hier nur in größten Umrissen skizzierten Weltbild der modernen Astronomie das des Altertums und Mittelalters gegenüber, um zu ermessen, welche revolutionierenden Fortschritte der Vorstoß ins Unsichtbare brachte! Nach den Vorstellungen der alten Völker war die Erde von sieben durchsichtigen kristallinen Kugelschalen umgeben, auf denen sich der Mond, die Sonne und die damals bekannten Planeten befanden. Die Schalen sollten sich um die Erde bewegen und mit ihnen die daran haftenden Himmelskörper. Auch die Fixsterne schwebten nach diesen Auffassungen nicht frei in einem offenen Weltraum, sondern waren an einer gleichfalls festen achten Kugelschale, der Fixsternsphäre, angeheftet. Von den Entfernungen und Größen der Himmelskörper hatte man nicht die geringste Ahnung.

Himmelsohren lauschen der Sternen „musik“

Karl Guthe Jansky, ein damals junger amerikanischer Physiker, bekam 1930 den Auftrag, die Störungen des Kurzwellen-Funkverkehrs zwischen Amerika und Europa zu untersuchen. Dabei entdeckte er unter anderem eine Strahlung, die stets im Abstand von 23 Stunden und 56 Minuten auftrat. Das ist gerade die Zeitspanne, die ein Stern bei der scheinbaren Umdrehung des Himmels für einen vollen Umlauf um die Erde benötigt. Die störenden Radiowellen mußten also von einem der zahlreichen Fixsterne stammen. Inzwischen weiß man, daß sehr viele Himmelsobjekte solche Radiofrequenzstrahlungen aussenden.

Doch dürfen wir uns darunter keine Rundfunksendungen mit Musik oder Nachrichten vorstellen. Die kosmischen Radiowellen werden nicht von Bewohnern anderer Sterne erzeugt, sondern sind Begleiterscheinungen von Naturvorgängen. Auch die Gewitterblitze rufen im Radio Störungen hervor. Wenn wir den Empfänger auf Mittel- oder Langwellen schalten, hören wir bei jedem Blitz ein Knacken im Lautsprecher. Die Radiowellen aus dem Weltraum sind als Rauschen und Prasseln hörbar. Mit einem gewöhnlichen Rundfunkgerät kann man sie allerdings nicht empfangen, sondern nur mit sogenannten Radioteleskopen.

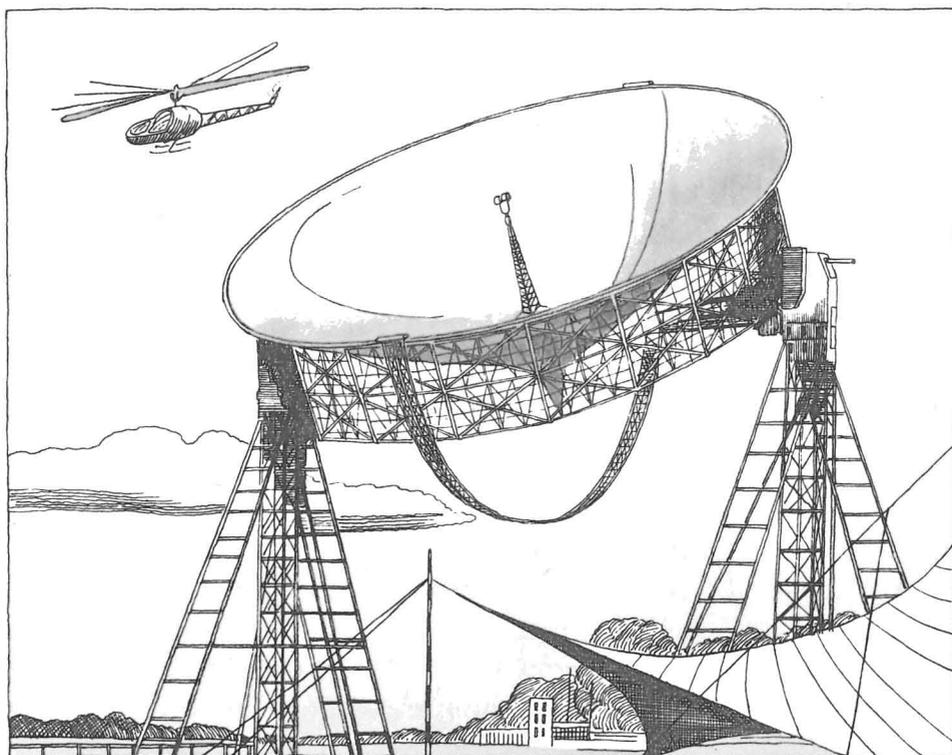
Die kosmischen Radiowellen treffen sehr viel schwächer auf der Erde ein als die Sendungen des Hör- und Fernsehfunks. Radioteleskope sind deshalb mit sehr komplizierten und teuren Verstärkern ausgestattet. Und ihre Antennen sehen anders aus als die für Rundfunk und Fernsehen. Es sind große metallene schüsselähnliche Parabolspiegel. Wie der Spiegel eines Fernrohrs die Lichtstrahlen, sammelt die „Schüssel“ die Radiowellen ein und konzentriert sie in einem Brennpunkt. Dort ist die eigentliche Antenne angeordnet. Sie befindet sich an dem aus dem Mittelpunkt der Schüssel herausragenden Stab. Von hier aus werden die Wellen über ein Kabel oder einen Hohlleiter zu den elektronischen Geräten im Innern des Gebäudes weitergeleitet. Die kosmischen Radiowellen nur hörbar zu machen würde wenig nützen. Sie werden vielmehr mit Hilfe geeigneter Apparaturen als fortlaufende Kurve auf Papierstreifen oder

in Form magnetischer Signale auf Magnetbändern aufgezeichnet und zur Auswertung in elektronische Rechenautomaten eingegeben.

Wie die Fernrohre wurden auch die Radioteleskope zu immer höherer Leistungsfähigkeit entwickelt. Doch erfolgte dies viel schneller, nämlich innerhalb weniger Jahrzehnte. Die riesigen Parabolspiegel dieser „Himmelsohren“ sind nicht nur erforderlich, um möglichst viele der sehr schwachen Radiowellen einzufangen. Wie beim Licht-Teleskop hängt auch das Auflösungsvermögen vom Durchmesser des Parabolspiegels ab. Da hierbei eine gesetzmäßige Beziehung zur Wellenlänge besteht und diese bei Radiostrahlen millionenmal länger als beim Licht ist, müssen die Antennen sehr viel größer sein als die Objektive beziehungsweise Spiegel der Fernrohre.

Auf dem Gelände der Akademie der Wissenschaften der DDR in Berlin-Adlershof befindet sich ein Radioteleskop, das mit 36 m Durchmesser einige Jahre das größte der Welt war. Inzwischen ist

76-m-Radioteleskop von Jodrell Bank



es allerdings durch weit größere übertroffen. So wurde beispielsweise in einem Talkessel auf der Insel Puerto Rico im Karibischen Meer eine Parabolspiegel-Antenne von 300 m Durchmesser errichtet. Außerdem gibt es die Möglichkeit, statt eines großen sehr viele kleine Reflektoren zu einem Radioteleskop zusammenzuschalten. Ein derartiges Instrument aus 895 einzelnen Reflektoren, die in einem Ring von 600 m Durchmesser angeordnet sind, befindet sich bei Selentschukskaja in der Sowjetunion.

Die Radioastronomie, wie dieser Forschungszweig heißt, hat zu weiteren wichtigen Entdeckungen geführt, die allein mit Licht-Teleskopen nicht möglich gewesen wären. So wurden Himmelskörper entdeckt, die im Fernrohr alle Eigenschaften eines sternförmigen Objekts aufweisen, andererseits aber eine stärkere Strahlung aussenden als ein ganzes Milchstraßensystem mit Hunderten von Milliarden Sternen zusammengenommen. Man nennt diese Gebilde Quasare, eine Abkürzung für englisch Quasistellar Radio Sources (gleichsam sternförmige Radioquellen). Es wird vermutet, daß es sich dabei um Galaxien in einem frühen Stadium ihrer Entwicklung handelt, in dem das Kerngebiet gigantische Ströme heißen Gases ausschleudert.

Ferner fanden die Radioastronomen Pulsare genannte Objekte, von denen in sehr kurzen Abständen gewissermaßen ein Radiowellenblitz ausgeht. Diese sind nach den bisherigen Erkenntnissen Sterne, die sich zu winzigen Kugeln von beispielsweise 15 km Durchmesser verdichtet haben, obwohl sie ursprünglich Durchmesser von rund 1 Million km oder mehr hatten. Da bei dieser Schrumpfung nach den Gesetzen der Physik der Drehimpuls erhalten bleibt, rotieren sie mit sehr großer Geschwindigkeit, so daß eine volle Umdrehung nur Sekunden oder Bruchteile davon dauert. Ähnliches können wir beobachten, wenn Eisläufer eine Pirouette drehen. Sobald sie die ursprünglich seitlich ausgestreckten Arme anziehen, also gewissermaßen ihren Körperdurchmesser verkleinern, erhöht sich zwangsläufig ihre Umdrehungsgeschwindigkeit.

Die atemberaubendste Entdeckung der Radioastronomie knüpft an etwas an, was schon mit den größten Spiegelteleskopen beobachtet wurde. Aus bestimmten Erscheinungen im Spektrum ferner Milchstraßensysteme war zu schließen, daß sie sich mit riesigen Geschwindigkeiten bis zu über 100 000 km/s von uns fortbewegen.

Das führte zu dem Schluß, daß zu Beginn der Entwicklung des Weltalls die Materie aller Himmelskörper auf kleinstem Raum zusammengedrängt war und seitdem nach allen Seiten auseinanderstrebt. Dies wird als Expansion (Ausdehnung) des Weltalls bezeichnet. Es ist zu berechnen, daß – falls die Annahme zutrifft – als Überbleibsel der „Ur-Explosion“ aus allen Richtungen des Universums eine Radiofrequenzstrahlung ganz bestimmter Wellenlänge eintreffen müßte. Diese sogenannte 3-K-Strahlung konnte tatsächlich nachgewiesen werden. Das gibt der Vermutung des Auseinanderstrebens aller Galaxien eine wichtige Stütze.

Die Ausdehnung des Weltalls begann vor etwa 18 Milliarden Jahren. Eine interessante Frage, die kommende Generationen von Astrophysikern zu lösen haben, ist, ob die Expansion irgendwann wieder in eine Kontraktion, eine Schrumpfung des Weltalls umschlägt. Zwar wird das Umschlagen selbst nicht zu beobachten sein, weil es erst nach Jahrmilliarden einsetzen dürfte. Doch ließe sich die Frage durch theoretische Überlegungen im voraus entscheiden, wenn wir wüßten, wieviel Materiemasse insgesamt im Weltall vorhanden ist. Überschreitet nämlich die Gesamtmasse des Universums oder, anders ausgedrückt, seine mittlere Dichte (die durchschnittlich je Raumeinheit existierende Masse) einen bestimmten Betrag, dann muß die zwischen allen Massen wirkende gegenseitige Anziehungskraft irgendwann das Übergewicht über die Expansion erlangen. Nach den bisherigen Erkenntnissen ist dies allerdings weniger wahrscheinlich als die immer weitere Ausdehnung.

Wie wird man Amateur-Astronom?

Viele später sehr berühmt gewordene Forscher haben einmal damit angefangen, daß sie Himmelsbeobachtungen in ihrer Freizeit als Hobby betrieben. Sie wurden dann aber von den Problemen der Sternwelt so gefesselt, daß sie – in früheren Zeiten meist unter größten Entbehrungen – durch Selbststudium oder an der Universität die erforderlichen Kenntnisse erwarben, um beruflich astrono-

mische Forschungen treiben zu können. Heute gibt es Laien-Arbeitsgemeinschaften für Astronomie, in denen gute technische Hilfsmittel für diese Freizeitbeschäftigung zur Verfügung stehen.

Nicht nur mit den großen oder kleineren Fernrohren ist Interessantes am Himmel zu beobachten. Schon der Feldstecher erschließt uns eine Reihe sehenswerter Objekte. Sehr wichtig ist jedoch, daß wir ihn nicht freihändig halten, sondern fest montieren. Erst dadurch ist seine Leistungsfähigkeit voll auszunutzen. Dafür sind ein stabiles Fotostativ mit Kameraneiger und eine Halterung erforderlich. In Fachgeschäften für Foto und Optik ist ein Feldstecherhalter käuflich, der sich auf das Stativ aufschrauben läßt. Eine entsprechende Halterung kann man aber auch selbst basteln.

Es gibt mehrere Bücher mit Anleitungen dafür, die Himmelsbeobachtung als Hobby zu betreiben, so „Das Sternguckerbuch“ von Dieter B. Herrmann (Verlag Neues Leben), „Himmelsbeobachtungen mit dem Fernglas“ von Brandt, Müller und Splittgerber (Johann Ambrosius Barth Verlag), „Beobachtungsobjekte für Liebhaber-astronomen“ von Paul Ahnert (gleicher Verlag) und „Astronomie selbst erlebt“ von K. Lindner (Urania-Verlag). In den beiden erstgenannten Büchern finden wir auch Hinweise dafür, durch ein Vorsatz-Fernrohr die Vergrößerung des Feldstechers noch beträchtlich zu steigern. Falls die Bücher zur Zeit nicht lieferbar sind, können wir sie in Bibliotheken ausleihen.

Zu den interessanten Objekten für den Amateurastronomen gehören unter anderen der Mond, die Planeten, Doppelsterne und Sonnenflecken. Doch sei nochmals darauf hingewiesen, daß Sonnenbeobachtungen nur mit den speziell dafür geeigneten Schutzfiltern erfolgen dürfen, da sonst die Gefahr nicht wieder heilbarer Schädigungen der Augen besteht. Auch mit diesen Filtern sollten Beobachtungen nicht zu lange ausgedehnt werden, da bei Dauerwirkung des konzentrierten Sonnenlichts das Filterglas platzen und dies zu Augenverletzungen führen kann. Eine andere Methode besteht darin, einen Projektionsschirm zu benutzen.

„Sehen“ durch Nacht und Nebel

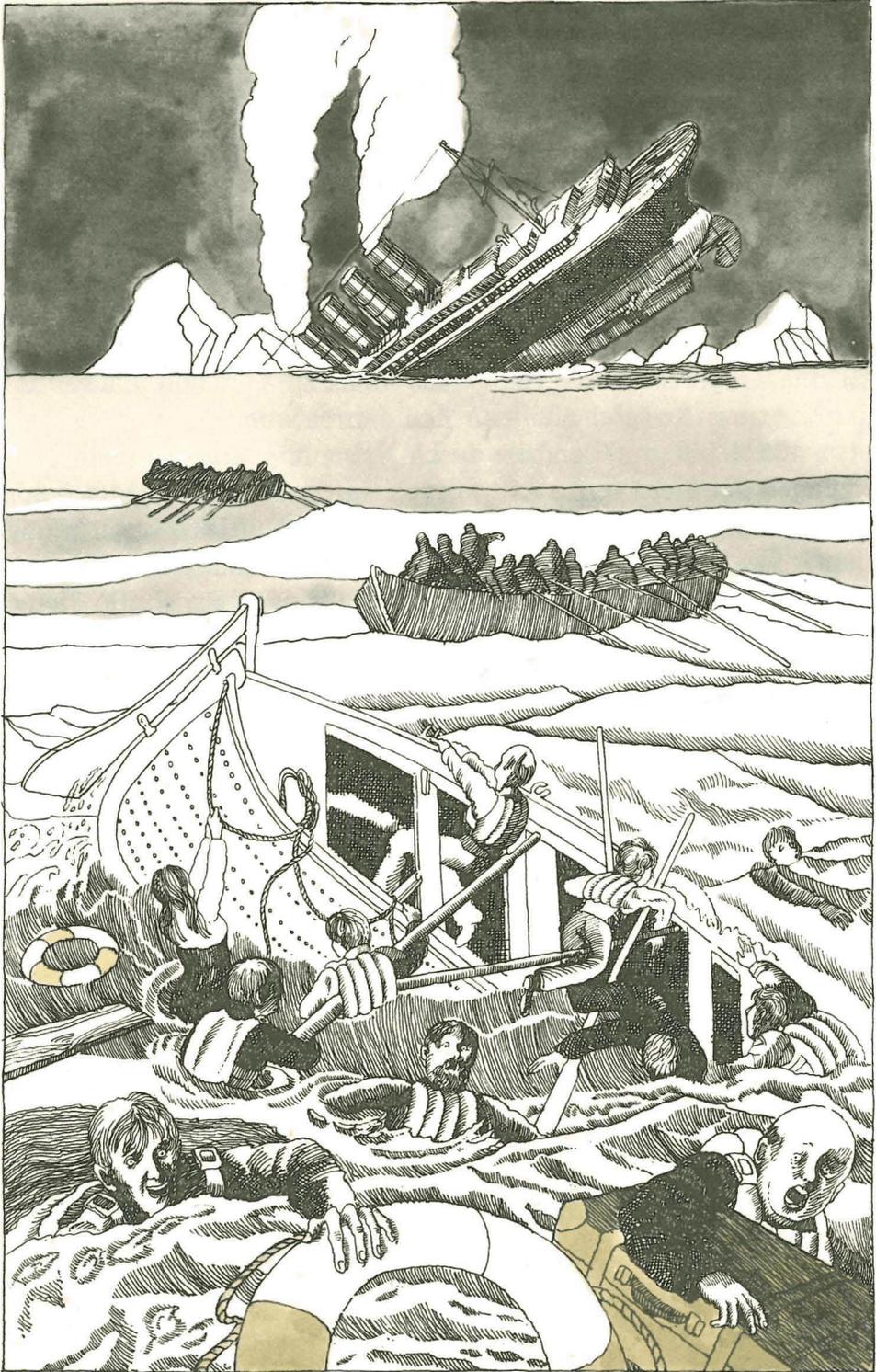
Im Jahre 1912 ereignete sich eine der schwersten Katastrophen der Schifffahrt. Der große Übersee-Luxusdampfer „Titanic“ stieß auf der Fahrt von Europa nach Amerika mit einem Eisberg zusammen. Das Schiff sank so schnell, daß es für die meisten Passagiere und Mannschaften keine Rettung mehr gab. Sie ertranken in den eisigen Fluten.

Der Untergang der „Titanic“ war zwar das größte, aber nicht das einzige Unglück dieser Art. Nach Schätzungen von Fachleuten kam es zum Beispiel allein in den Jahren von 1936 bis 1939 zu etwa 400 Schiffsunfällen, die durch Nebel oder andere Beeinträchtigungen der Sicht verursacht worden waren. Heute hat jedes Schiff eine Radaranlage an Bord. Dieses technische Hilfsmittel ermöglicht gewissermaßen ein „Sehen“ durch Nacht und Nebel.

Das Wort Radar ist eine Abkürzung für englisch *Radio Detecting and Ranging*. Das bedeutet sinngemäß übersetzt Entdecken und Orten mit Funkwellen. Schon Heinrich Hertz (1857–1894), ein deutscher Physiker, der 1886 die Radiowellen entdeckte, stellte fest, daß sie ähnlich wie Licht von einem Hindernis zurückgeworfen werden.

Der aus Kroatien stammende, nach den USA ausgewanderte Physiker und Elektrotechniker Nikola Tesla schlug 1900 in einer New-Yorker Zeitschrift vor, die Radiowellen dafür anzuwenden, um bei fehlender Sicht Schiffe auf eine Entfernung bis etwa 1000 m zu erkennen. Doch er fand kein Interesse dafür. Man hielt ihm entgegen, daß ein Nebelhorn viel einfacher und außerdem über die doppelte Entfernung zu hören sei.

Ein deutscher Techniker, Christian Hülsmeier, griff zwei Jahre später das gleiche Problem wieder auf. Er arbeitete ein Verfahren aus, „entfernte metallische Gegenstände mittels elektrischer Wellen einem entfernten Beobachter zu melden“. Das hierfür konstruierte Gerät nannte er Telemobiloskop. Im Mai 1904 führte er es auf einer Kölner Rheinbrücke vor. Über eine Antenne sandte er Radiowellen in Richtung des Flußlaufs. Näherte sich ein Dampfer oder Schleppzug, so reflektierte er die elektromagnetischen Wellen. Wenn sie im Empfänger eintrafen, lösten sie eine elektrische Klin-



gel aus. Eine Firma, die solche Apparate in großen Stückzahlen herzustellen bereit war, fand sich aber nicht.

Hülsmeyers Telemobiloskop hätte allerdings vorerst auch nur begrenzten Nutzen gebracht. Denn es fehlte noch an zwei wichtigen technischen Voraussetzungen. Da nur ein geringer Teil der Radiowellenstrahlung reflektiert wird, ist das Funk„echo“ äußerst schwach. Um es über größere Entfernungen zu empfangen, müssen die eintreffenden schwachen Funksignale erheblich verstärkt werden. Das war damals noch nicht möglich.

Außerdem ist die Entfernung des so zu ortenden Objekts nur zu ermitteln, indem man die Zeit, die zwischen der Aussendung der Radiowellen und dem Wiedereintreffen ihres Echos vergeht, äußerst genau mißt. Da sich Funkwellen jedoch wie Licht mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 000 km/s ausbreiten, ist ihre Laufzeit hin und zurück selbst bei Entfernungen von vielen Kilometern sehr kurz. Auf 15 km Abstand beträgt die Weglänge $2 \cdot 15 \text{ km} = 30 \text{ km}$. Sie wird bei einer Geschwindigkeit von 300 000 km/s in $\frac{1}{10000} \text{ s}$ durchlaufen. Mit mechanischen Uhren sind derart kurze Zeiten nicht meßbar, und elektronische Geräte zum Erfassen kürzester Zeiten gab es ebenfalls noch nicht. Daher mußten erst Wege gefunden werden, um Milli-(= Tausendstel-), Mikro-(Millionstel-) und sogar Nano(= Milliardstel)sekunden ganz exakt zu messen. Denn schon ein Fehler von nur 1 Zehntausendstelsekunde ergäbe eine um 15 km zu kurze oder zu weite Entfernung!

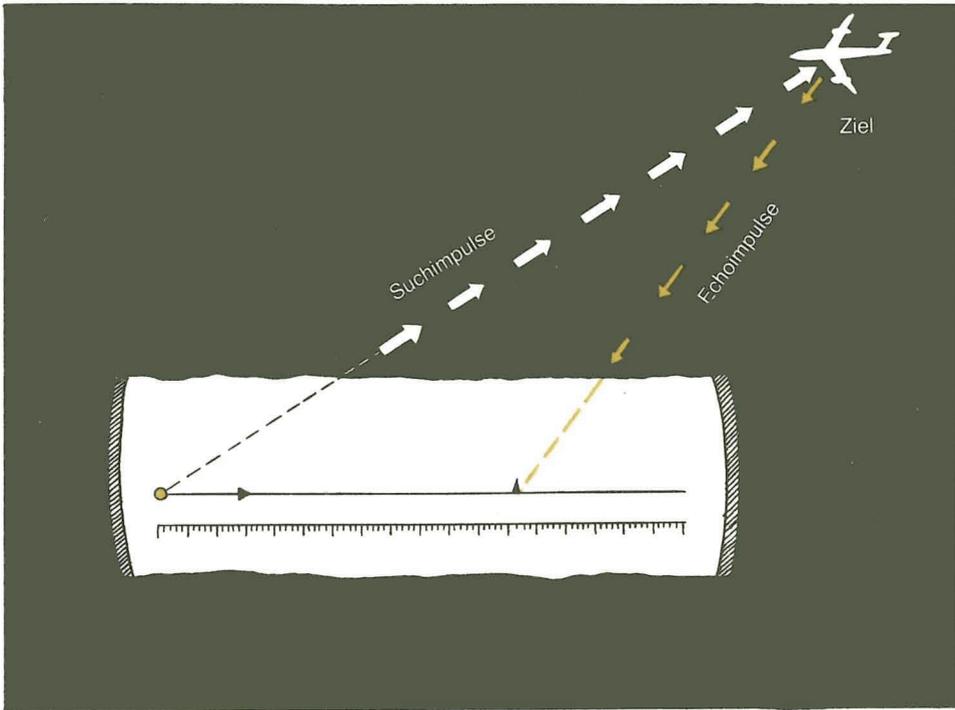
Die Entwicklung der Radartechnik begann in den 30er Jahren, zunächst aber für eine andere als die ursprünglich vorgesehene Anwendung in der Schifffahrt. Infolge der sich immer mehr zuspitzenden Angriffspolitik des deutschen Faschismus erschien es nötiger, Möglichkeiten zu finden, um gegnerische Flugzeuge schon vor ihrem Eindringen in den Luftraum des eigenen Landes zu bemerken. Besonders in Großbritannien, der Sowjetunion und Frankreich wurde deshalb angestrengt an der Radartechnik gearbeitet. Dem Engländer Robert Watson Watt gelang es 1935 zum ersten Mal, Flugzeuge durch Radar auf eine Entfernung zu entdecken, aus der sie weder zu sehen noch zu hören waren. Doch betrug die Reichweite seiner Anlage anfangs nur 24 km. Noch im gleichen

Jahr konnte sie auf 90, bis zum Beginn des zweiten Weltkriegs für Einzelflugzeuge auf 200 und für Bomberverbände auf 300 km gesteigert werden. Die Reichweite der heutigen militärischen Radar-Warnsysteme ist noch sehr viel größer.

Vielleicht haben wir schon einmal beobachtet, wie der Himmel mit einem Scheinwerfer abgesucht wurde. So wie dieser einen gebündelten Lichtstrahl aussendet, strahlt die Radarantenne einen ebenfalls scharf begrenzten Richtstrahl unsichtbarer Radiowellen aus. Dies haben Scheinwerfer und Radar gemeinsam. Doch bestehen auch wesentliche Unterschiede. Zum Beispiel senden die meisten Radaranlagen keinen Dauerstrahl aus, sondern nur sehr schnell aufeinanderfolgende äußerst kurzzeitige Impulse. Am gebräuchlichsten sind Impulslängen zwischen 5μ -(Mikro-) und 50 ns(Nanosekunden). Innerhalb einer Sekunde werden 100 bis 5000 solcher Radar„blitze“ erzeugt. Entsprechend oft und schnell ist die Anlage abwechselnd auf Senden des Impulses und Empfangen des Echos umzuschalten. Ferner haben Radarwellen nicht nur eine viel größere Reichweite als der Scheinwerferstrahl, sondern sie durchdringen auch Wolken und Nebel. Um den Horizont rundum abzusuchen, dreht sich die Antenne dauernd. Die scharfe Bündelung des Strahls wird durch besondere Formen der Antenne, genauer gesagt: ihres Reflektors, erreicht. Je nach dem Zweck der Anlage sehen Radarantennen ganz verschieden aus.

Besonders scharf lassen sich nur Radiowellen von sehr kurzen Wellenlängen bündeln. Die für den Hör-Rundfunk benutzten Mittel- und Langwellen eignen sich daher für Radar nicht. Schiffsradar-Anlagen arbeiten mit Wellenlängen um 3 cm. Im Flugverkehr werden Radarwellen um 10 cm, in der Luftverteidigung Dezi (= Zehntel)meterwellen verwendet. Das Verkehrsradar, mit dem die Polizei die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von Kraftfahrzeugen kontrolliert, erfordert Millimeterwellen. Der UKW-Hörfunk und das Fernsehen benutzen Meterwellen, der Mittel- und Langwellen-Rundfunk Wellenlängen von etwa 200 bis 2000 m.

Völlig verschieden vom Sehen im gewöhnlichen Sinne ist die Art und Weise, in der Richtung und Entfernung des vom Radarstrahl erfaßten Objekts angezeigt werden. Das zurückgeworfene Echo besteht ja aus unsichtbaren Radiowellen. Sie müssen folglich erst wei-



Entfernungsanzeige eines Radarziels auf dem Sichtgerät. In jedem Moment, in dem ein neuer Such-Impuls die Radarantenne verläßt, schreibt ein Elektronenstrahl eine Leuchtlinie von links nach rechts über den Bildschirm. Diese Leuchtspur dient als Zeit-Meßlinie. Jedes Eintreffen eines Echos verursacht eine Zacke in der Zeit-Meßlinie. Aus der Lage der Zacke ist die Laufzeit des Impulses und somit die Entfernung des Ziels zu ermitteln

terverarbeitet werden, um ein sichtbares Lichtsignal zu ergeben. Dafür dient das sogenannte Sichtgerät. Es enthält eine Elektronenstrahlröhre, die der Bildröhre des Fernsehempfängers ähnelt. Doch entsteht auf dem Bildschirm des Sichtgeräts kein wirkliches Abbild des Objekts wie beim Fernsehen, sondern nur ein Lichtsignal.

Im hinteren Teil, dem Hals jeder Elektronenstrahlröhre befindet sich eine Vorrichtung, die ständig eine scharf ausgerichtete Salve winzigster elektrisch geladener Teilchen, Elektronen genannt, aussendet: den Elektronenstrahl. Er bewegt sich in Richtung auf den Bildschirm. Das ist die milchig aussehende Schicht an der Innenseite der großen Vorderfläche. Sie besteht aus einem Stoff, der beim Auftreffen von Elektronen Licht aussendet und daher Leuchtstoff genannt wird.

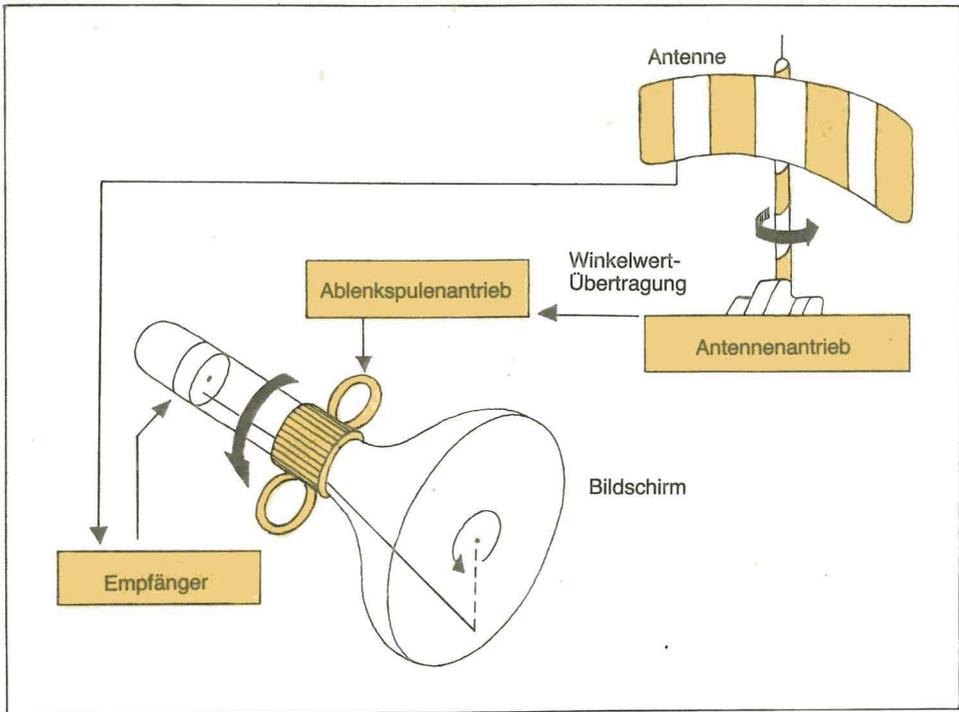
Der Elektronenstrahl läßt sich durch elektrische und magneti-

sche Kräfte sowohl horizontal wie auch vertikal ablenken. Wird er waagrecht abgelenkt, so wandert er quer über den Bildschirm und erzeugt eine linienförmige Leuchtspur. Man kann ihn während dieser horizontalen Wanderung aber auch für einen Moment senkrecht, also nach oben oder unten ablenken. Dann resultiert keine glatt durchlaufende Linie mehr, sondern sie erhält an einer bestimmten Stelle eine vertikale Zacke.

Eine recht einfache Methode, die Entfernung eines Radarziels sichtbar darzustellen, besteht darin: Wenn ein Suchimpuls von der Antenne ausgeht, läuft ein Elektronenstrahl waagrecht von links nach rechts über den Bildschirm und erzeugt so eine Leuchtlinie. Da sie mit jedem neuen Sende-Impuls immer wieder auf dieselbe Stelle des Bildschirms „geschrieben“ wird, bleibt sie dauernd sichtbar. Jedesmal, wenn ein Echo des erfaßten Objekts eintrifft, wird der Elektronenstrahl aber für den Bruchteil einer Sekunde aus der Waagerechten ein Stück nach oben ausgelenkt, so daß eine Zacke in der Linie entsteht (siehe Bild auf Seite 51).

Die waagerechte Leuchtspur dient hierbei als Zeit-Meßlinie, also als eine Art elektronische Uhr. Die Lage der Zacke auf der Zeitlinie gibt daher an, wie viele Mikro- oder Nanosekunden nach dem Abgang des Such-Impulses das Echo eintraf. Da aus der Laufzeit des Impulses und seines Echos die Entfernung des Objekts zu errechnen ist, signalisiert die Lage der Zacke zugleich den Abstand des georteten Ziels. Wird eine Kilometer-Skale auf dem Bildschirm angebracht, so ist die Entfernung direkt abzulesen. Nähert sich das Objekt, verschiebt sich die Lage der Zacke immer weiter zum Anfang der Zeitlinie. Denn der Abstand – und mithin die Laufzeit der Radarsignale – wird kürzer.

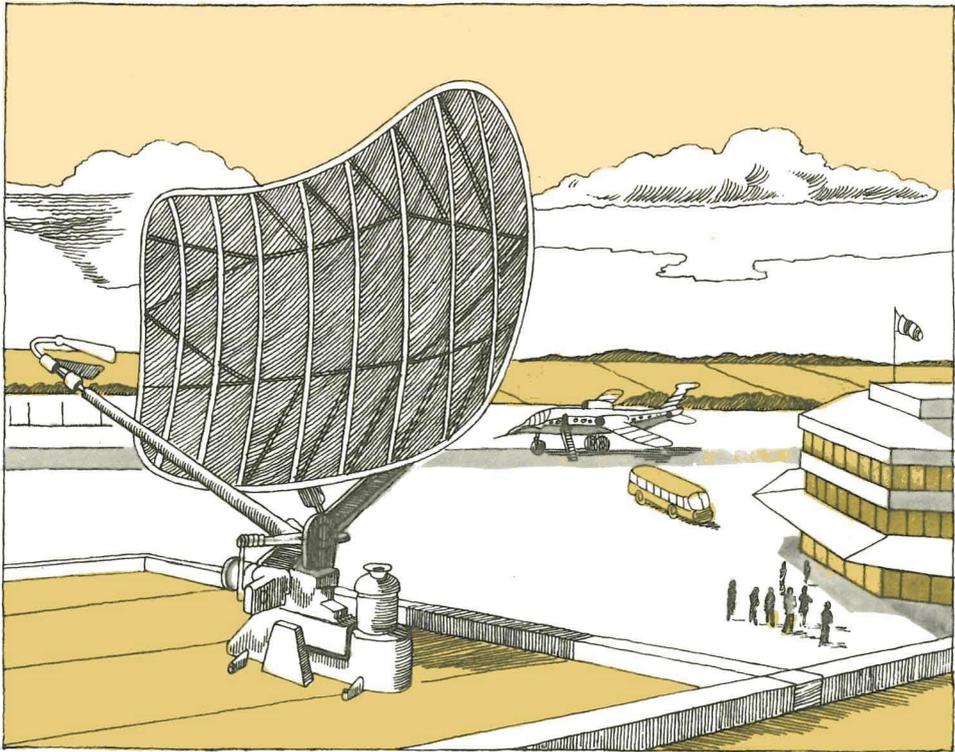
Etwas schwieriger ist es, Entfernung und Richtung eines Objekts auf dem Sichtgerät gleichzeitig anzuzeigen. Dabei beginnt die Zeit-Meßlinie nicht am Rande des Bildschirms, sondern in seinem Mittelpunkt. Nehmen wir zunächst einmal an, die Antenne würde nicht gedreht, sondern stünde still und wäre genau nach Norden gerichtet. Dann würde die zur Ermittlung der Entfernung dienende Meßlinie vom Mittelpunkt des Bildschirms senkrecht zum oberen Rand hin geschrieben, also dorthin, wo auch auf der Kompaß-Skale Norden liegt. Bei dieser Art von Sichtgeräten schreibt der Elektronenstrahl jedoch eine sehr schwach leuchtende Linie. Nur wenn



Richtungs- und Entfernungsanzeige beim Rundblick-Radar. Im gleichen Rhythmus wie die Antenne rotiert das Ablenksystem der Elektronenstrahlröhre. Die Umdrehungen der Antenne, des Ablenksystems und der Zeitlinie sind durch die gefeilten Kreislinien angedeutet. (Weitere Erläuterungen im Text)

aus der Nordrichtung ein Echo ankommt, verändert sich der Elektronenstrahl in diesem Moment so, daß er einen wesentlich heller leuchtenden Fleck auf der Zeitlinie erzeugt. Das Echo wird bei dieser Form der Anzeige also nicht durch eine Zacke in der Meßlinie signalisiert, sondern durch einen hellen Punkt. Aus seinem Abstand vom Mittelpunkt des Bildschirms ist wiederum die Entfernung abzulesen (siehe Bild).

Um anfliegende Maschinen aus allen Richtungen anzuzeigen, dreht sich das den Elektronenstrahl ablenkende System im gleichen Rhythmus wie die Antenne. Demzufolge rotiert die Zeitlinie auf dem Bildschirm wie der Zeiger einer Uhr. Das haben wir in Fernsehreportagen über den Flughafenbetrieb vielleicht schon gesehen. Wiederum entsteht in der rotierenden Zeitlinie jedesmal ein heller Punkt, wenn ein Echo aus der Richtung eintrifft, welche die Zeitlinie gerade anzeigt. Auf diese Weise werden nacheinander die



Radaranterie auf einem Flughafen

Echos aus allen Himmelsrichtungen signalisiert. Die Richtungen, in welcher die hellen Flecke vom Mittelpunkt des Bildschirms aus liegen, zeigen die Richtungen der erfaßten Radarziele an. Die Abstände der Lichtflecke vom Bildschirm-Zentrum informieren über die Entfernungen der Flugobjekte.

Zum Unterschied vom Bildschirm eines Fernsehempfängers benutzt man für Radar-Sichtgeräte Leuchtstoffe, die lange nachleuchten, so daß die Lichtflecke während der Umdrehung der Zeitlinie zwischendurch nicht mehr verschwinden, sondern ständig sichtbar bleiben. Ist der Bildschirm rundum mit einer Kompaß-Skale der Himmelsrichtungen versehen, so sind für jedes Objekt aus der Lage der Leuchtflecke sowohl die Richtung als auch die Entfernung leicht abzulesen. Man erhält also ein übersichtliches „Bild“ über die Positionen der einzelnen Flugzeuge im Luftraum um den Flughafen. Es entspricht dem Überblick, den wir von einem Punkt in sehr großer Höhe über dem Flugplatz hätten, vorausgesetzt, wir könnten durch Dunst und Wolken sehen. Diese Beispiele mögen

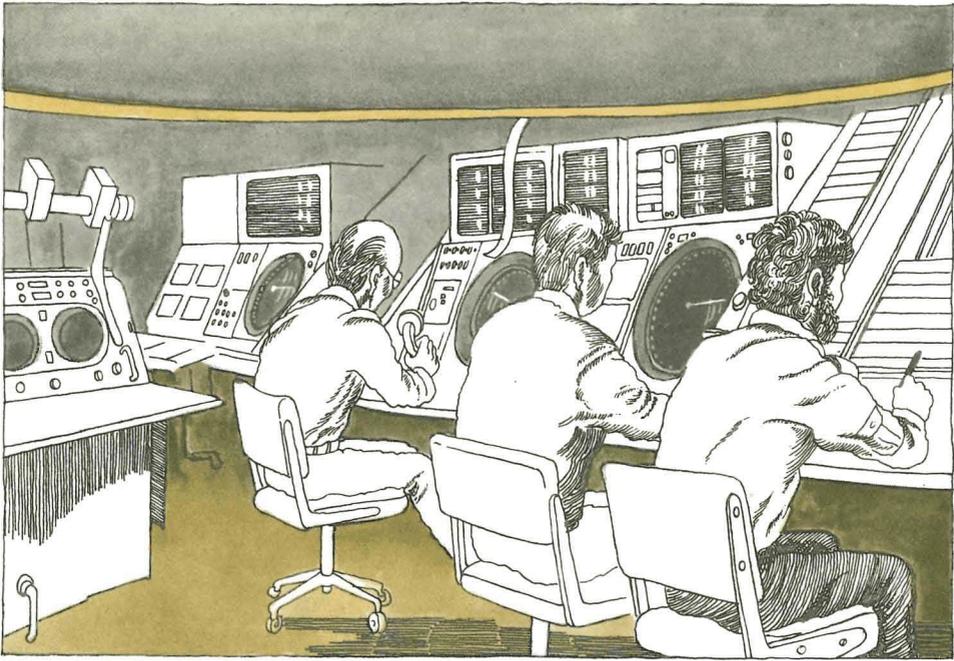
genügen, um das Prinzip des Radars zu veranschaulichen. Es gibt außerdem mehrere weitere Verfahren; sie gewährleisten ein noch leichteres und gegen Irrtümer weitestgehend gesichertes Auswerten des Radarechos.

In der Seefahrt verwendete Radargeräte erfassen nicht nur andere Schiffe, sondern auch Fahrwassermarkierungen, Bojen, Tonnen und dergleichen. Damit solche kleinen Gegenstände ein hinreichend starkes Echo hervorrufen, werden sie mit speziellen Radar-Reflektoren versehen. Selbst Sportboote müssen, wenn sie Küstengewässer und Meere befahren, mit Radar-Reflektoren ausgestattet sein, um bei schlechter Sicht Zusammenstöße mit größeren Schiffen, die eine Radaranlage an Bord haben, auszuschließen. Ebenso sind Rettungsboote mit solchen Reflektoren versehen, um das Auffinden von Schiffbrüchigen durch Schiffe und Suchflugzeuge zu erleichtern.

Radarechos werden nicht immer nur passiv zurückgeworfen wie in den bisher geschilderten Anwendungsfällen. Im Luftverkehr sind sogenannte Transponder gebräuchlich. Sie befinden sich an Bord der Flugzeuge und senden beim Eintreffen von Such-Impulsen des Flughafen-Radars als Antwort ebenfalls aktiv Radarstrahlen einer anderen Wellenlänge aus. Dies ist zugleich eine – aber nicht die einzige – Möglichkeit, um auf dem Sichtgerät des Flughafen-Kontrollturms bewegte Ziele wie Flugzeuge von unbewegten wie Türmen, Schornsteinen, Gebäuden auf Bergspitzen und so weiter zu unterscheiden. Der Radarempfänger auf dem Flughafen wird dann so geschaltet, daß er die schwachen passiven Echos der unbewegten Objekte unterdrückt und nur die kräftigen aktiven Echos des Transponders verarbeitet.

Sendet dieser nicht nur stets gleichbleibende Impulse, sondern Gruppen von Impulsen bestimmter Beschaffenheit aus, so sind darin außer Richtung und Entfernung zugleich noch Daten wie Flughöhe, Geschwindigkeit, Treibstoffvorrat und dergleichen in verschlüsselter Form enthalten. Das ist für die Fluglotsen im Kontrollturm sehr wichtig, um die Maschinen sicher zur Landung einzuweisen. Die Auswertung der verschlüsselten Signale erfolgt automatisch durch einen Computer.

Nicht alle Radargeräte arbeiten nach dem Impuls-Prinzip. Es gibt auch solche, die ununterbrochen Radarwellen aussenden. Sie



Fluglotsen vor den Radar-Sichtgeräten im Kontrollturm eines Flughafens

werden als Dauerstrich-Radar bezeichnet. Eine Messung der Echo-Laufzeit ist dabei nicht möglich. Man kann aber auf andere, indirekte Weise ebenfalls Entfernungen bestimmen. Nach solchen Verfahren messen Flugzeuge beispielsweise laufend ihre Höhe über dem Erdboden. Auch das Verkehrsradar mißt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs durch einen Vergleich der Wellenlänge des ausgesandten und des als Echo zurückgeworfenen Radarstrahls. Bewegt sich nämlich das Fahrzeug in Richtung auf den Sender oder von ihm hinweg, so wird die Wellenlänge beziehungsweise die Frequenz des Echos in einer Weise verändert, die in gesetzmäßigem Zusammenhang mit der Geschwindigkeit steht. Das Verkehrs-Radargerät vergleicht die Frequenzen, errechnet daraus automatisch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und zeigt sie leicht ablesbar an.

Radar wird auch in der Astronomie angewendet. Laufend stürzen aus den Weiten des Weltraums Meteoriten genannte kleine Körper mit Durchmessern von Zentimetern oder Millimetern auf die Erde. Durch ihre hohen Geschwindigkeiten versetzen sie die Gasteilchen der Erdatmosphäre in einen Zustand, in dem sie Licht

aussenden. So entsteht eine Leuchtspur entlang der Bahn des Meteoriten. Wir nennen sie Sternschnuppe. Sie ist freilich nur bei klarem Himmel und nachts zu beobachten. Am Tage überstrahlt das Sonnenlicht das schwache Leuchten, so daß es unsichtbar bleibt. Mit Radar sind dagegen zu jeder Tageszeit und auch bei bedecktem Himmel Meteoriten-Beobachtungen möglich. Das führte zu einigen interessanten neuen Erkenntnissen über diese kosmischen Kleinkörper.

Genaue Vermessungen der Entfernung von Sonne, Mond und mehreren Planeten verdanken wir ebenfalls dem Radar. Ferner wurde ermittelt, wie lange eine volle Umdrehung der Planeten Merkur und Venus um ihre Achse dauert. Das war vordem auf andere Weise nicht festzustellen. Beide Planeten rotieren sehr viel langsamer als die Erde. Zum Beispiel hat der Merkur eine Rotationsperiode von 58 Tagen und 15 Stunden, die Venus von 242 Tagen 23 Stunden und 4 Minuten.

Wetterstationen orten durch Radar Regen, Wirbelstürme und Gewitter im Umkreis bis zu 400 km. Diese Wettererscheinungen zeichnen sich auf dem Radarschirm als schleier- oder wolkenartige Gebilde ab. Die Wassertröpfchen in den Regengebieten verursachen nämlich ebenfalls schwache Echos. Infolge der großen Anzahl von Tropfen summieren sich die vielen schwachen Impulse, so daß ein hinreichend empfindlicher Empfänger sie registriert.

Wie der Mensch „durchsichtig“ wird

Es geschah im November 1895. Schon seit Tagen war der Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) für niemand zu sprechen. Tag für Tag schloß er sich in sein Labor in der Würzburger Universität ein und führte immer wieder die gleichen Versuche durch. Denn das Ergebnis war so verblüffend, daß er selbst kaum daran zu glauben wagte. Er experimentierte mit starken elektrischen Entladungen, die in einer luftleer gepumpten Glasröhre erfolgten. In der Nähe der Röhre befand sich eine mit Leuchtstoff bestrichene Scheibe. Immer wenn die elektrische Entladung statt-

fand, leuchtete sie für einen Moment auf. Besonders erstaunlich und vorerst unerklärbar blieb, daß das Leuchten auch dann auftrat, wenn die Entladungsröhre vollständig mit lichtundurchlässigem Papier umkleidet war, so daß kein Fünkchen Licht von ihr nach außen dringen konnte. Röntgen hatte auch die Fenster sorgfältig verdunkelt. Mit dem Tageslicht konnte die Leuchterscheinung also nicht zusammenhängen.

Bei der elektrischen Entladung in der Röhre mußten vielmehr bisher unbekannte und völlig unsichtbare Strahlen entstehen. Sie durchdrangen nicht nur das Glas, sondern auch das schwarze Papier. Wenn sie auf den Leuchtstoff der Scheibe trafen, regten sie diesen zur Aussendung sichtbaren grünlichen Lichts an. Unsichtbare Strahlen erzeugten also mit Hilfe des Leuchtstoffs sichtbares Licht.

Die Sache wurde noch geheimnisvoller, als Röntgen zufällig einmal die Hand zwischen die Entladungsröhre und den Leuchtstoffschirm hielt. Plötzlich sah er auf diesem deutlich die Knochen seiner Hand. Normalerweise sind sie ja unsichtbar, weil die Haut und das Fleisch der Fingermuskeln sie verdecken. Auf dem Leuchtschirmbild aber hoben sich die Knochen als dunkle Schatten von dem umgebenden heller dargestellten Fleisch ab.

Noch immer traute der Professor seinen Augen nicht ganz. Um sich zu vergewissern, daß ihn seine Sinne nicht täuschten, brachte er an der Stelle des Leuchtschirms eine fotografische Platte an. Als sie entwickelt war, zeigte sie den gleichen Schattenriß der Handknochen, wie ihn Röntgen auf dem Leuchtschirm gesehen hatte. Lange zögerte der Professor, eine so unglaublich erscheinende Entdeckung seinen Fachkollegen bekanntzugeben. Erst nach immer neuen Versuchen, die stets zum gleichen Ergebnis führten, veröffentlichte er am 28. Dezember 1895 einen Bericht darüber in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift. Er nannte die rätselhafte Erscheinung X-Strahlen, weil man auch in der Mathematik eine unbekannte Größe mit x bezeichnet.

Als Röntgen einige Wochen später in der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft einen Vortrag hielt und dabei mit den X-Strahlen eine Aufnahme der Hand des seinerzeit berühmten Professors der Anatomie Albert von Kölliker anfertigte, schlug dieser vor, die neuen Strahlen nach ihrem Entdecker zu benennen. Das fand stür-

mischen Beifall. Nur in den englischsprachigen Ländern behielt man die von Röntgen selbst geprägte Bezeichnung X-Strahlen bei. Das geschah nicht, um dem Entdecker die Ehre zu schmälern, sondern weil englisch Sprechenden die Aussprache des Wortes „Röntgen“ schwerfällt, so wie es uns nicht ohne einige Übung gelingt, bestimmte Laute anderer Sprachen fehlerfrei auszusprechen.

Kaum jemals hat sich die Kunde von einer neuen wissenschaftlichen Entdeckung so schnell um die ganze Welt verbreitet wie die

Röntgen entdeckte die nach ihm benannten unsichtbaren Strahlen



der Röntgenstrahlen. Alle Zeitungen berichteten darüber in großer Aufmachung. Doch begriffen manche Reporter die Sache nicht richtig und schrieben den größten Unsinn. Angeblich sollte man mittels der Röntgenstrahlen durch die Kleidung der Menschen sehen und diese nackt im „Adamskostüm“ erblicken können. Eine Londoner Firma pries daraufhin röntgenstrahlensichere Unterwäsche an. Ein Amerikaner schickte sein Opernglas an den berühmten amerikanischen Erfinder Edison mit der Bitte, das Gerät gegen hohe Bezahlung mit Röntgenstrahlen auszustatten. In anderen Zeitungsmeldungen wurde berichtet, daß man mit Hilfe von Röntgenstrahlen aus unedlen Metallen Gold herstellen könne.

An alledem war freilich kein Körnchen Wahrheit. Röntgenstrahlen machen weder die Kleidung noch die Menschen durchsichtig wie Glas. Man kann die Knochen und anderen inneren Organe nicht direkt sehen, sondern nur Schattenbilder von ihnen. Eine Röntgenaufnahme ist daher auch keine Fotografie im gewohnten Sinne.

Wie es sich mit dem Röntgenbild wirklich verhält, können wir uns durch einen Versuch verdeutlichen. Wir halten ein Blatt einseitig bedruckten Papiers gegen eine helle Lampe. Die bedruckte Seite ist dem Licht zugewandt. Normalerweise würden wir die Schrift auf der Rückseite nicht sehen, da die unbedruckte Seite sie unserem Blick verdeckt. Die Lichtstrahlen durchdringen jedoch dünnes weißes Papier. Überall dort, wo sich Druckerschwärze befindet, wird das Licht stärker absorbiert („verschluckt“) als an den unbedruckten Stellen. Dadurch sehen wir die Buchstaben durch das Papier als Schattenrisse. Ähnlich verhält es sich bei dem Röntgenbild.

Knochen und sehr dicke, fleischige Organe absorbieren die Röntgenstrahlen stärker als dünnes Muskelfleisch, Haut und mit Luft oder Flüssigkeit gefüllte Hohlräume des menschlichen Körpers. Folglich zeichnen sich auf dem Leuchtschirmbild die Rippen, die Wirbelsäule, andere Organe wie das Herz dunkler ab als zum Beispiel die mit Luft gefüllten Lungen. In der fotografischen Röntgenaufnahme ist es allerdings genau umgekehrt. Denn sie ist ja zunächst ein Negativ. Vielleicht haben wir schon einmal das Negativ eines Schwarzweißfotos betrachtet. Darauf sind alle Helligkeitswerte umgekehrt. Helle Gegenstände sind dunkel und dunkle hell

abgebildet. Erst durch Kopieren des Negativs entsteht ein Positiv: ein Bild mit den richtigen Grau-Abstufungen.

Von Röntgenaufnahmen werden aber meist keine Positive angefertigt, da der Arzt mögliche Krankheitszeichen auch aus dem Negativ erkennt. Weil die Knochen viel Röntgenstrahlen absorbieren, gelangen nur wenig Strahlen zu dem Röntgenfilm. Daher sind sie im Röntgennegativ hell abgebildet. Organe, welche die Strahlen gut durchlassen, wie beispielsweise die Lungen, zeichnen sich dagegen dunkel ab. Nur krankhaft veränderte Stellen der Lungen absorbieren die Strahlen stärker und kommen daher heller zur Darstellung. Der Arzt spricht dann von „Schatten“. Denn in jedem fotografischen Negativ heißen die hellen Stellen Schatten und die dunklen Lichter. Es gehört viel ärztliche Erfahrung dazu, nach einer Röntgenaufnahme zu beurteilen, ob Organe gesund oder krank sind. Der Laie kann dem Röntgenbild nichts entnehmen.

Damit auch feine Einzelheiten besser erkennbar werden, müssen wir bei einer Röntgenaufnahme der Lunge tief einatmen und während die Röntgenstrahlen einwirken die Luft anhalten und ganz stillstehen. Das Einatmen ist nötig, um die Lungen gut mit Luft zu füllen. Anhalten der Luft und Stillstehen sind erforderlich, damit das Bild nicht „verwackelt“ und daher unscharf wird. Denn für eine gelungene Röntgenaufnahme müssen die Strahlen etwas länger einwirken als nur $\frac{1}{125}$ s oder $\frac{1}{250}$ s wie bei einem Fotoschnappschuß.

Die große Bedeutung der Röntgenstrahlen für die sichere Erkennung innerer Erkrankungen sowie manch anderer Verletzungen, wie zum Beispiel Knochenbrüchen, war den Ärzten sofort klar. Viele große Firmen boten Röntgen deshalb riesige Summen Geldes, wenn er ihnen das Recht zur alleinigen Herstellung von Röntgen-Apparaten überließ. Leicht hätte der bescheidene Physikprofessor vielfacher Millionär werden können. Doch er wollte kein Geld annehmen, das die Anwendung der Strahlen zum Nutzen kranker Menschen verteuert hätte. Als 1901 zum ersten Mal der Nobelpreis, eine der höchsten wissenschaftlichen Auszeichnungen der Welt, verliehen wurde, wählte man Röntgen für diese besondere Ehre aus.

Tragischerweise endete das Leben des großen Entdeckers, der so Entscheidendes für die rechtzeitige Erkennung von Krankheiten

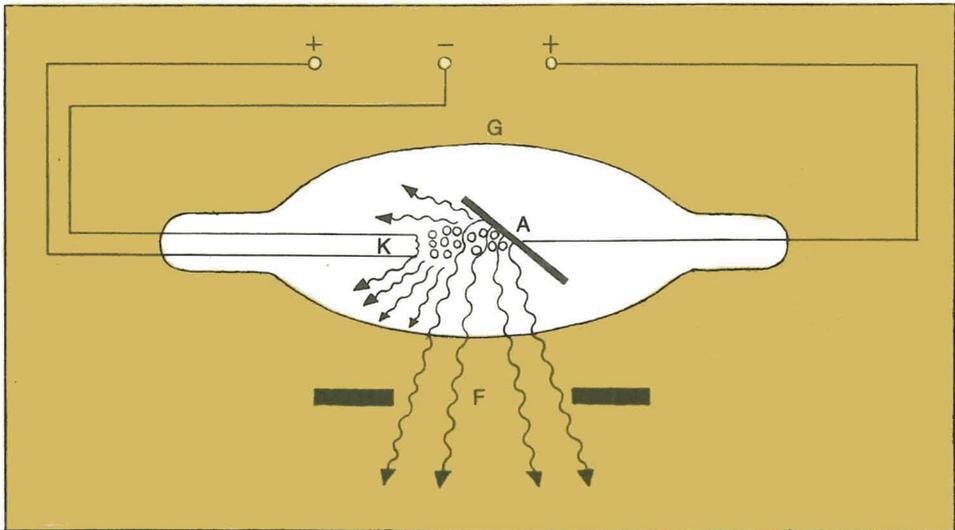
beigetragen hatte, dadurch, daß die Ursache seiner Krankheit nicht früh genug richtig eingeschätzt wurde. Als der damals berühmteste deutsche Chirurg, Professor Ferdinand Sauerbruch, nach München eilte, um Röntgen zu operieren, war es bereits zu spät.

Wie werden Röntgenstrahlen erzeugt?

Die Funktionsweise einer Röntgenröhre ist im Bild schematisch veranschaulicht. In dem Glaskolben G befinden sich zwei Elektroden, die Katode K und die Anode A. Elektroden sind Bauelemente, die Elektronen aussenden, steuern oder auffangen. Die Katode wird durch elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Dabei sendet sie die uns inzwischen schon bekannten Elektronen, also elektrisch negativ geladene Teilchen, aus. Die Anode ist an eine sehr hohe positive elektrische Spannung angeschlossen. Da ungleichnamige, das heißt positive und negative elektrische Ladungen einander anziehen, fliegen die Elektronen mit hoher Geschwindigkeit auf die Anode zu. Je höher die Spannung, um so stärker werden die Elektronen beschleunigt. Die Spannungen betragen viele tausend Volt (V) oder Kilovolt (Kurzzeichen: kV, $1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$). Damit die Elektronen auf dem Weg zur Anode nicht durch Zusammenstöße mit Gasteilchen abgebremst werden, muß die Röhre luftleer gepumpt sein. Die Stromzuleitungen zu den Elektroden sind in das Glas luftdicht eingeschmolzen.

Röntgenstrahlen entstehen, wenn Elektronen mit genügend hoher Geschwindigkeit auf die Anode prallen und durch sie abgebremst werden. Die Bewegungsenergie der Elektronen wandelt sich dabei zu etwa 99 Prozent in Wärme und zu 1 Prozent in Röntgenstrahlen um. Weil sie auf diese Weise entstehen, bezeichnet man sie als Röntgenbremsstrahlen. Außerdem bilden sich sogenannte charakteristische Röntgenstrahlen. Beide Arten treten stets gemeinsam auf. Doch entfällt der weitaus überwiegende Anteil auf die Bremsstrahlen.

Alle Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen wie das Licht und die Radiowellen. Sie haben jedoch wesentlich kürzere



Schema einer Röntgenröhre. G Glaskolben, K Katode, A Anode, F Fenster des Schutzgehäuses

Wellenlängen, zwischen 10 nm und $1/1000$ nm. Je kürzer die Wellenlänge, desto durchdringender, „härter“ sind die Strahlen. Hohe Spannungen ergeben härtere Strahlen.

Sehr „weiche“ Röntgenstrahlen entstehen auch in der Fernsehbirne beim Auftreffen der Elektronen auf den Bildschirm. Sie sind aber so wenig durchdringend, daß sie schon in dem dicken Glas an der Vorderseite der Röhre steckenbleiben.

Die Röntgenröhre ist in einem dickwandigen Schutzgehäuse angeordnet. Im Bild ist davon nur das kleine Fenster F angedeutet. Die Schutzwandung ist nötig, weil sich Röntgenstrahlen wie Licht nach allen Richtungen ausbreiten. Sie würden daher nicht nur den Patienten, sondern auch das Bedienungspersonal der Apparate treffen. Da die Röntgenassistenten täglich mit den Geräten arbeiten, erhielten sie große Strahlenmengen und würden krank. Daß dauernde Röntgenbestrahlung gefährlich ist, wußte man anfangs noch nicht. Ein Mitarbeiter Röntgens erlitt dadurch so schwere Gesundheitsschäden, daß er in kurzer Zeit starb.

Das Schutzgehäuse absorbiert, „schluckt“ die Strahlen und läßt sie lediglich durch ein kleines Fenster nach außen dringen. Nur die Strahlen, die in Richtung des Fensters verlaufen, werden also genutzt. Das sind etwa 10 Prozent der insgesamt in der Röhre erzeugten. Der Rest geht durch die Absorption im Gehäuse verloren. Man

muß diese Verluste aber in Kauf nehmen, weil Röntgenstrahlen nicht wie Licht durch Spiegel und Glaslinsen gesammelt und konzentriert in eine Richtung gelenkt werden können.

Wie stark die verschiedenen Stoffe Röntgenstrahlen absorbieren, hängt von drei Faktoren ab: von der Dicke und der Dichte der Materialien sowie von der Ordnungszahl der chemischen Elemente (Grundstoffe), aus denen sie bestehen. Daß eine dicke Schicht mehr Strahlen verschluckt als eine dünne, ist klar. Die Dichte gibt an, wieviel Gramm eines Stoffes in einer bestimmten Raumeinheit, einem Kubikzentimeter, Platz finden. Beim Wasser ist es gerade 1 g, beim Eisen sind es 7,86 g, beim Blei 11,336 g. Folglich hat Eisen eine 7,86mal größere Dichte als Wasser, Blei eine 11,336fache. Mit zunehmender Dichte erhöht sich die Absorption.

Sehr ausschlaggebend ist aber auch die Ordnungszahl. Die chemischen Elemente werden in einer Reihenfolge geordnet und nummeriert, die etwas darüber aussagt, wie hoch die elektrische Ladung der Atomkerne und ungefähr auch, wie schwer das einzelne Atom eines Grundstoffs ist. Eisen-Atome zum Beispiel sind viel schwerer als Wasserstoff-Atome und Blei-Atome noch weit schwerer als die des Eisens. Mit zunehmender Ordnungszahl erhöht sich die Absorption der Röntgenstrahlen.

Das erklärt, warum Knochen die Strahlen stärker verschlucken als Muskelfleisch und anderes Körpergewebe. Die nicht knöchernen Teile des menschlichen Körpers bestehen nämlich überwiegend aus Verbindungen von vier chemischen Elementen: Wasserstoff (1), Kohlenstoff (6), Stickstoff (7) und Sauerstoff (8). In Klammern sind die Ordnungszahlen dieser Grundstoffe angegeben. Knochen enthalten darüber hinaus Phosphor (15) und Kalzium (20). Da sie höhere Ordnungszahlen haben, ist ihre Strahlenabsorption größer. Das Strahlenschutzgehäuse der Röntgenröhre besteht aus Blei. Es hat die sehr hohe Ordnungszahl 82.

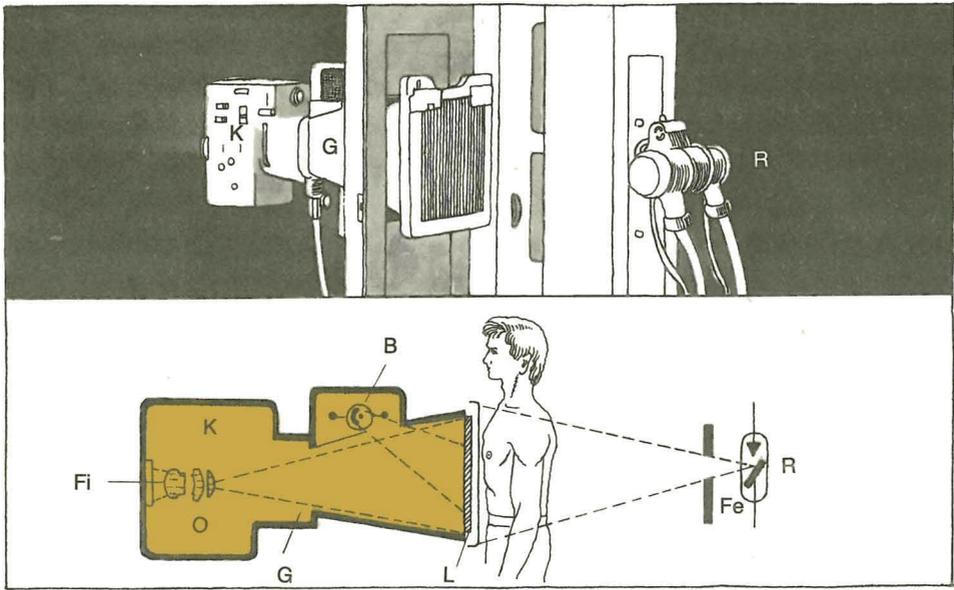
Nicht alle inneren Organe lassen sich ohne weiteres im Röntgenbild deutlich darstellen. Das gilt beispielsweise für den Magen und Darm. Sollen diese Organe geröntgt werden, dann müssen sie vorher mit einer Flüssigkeit gefüllt werden, die einen Stoff mit hoher Ordnungszahl enthält. Sie zeichnen sich dadurch im Röntgenbild klarer ab. Auch für Röntgenaufnahmen von Blutgefäßen (Adern) spritzt man ein solches Kontrastmittel in die Blutbahn.

Die Ärzte sind bestrebt, bei allen Röntgenuntersuchungen die Patienten einer möglichst geringen Strahlenmenge auszusetzen. Ein wichtiges Hilfsmittel dafür sind die sogenannten Verstärkerfolien. Dies sind mit Leuchtstoff beschichtete Pappscheiben. Eine solche Folie (falls der Röntgenfilm beiderseitig eine fotografische Schicht hat, sind es zwei) wird zusammen mit dem Film in die lichtdichte Kassette eingelegt. Die Seite der Scheibe, auf der sich der Leuchtstoff befindet, ist der Fotoschicht zugewandt. Die Röntgenstrahlen wirken nicht nur auf den Film, sondern auch auf den Leuchtstoff. Er sendet dabei bläuliches Licht aus, für das die fotografische Schicht besonders hoch empfindlich ist. Die Schwärzung des Films wird so durch das Licht des Leuchtstoffs verstärkt. Bei vielen Arten von Röntgenaufnahmen entsteht das Bild zu 95 Prozent durch die Verstärkerfolie und zu nur 5 Prozent durch die Röntgenstrahlen selbst.

Was geschieht bei der Schirmbildaufnahme?

Bei allen bisher geschilderten Verfahren braucht man stets ein Filmbblatt, das so groß ist wie der zu untersuchende Körperteil. Das kostet viel Filmmaterial und Silber. Dieses Edelmetall bildet einen Hauptbestandteil der fotografischen Schicht. Es wird weltweit immer knapper. Außerdem ist die Entwicklung der großen Filmbblätter mit viel Arbeit und weiteren Kosten verbunden. Wollte man die seit Jahrzehnten laufend durchgeführten vorbeugenden Untersuchungen der ganzen Bevölkerung auf Erkrankungen der Lunge in dieser Weise vornehmen, so erforderte das einen kaum zu bewältigenden Aufwand. Deshalb wurde für solche Reihenuntersuchungen die Schirmbildtechnik entwickelt.

Das Bild zeigt eine Schirmbild-Röntgeneinrichtung und darunter das Schema ihrer Funktionsweise. Die Röntgenröhre R erzeugt die Strahlen. Sie treten durch das Fenster Fe des Schutzgehäuses in Richtung auf den Brustkorb des Menschen aus, der in der Kabine steht. Nachdem die Strahlen den Körper durchdrungen haben, wirken sie auf den Leuchtschirm L ein. Auf ihm entsteht folglich



Röntgen-Schirmbild-Einrichtung und Schema ihrer Funktionsweise. R Röntgenröhre, Fe Fenster des Bleischutzgehäuses, L Leuchtschirm, G lichtundurchlässiges Gehäuse, O Objektiv, K Kamera, Fi Filmstreifen, B Belichtungsautomat

wieder ein Leuchtschirmbild. Die Kamera K mit dem Objektiv O fotografiert dieses Bild auf dem Film Fi. Dabei wird das große Leuchtschirmbild stark verkleinert auf einer Fläche von nur $63 \text{ mm} \times 63 \text{ mm}$ aufgezeichnet. Der etwa 30 m lange Filmstreifen faßt ungefähr 425 Aufnahmen. Sie werden mit geringem Material- und Arbeitsaufwand auf einmal entwickelt.

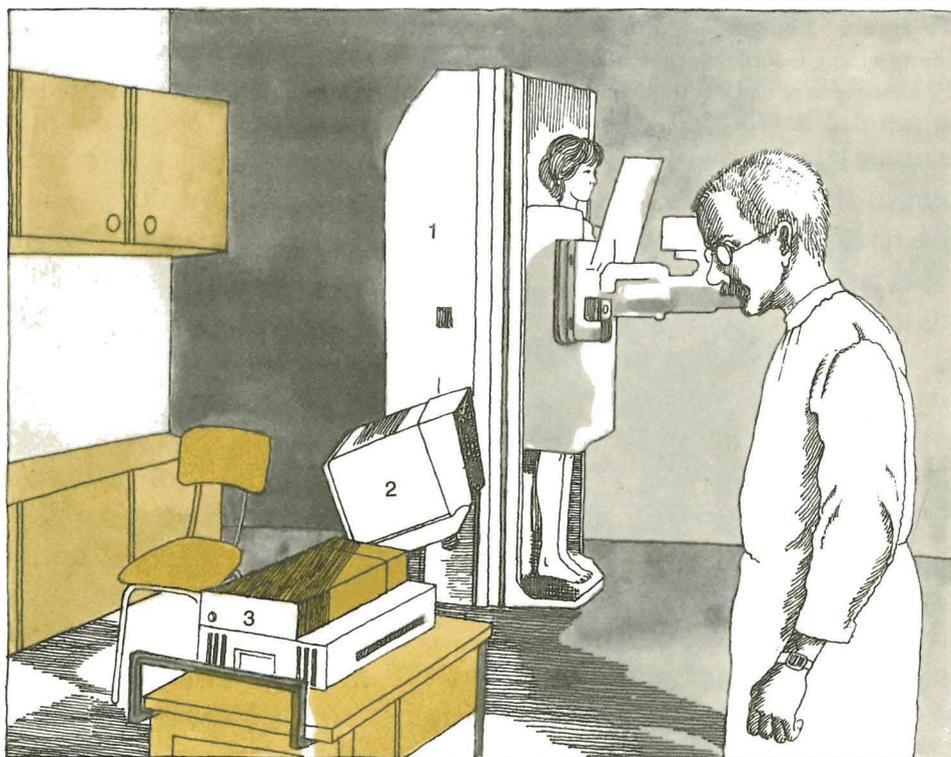
Wir sehen in dem Schema noch den Belichtungsautomaten B. Er mißt die Helligkeit des Leuchtschirmbildes und steuert danach die Belichtungszeit jeder fotografischen Aufnahme. Denn je nachdem, ob ein Mensch einen kräftigen oder zarten Körperbau hat, ist das Schirmbild dunkler oder heller. Blicke die Belichtungszeit immer gleich, so wären manche Aufnahmen unter-, andere überbelichtet. Der Automat sorgt dafür, daß alle Schirmbilder gelingen.

Leuchtschirm, Kamera und Belichtungsautomat befinden sich in einem großen lichtdicht verschlossenen Gehäuse. So findet der fotografische Vorgang zwar im Dunkeln statt, aber der Raum, in dem die Schirmbildaufnahme erfolgt, braucht nicht verdunkelt zu sein. Mit einer solchen Einrichtung lassen sich in einer Stunde Aufnahmen von etwa 300 Personen anfertigen. Mittels kleiner Blei-Scha-

blonen wird am oberen Rand jedes Bildes eine Nummer mitfotografiert, am unteren auch der Name. Er steht auf einer Karteikarte, die während der Aufnahme in einen seitlich an der Kamera angebrachten Schlitz einzulegen ist. So kann niemals Unklarheit darüber entstehen, wessen Brustkorb das Schirmbild zeigt.

Die Filmstreifen werden später von Fachärzten auf Anzeichen möglicher Erkrankungen durchgesehen. Dabei kann man das kleine Foto wieder stark vergrößert betrachten. Besteht Verdacht auf eine Krankheit, so wird der Patient benachrichtigt und zur Behandlung bestellt. Erhält man nach einer Reihenuntersuchung keine Mitteilung, dann ist die Aufnahme „o. B.“, das heißt: ohne Befund, ohne Krankheitszeichen. Die Reihenuntersuchungen haben wesentlich dazu beigetragen, daß heute fast niemand mehr an Lungentuberkulose stirbt. Denn die Krankheit wird so rechtzeitig erkannt; daß die sofort einsetzende Behandlung zu sicherer Heilung führt. Deshalb ist es im eigenen Interesse aller Menschen, der

Röntgendurchleuchtung mit elektronenoptischer Bildverstärkung. 1 Röntgen-Schirmbild-Einrichtung, 2 Monitor, 3 Röntgen-Magnetbandspeicher (Videorecorder)

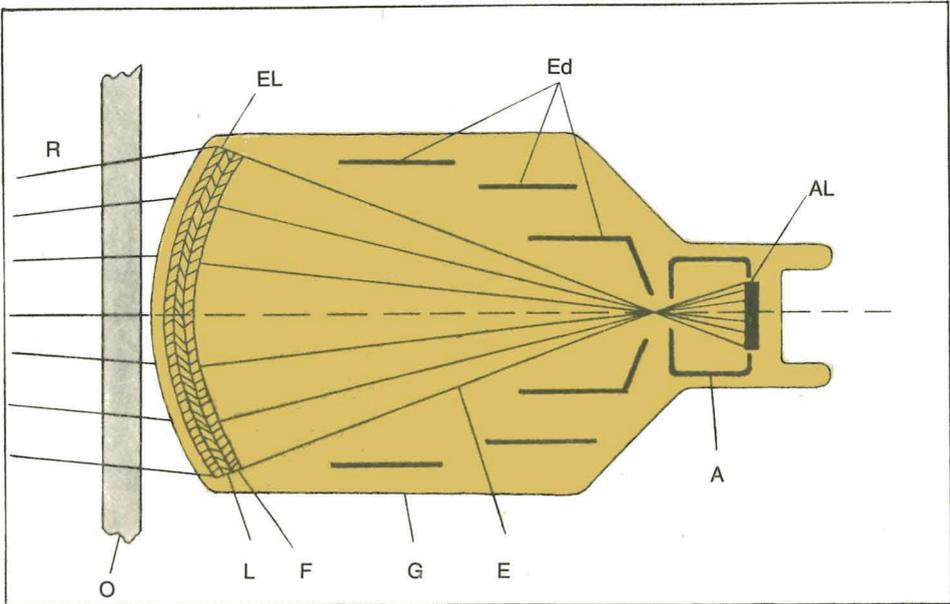


Aufforderung zur Schirmbild-Reihenuntersuchung regelmäßig Folge zu leisten.

In einem verdunkelten Raum ist das Leuchtschirmbild auch direkt zu betrachten. Da es dann nicht fotografisch festgehalten wird, genügt es allerdings nicht, wenn es nur für einen kurzen Moment erzeugt wird. Die Röntgenstrahlen müssen daher so lange eingeschaltet bleiben, bis der Arzt alle Einzelheiten erkannt hat. Diese Art der Untersuchung ist eine Röntgen-Durchleuchtung. Sie ist für den Arzt sehr anstrengend. Er muß seine Augen erst längere Zeit an Dunkelheit gewöhnen, sonst könnte er das lichtschwache Leuchtschirmbild nicht deutlich genug sehen.

Inzwischen hat die moderne Elektronik eine wesentliche Verbesserung dieser Technik ermöglicht. Dabei kann die Röntgen-Durchleuchtung sogar im hellen Raum erfolgen. Betrachten wir dazu das Bild! Die Patientin steht in einer Kabine, die der bei der Schirmbildaufnahme verwendeten ähnelt. Der Arzt blickt jedoch nicht auf die Röntgenapparatur, sondern auf ein Monitor genanntes Fernsehgerät. Es hat einen Bildschirm wie ein normaler Fernsehempfänger.

Schema eines Röntgenbild-Verstärkers. R Röntgenstrahlen, O Objekt, EL Eingangsluchtschirm, G luftleer gepumpter Glaskolben, L Leuchtstoffschicht, F Fotokatode, E Elektronenstrahlen, A Anode, Ed Elektroden, AL Ausgangsluchtschirm. (Erläuterung im Text)



Darauf ist hell und deutlich eine Fernsehaufnahme des durch die Röntgenstrahlen hervorgerufenen Leuchtschirmbildes zu sehen. Links neben dem Monitor steht auf dem kleinen fahrbaren Tisch noch ein Gerät, mit dem die ganze Durchleuchtung wie eine Fernsehsendung mit dem Videorecorder auf Magnetband gespeichert und beliebig oft wieder abgespielt werden kann.

Röntgen- und Fernsehtechnik sind hierbei kombiniert. Ein Videorecorder wandelt die elektrischen Signale, aus denen das Fernsehbild zusammengesetzt ist, in schnell wechselnde magnetische Signale um. Sie werden auf einem durchlaufenden magnetisierbaren Band gespeichert, sind erneut in elektrische Signale zurückzuverwandeln und ergeben dann wieder ein Fernsehbild. Durch Röntgenfernsehen können Durchleuchtungen sogar während einer Operation erfolgen. Das ist in manchen Fällen von entscheidender Bedeutung. So wird zum Beispiel bei bestimmten Erkrankungen des Herzens ein dünnes Röhrchen durch die Blutgefäße langsam bis in das Herz vorgeschoben. Die Spitze des Röhrchens hat dabei einen weiten und verschlungenen Weg durch die Adern zurückzulegen. Das Röntgen-Fernsehen ermöglicht den Ärzten, das richtige Vordringen der Sonde laufend zu kontrollieren.

Solche modernen Techniken erfordern allerdings eine Kette komplizierter und teurer Apparate. Das erste Glied darin bildet der Röntgenbildverstärker. Seine Funktion ist im Bild schematisch dargestellt. Die von der Röntgenröhre ausgesandten Strahlen R durchdringen wieder den zu untersuchenden Körperteil O (Objekt) und wirken danach auf den Eingangsleuchtschirm EL ein. Er befindet sich in dem großen luftleer gepumpten Glaskolben G . EL besteht aus mehreren Schichten. Der eigentlichen Leuchtstoffschicht liegt eine andere Schicht, die Fotokatode F , unmittelbar an. Dies ist ein elektronisches Bauelement, das beim Auftreffen von Licht Elektronen aussendet.

Diese negativ geladenen Teilchen werden – wie uns inzwischen schon geläufig – durch die positiv geladene Anode A angezogen und dabei stark beschleunigt. Gleichzeitig werden sie ähnlich wie im Elektronenmikroskop durch hintereinander gestaffelte zylindrische Elektroden Ed – im Bild nur als Striche angedeutet – abgelenkt und gebündelt. Sie treffen dann auf den kleineren Ausgangsleuchtschirm AL . Dort rufen sie wieder die Aussendung von Licht

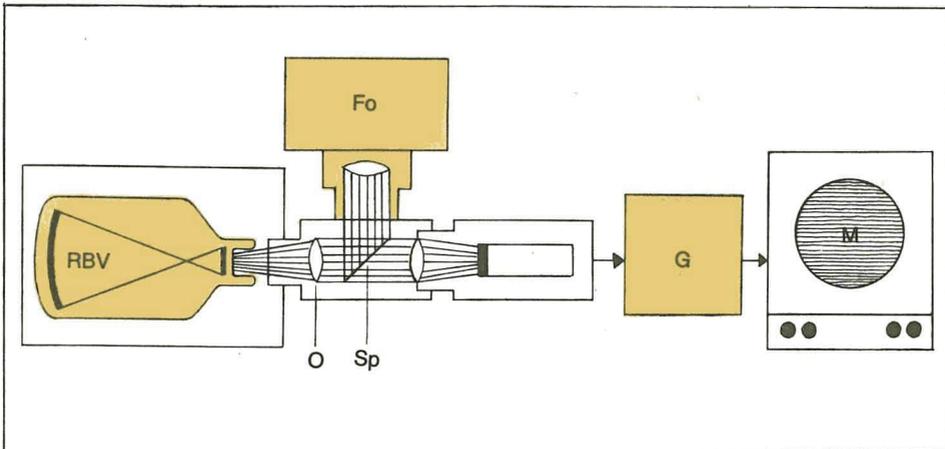
hervor. Es ist aber wesentlich heller als auf dem Eingangsleuchtschirm EL.

Die größere Helligkeit entsteht einmal dadurch, daß die von der großen Fläche der Fotokathode F ausgesandten Elektronen jetzt auf einer viel kleineren zusammengedrängt wurden. Das ist im Bild durch die Anzahl der die Elektronenbahnen symbolisierenden Striche angedeutet. Zum anderen resultiert die Steigerung der Helligkeit daraus, daß die Elektronen auf dem Wege zwischen Fotokathode und Anode stark beschleunigt wurden und deshalb mit viel größerer Bewegungsenergie auf den Ausgangsleuchtschirm prallen. Die höhere Energie bewirkt entsprechend helleres Licht. Moderne Röntgenbildverstärker ermöglichen eine bis zu etwa 13000fache Steigerung der Helligkeit. Die Strahlenbelastung des Patienten ist dadurch sehr wesentlich zu vermindern, weil schon eine geringe Röntgenstrahlungsmenge ausreicht, um ein deutliches Bild zu ergeben.

Das Ausgangsleuchtschirmbild kann nun – wie im Bild dargestellt – mittels des Objektivs O auf einen halbdurchlässigen Spiegel Sp projiziert (entworfen) werden. Er wirft nicht wie ein gewöhnlicher Spiegel alle Lichtstrahlen zurück, sondern nur einen Teil. Der andere Teil durchdringt den Spiegel wie eine Fensterscheibe. In unserem Schema werden einige Lichtstrahlen durch den Spiegel

Schema der Röntgenbildverstärker-Fernscheinrichtung.

RBV Röntgenbildverstärker, O Objektiv, Sp halbdurchlässiger Spiegel, Fo Fotokamera, Fe Fernsehkamera, G Fernsehbetriebsgerät, M Monitor. (Erläuterung im Text)



in die Fotokamera Fo umgelenkt, die anderen gelangen geradeaus weiter in die Fernsehkamera Fe. Sie ist über ein weiteres Gerät G mit dem Monitor M verbunden. Er enthält eine Bildröhre wie jeder Fernsehempfänger. Darauf erscheint das Fernsehbild der Röntgenaufnahme.

So erhält man ein sofort sichtbares Bild, das nicht erst entwickelt werden muß, und zugleich über die Fotokamera Aufnahmen, die man für spätere Betrachtungen aufbewahren kann. Anstelle der Foto- kann eine Filmkamera angesetzt werden. Dadurch sind auch Bewegungsvorgänge im Inneren des Körpers festzuhalten.

Blick durch eiserne Wände

Es war an einem Julitag des Jahres 1923. In einem italienischen Elektrizitätswerk hatten die Arbeiter gerade die Schicht gewechselt, als mit ohrenbetäubendem Knall das Gehäuse einer Turbine zersprang. Das ist eine Maschine, in der ein großes stählernes Rad durch strömenden heißen Dampf in sehr schnelle Rotation (Umdrehung) versetzt wird. Von dem Rad hatte sich ein Stück gelöst. Infolge der raschen Rotation flog es mit so großer Wucht davon, daß es die Schutzwand zertrümmerte. Splitter davon flogen wie Geschosse durch die Luft und verletzten zahlreiche Arbeiter. Andere wurden von dem aus dem Leck schießenden heißen Dampfstrahl verbrüht.

Ursache der Katastrophe war ein Materialfehler des Turbinenrades. Von außen war er nicht zu erkennen. Doch im Innern des Werkstoffs befand sich ein Schlackeneinschluß. Lange Zeit passierte nichts. Aber allmählich ließ die Festigkeit des Materials an dieser Stelle nach, bis schließlich ein Teil abbrach. Hätte man das Rad vor dem Einbau in die Turbine geröntgt, so wäre der Fehler festzustellen gewesen. Denn so wie erkrankte oder verletzte Organe des menschlichen Körpers zeichnen sich auch Fehler im Innern eines Werkstoffs im Röntgenbild ab.

Röntgenaufnahmen lassen Hohlräume, die durch Gasblasen beim Schmelzen oder Gießen des Metalls entstanden, ferner Risse,

Schlackeneinschlüsse, fehlerhafte Schweißnähte und vieles andere erkennen. Schon Röntgen selbst erfand dieses Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, wie es in der Fachsprache heißt. Er fertigte zum Beispiel eine Aufnahme seines Jagdgewehrs an.

Bereits 1896 wurde durch Röntgenstrahlen in Paris ein Terroranschlag verhindert. Beim Durchleuchten eines verdächtigen Koffers zeigten die Strahlen den eingebauten Sprengsatz. Er sollte explodieren, sobald das Gepäckstück geöffnet würde. Zur Sicherung gegen Luftpiraten werden heute auf Flughäfen alle Koffer durchleuchtet. Darum sollen Filme und Kameras nicht im Koffer verstaut, sondern als Handgepäck mitgeführt werden. Die Röntgenstrahlen könnten die Filme verderben.

Doch zurück zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung! Sie ist nicht nur wichtig, um Gefahren für Leib und Leben der Menschen abzuwenden, sondern auch, um schwere wirtschaftliche Verluste zu vermeiden. Denn wenn eine Maschine durch Defekt ausfällt, stockt die Produktion. Viele Waren können dann eine Zeitlang nicht hergestellt werden. Von Störungen in Elektrizitäts- und Gaswerken und einer Reihe Fabriken sind nicht nur diese Betriebe selbst betroffen, sondern auch viele andere Werke, die für ihre Arbeit elektrischen Strom, Gas oder andere Zulieferungen benötigen.

Große Kessel, Brücken, Schiffe, riesige Rohre und ungezählte weitere Erzeugnisse werden durch Zusammenschweißen einzelner Metallstücke hergestellt. Jede fehlerhafte Schweißnaht kann schwerwiegende Folgen haben. Deshalb sind auch hierbei Röntgen-Untersuchungen unerlässlich, ebenso bei großen Absperrventilen, mit denen der Durchfluß von Dampf, Heißwasser, Öl, Gas oder Benzin in Rohrleitungen geregelt wird.

Röntgenaufnahmen dicker metallischer Körper erfordern freilich wesentlich längere Durchstrahlungszeiten als die Organe des menschlichen Körpers. Sie kosten daher viel Elektroenergie. Außerdem gibt es bei großen und schweren Anlagen ein Problem: Man kann sie nicht in den Raum bringen, in dem sich die Röntgengeräte befinden. Es müssen umgekehrt die Apparaturen zu den technischen Anlagen transportiert werden, die zu prüfen sind. Das ist mit vielen Umständen und hohem Arbeitsaufwand verbunden, in manchen Fällen sogar unmöglich. Hier brachte die Atomkern-technik eine neue Lösung.

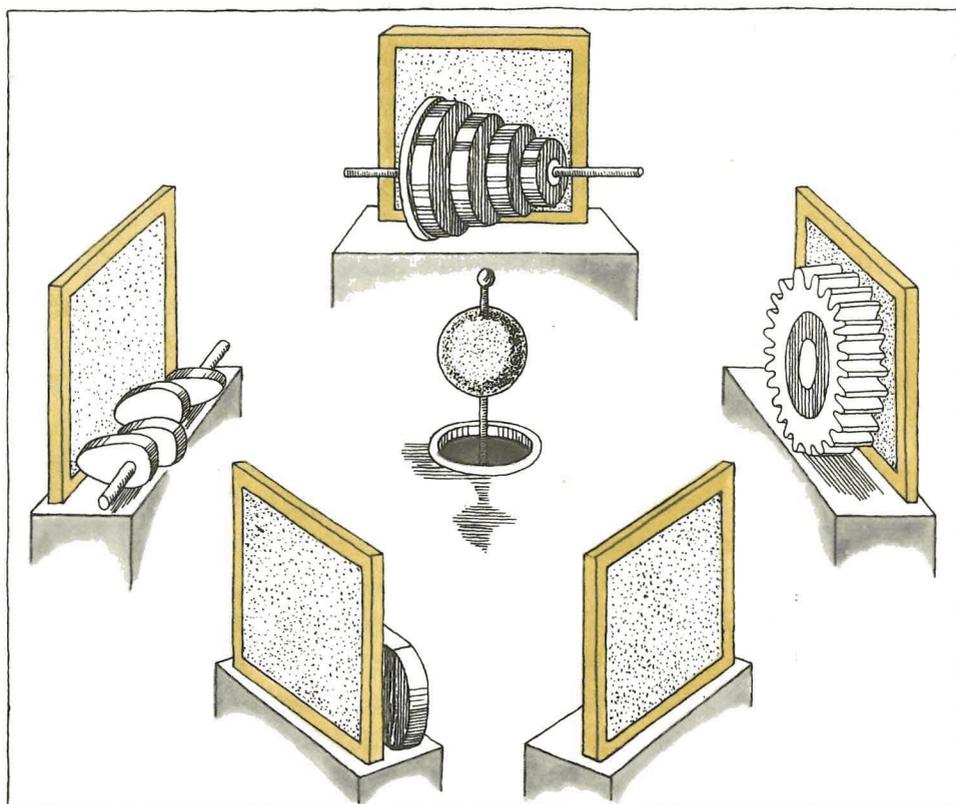
Bei der Spaltung von Atomkernen entstehen als „Abfallprodukte“ zahlreiche radioaktive Stoffe. Sie senden verschiedene Arten unsichtbarer und sehr energiereicher, durchdringender Strahlen aus. Dazu gehören zum Beispiel die Gammastrahlen. Das sind elektromagnetische Wellen wie Licht und Röntgenstrahlen, aber mit noch weit kürzeren Wellenlängen zwischen etwa 10^{-2} nm und 10^{-7} nm ($\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{10\,000\,000}$ nm). Einige radioaktive Substanzen eignen sich besonders gut für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung; zu ihnen gehören Cobalt 60, Cäsium 137 und Thulium 204.

Diese Stoffe werden anstelle von Röntgenröhren eingesetzt. Die Behälter für diese Stoffe sind relativ klein und daher leichter zu transportieren als die großen schweren Röntgenapparaturen. Außerdem verbrauchen sie keine Elektroenergie. Sie strahlen von Natur aus. Die Untersuchung von Werkstücken mit solchen Strahlen heißt Gammadefektoskopie. Das bedeutet soviel wie durch Gammastrahlen Defekte, Fehler, zu sehen.

Die Handhabung radioaktiver Strahler erfordert allerdings besondere Vorsichtsmaßnahmen. Denn Gammastrahlen sind für den menschlichen Körper sehr gefährlich. Die Strahlenquelle ist nur klein, doch muß sie in einem dickwandigen Behälter aus Blei untergebracht werden. Er hat ähnlich wie das Schutzgehäuse des Röntgengeräts ein kleines Loch. Der radioaktive Stoff sendet die Strahlen nach allen Richtungen aus, aber nur diejenigen, die in Richtung der Öffnung verlaufen, können nach außen dringen. Die übrigen bleiben in dem Bleimantel stecken.

Bei anderen Strahlern wird die radioaktive Substanz ganz aus dem Schutzgehäuse herausgefahren, so daß die Strahlen in allen Richtungen wirksam werden. Das Ausfahren der Strahlenquelle erfolgt ferngesteuert, ohne daß ein Mensch in der Nähe ist. Vorher werden rund um den Punkt, an dem sich der Strahler nach dem Ausfahren befindet, die Werkstücke aufgestellt. Auf ihrer Rückseite befestigt man Filme in lichtdichter Verpackung. Je nach der Dicke des Materials dauert die Durchstrahlung bis zu mehreren Stunden. Während dieser Zeit darf niemand den Raum betreten. Erst wenn die Strahlenquelle wieder in den Schutzbehälter eingefahren ist, werden die Filme zur Entwicklung abgenommen.

Alle bisher beschriebenen Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung – gleichgültig, ob mit Röntgen- oder Gammastrah-



Werkstoffprüfung mit Gammastrahlen. Um den in der Mitte stehenden Strahler sind verschiedene Werkstücke angeordnet. Durch das Loch im Boden wird der Strahler nach Beendigung der Prüfung wieder in das Schutzgehäuse unter der Decke versenkt

len – lassen grobe Materialfehler erkennen, die man auch mit bloßem Auge sehen würde, wenn sie sich nicht im Innern des Stoffes befänden, sondern an seiner Oberfläche. Röntgenstrahlen ermöglichen aber darüber hinaus, den Aufbau der festen Körper aus ihren kleinsten atomaren Bestandteilen zu erkennen.

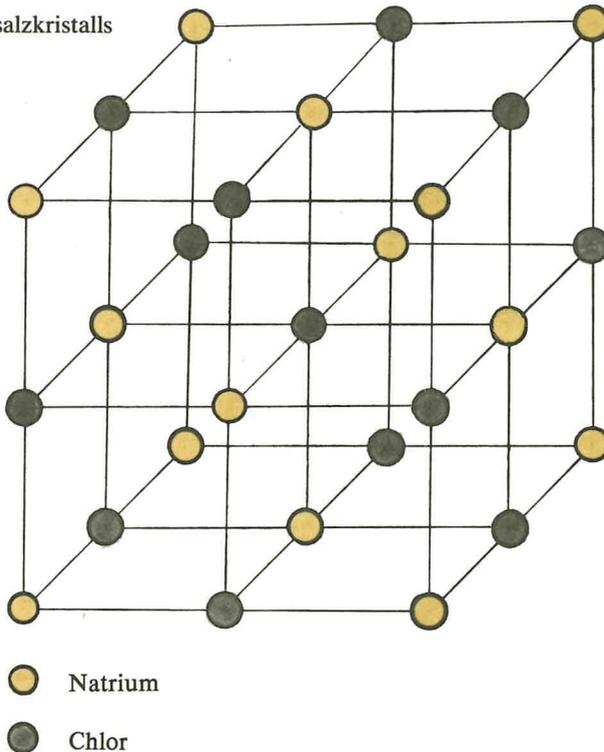
In festen Stoffen ordnen sich diese unsichtbar winzigen Teilchen, die man selbst mit dem Elektronenmikroskop nicht wahrnehmen kann, je nach Art des Materials in ganz bestimmter regelmäßiger Weise zu Kristallen an. Wir können das mit dem Aufbau eines Schachbretts aus regelmäßig abwechselnden weißen und schwarzen Feldern vergleichen. Nur erstreckt sich in den Kristallen die regelmäßige Anordnung der atomaren Bausteine nicht allein auf eine Ebene, also flächenhaft wie beim Schachbrett, sondern nach allen drei Richtungen des Raumes. Eine Vorstellung davon verschafft

uns das Bild. Es zeigt schematisch den Aufbau eines Kochsalzkristalls. Wir sehen, daß Natrium- und Chlorteilchen einander in regelmäßiger Anordnung abwechseln.

Der Aufbau der Kristalle ist aber meist nicht so fehlerfrei wie in unserem Bild. Es können Teilchen eines fremden Elements, das eigentlich nicht in den Stoff hineingehört, vorhanden sein. Das wäre mit einem roten oder grünen Feld im ansonsten schwarzweißen Schachbrett zu vergleichen. Auch fehlerhafte Anordnungen kommen vor, vergleichbar mit einer Felderreihe des Bretts, die nicht parallel zu den anderen verläuft, sondern um einen bestimmten Winkel versetzt ist. Ferner kann an der Stelle, an der ein weißes Feld liegen müßte, ein schwarzes vorhanden sein oder ein Feld völlig fehlen, leer sein.

Bestimmte besonders wertvolle Eigenschaften von Werkstoffen wie beispielsweise größte Festigkeit oder Beständigkeit gegen sehr hohe Temperaturen hängen von der Reinheit des Kristallgefüges ab. Solche speziellen Materialien werden für Raketen und zahlrei-

Aufbau des Kochsalzkristalls



che andere Erzeugnisse gebraucht, die höchsten Anforderungen gewachsen sein müssen. Auch für die Halbleiter-Bauelemente der Rundfunk- und Fernsehempfänger sowie ungezählter anderer elektronischer Geräte benötigt die Produktion hochreine Stoffe. Röntgenstrahlen haben große Bedeutung für die Qualitätskontrolle von Reinstoffen.

Der Aufbau der Kristalle wird durch Röntgenstrahlen allerdings nicht so direkt abgebildet wie die inneren Organe des Körpers, sondern in verschlüsselter Form. Solche Röntgen„bilder“ heißen Diagramme. Man sieht auf ihnen Lichtflecke, Streifen und ähnliche Gebilde. Aus ihrer Anordnung ist nur durch theoretische Berechnungen und Schlußfolgerungen indirekt auf den Kristallaufbau zu schließen. Unser Bild ist also ein Schema, das zur Veranschaulichung dient. Noch kein Forscher konnte den Aufbau eines Kochsalzkristalls so erblicken, wie er in dem Bild gezeigt ist, sondern sein Gefüge nur indirekt ermitteln.

Auf ähnlich komplizierte Weise ermöglichten Röntgenstrahlen, sogar die Größe der Atome der verschiedenen chemischen Elemente zu berechnen. Um sie direkt zu messen, sind sie viel zu klein. Der Durchmesser von Atomen zählt nach Hundertmillionstelzentimetern (10^{-8} cm). Derart winzige Teilchen können wir uns nur durch Vergleiche veranschaulichen. Um ein Atom wenigstens noch unter der Lupe zu erkennen, müßten wir es auf das Einmillionenfache seines Durchmessers „aufblasen“. Dann wäre es erst einen Zehntelmillimeter groß. Würden wir eine Murmel von 1 cm Durchmesser im gleichen Maßstab vergrößern, so erlangte sie 10 km Durchmesser!

Wie entdeckt man eine versunkene Stadt?

1956 sollten im Gebiet um den Comacchio-See in Italien weite Sumpfgebiete trockengelegt werden. Zur Vorbereitung der Arbeiten wurde das Gelände zunächst aus dem Flugzeug fotografiert. Bei der Betrachtung dieser Luftaufnahmen fielen einem Ingenieur seltsame Striche und Flecken auf. Beiläufig erzählte er davon dem Al-

tertumsforscher Professor Nero Alfieri, der in der Gegend nach Überresten von Gräbern der alten Etrusker suchte. Dieses Volk lebte bis etwa 400 v. u. Z. in Teilen Italiens. Nach Schriften des alt-römischen Geschichtsschreibers Plinius d. Ä. (23–79) sollten die Etrusker eine große Hafenstadt namens Spina errichtet haben. Schon lange fahndeten die Wissenschaftler nach der versunkenen Ansiedlung, fanden aber keine Spur davon.

Als Professor Alfieri die Luftbilder sah, geriet er in große Aufregung. Würden ihn die eigentümlichen geraden und rechtwinkligen Linien vielleicht an das Ziel seiner Träume führen, Spina zu finden? Noch war aus den Aufnahmen nicht viel zu entnehmen. Aber sofort fiel ihm ein Name ein: Professor Valvassori. Er war als der beste italienische Luftbild-Fotograf bekannt. Mit ihm kreuzte er nun tagelang im Flugzeug über dem Gebiet. Alfieri bestimmte die Flugrichtung, Valvassori bediente die Kamera. Er fotografierte schwarzweiß und farbig sowie mit den verschiedensten Filtern. Sie flogen bei hoch- und bei tiefstehender Sonne, in großer und in niedriger Höhe. Hunderte von Aufnahmen entstanden. Es war mühsam, sie alle genauestens durchzumustern. Doch dann fanden sich einige Fotos, welche die großen Anstrengungen lohnten: Sie zeigten die Umrisse einer hier vor Jahrtausenden versunkenen Stadt, vermutlich des seit Generationen gesuchten Spina!

Über das Gelände führte eine Luftverkehrslinie. Hunderte von Flugzeugen mit Tausenden von Passagieren waren über das Gebiet hinweggeflogen. Aber niemand hatte vermocht, auf der grünen Fläche, die sich unter ihnen ausbreitete, die Anlage einer altertümlichen Stadt zu erkennen. Das lag nicht an der Unaufmerksamkeit der Fluggäste. Sie konnten die Spuren gar nicht sehen. Denn die Mauerreste lagen inzwischen tief unter der Erdoberfläche. Doch fotografische Filme vermögen unter bestimmten Bedingungen gewissermaßen ein Stück weit unter die Erde zu „blicken“. Wie ist das möglich?

Wenn in 2 oder 3 Meter Tiefe Mauerreste liegen, so verändert das etwas die Lebensvorgänge der darüber wachsenden Pflanzen. Spuren bestimmter Stoffe, die vom Wasser im Boden aus dem Mauerwerk ausgewaschen werden, dringen in die Pflanzen ein. Dies hat zur Folge, daß sie bestimmte Anteile des sichtbaren Lichts und besonders der infraroten Strahlen in geringfügig anderer Weise

zurückwerfen beziehungsweise absorbieren als solche Pflanzen, die auf normalem Boden wachsen. Die Unterschiede sind so fein, daß unser Auge sie nicht erkennt, zumal Infrarot unsichtbar ist. Um die feinen Abweichungen sichtbar zu machen, bedarf es besonderer fotografischer Techniken.

Man kann zum Beispiel Filter vor das Objektiv der Kamera schrauben, die alles sichtbare Licht sowie das Ultraviolett absorbieren und nur Infrarotstrahlen auf den Film einwirken lassen. Das Infrarot gliedert sich nochmals in mehrere Bereiche unterschiedlicher Wellenlängen. Auch sie werden von den Pflanzen in unterschiedlichem Grade reflektiert. Ferner ist es möglich, nur eine Farbe des sichtbaren Lichts zum Fotografieren zu verwenden und alle übrigen durch Filter zurückzuhalten. Eine solche Aufnahme entsteht dann nur durch Licht eines sehr engen Ausschnitts des Spektrums.

Von der Eigenschaft der Fotomaterialien, unter gewissen Bedingungen mehr und genauer zu registrieren als das menschliche Auge, wird heute immer mehr Gebrauch gemacht. Eines der speziellen Hilfsmittel dafür sind die sogenannten Falschfarbenfilme, auch Spektrozonalfilme genannt. Sie haben – wie normale Farbfilm – mehrere übereinanderliegende, aber unterschiedliche fotografische Schichten. Gewöhnliche Farbfilm enthalten drei Schichten. Dabei ist jede für jeweils ein Drittel des sichtbaren Lichtspektrums empfindlich. Falschfarbenfilme verfügen über meist nur zwei Schichten. Die eine davon ist für Infrarot „zuständig“, die zweite für Rot und Orange.

Gegenstände, die Infrarotstrahlen reflektieren oder aussenden, werden in der ersten Schicht besonders kräftig abgebildet, aber nicht etwa in roter, sondern – nach entsprechender Entwicklung – in blaugrüner Farbe. In der für Rot und Orange empfindlichen Schicht entsteht bei der Entwicklung purpurner Farbstoff. Gehen von einem Gegenstand sowohl Infrarotstrahlen als auch rotes und orangefarbenes Licht aus, dann resultieren je nach dem Verhältnis dieser Anteile zueinander auf dem Film die verschiedensten Mischfarbtöne aus Blaugrün und Purpur.

Diese eigentümliche Farbgebung wurde gewählt, weil das menschliche Auge Purpur und Blaugrün als besonders kontrastreich empfindet und die Mischung der beiden Farben sehr viele für

das Auge deutlich erkennbare Farbton-Unterschiede ergibt. Daher zeichnen sich auch schon ganz geringe Verschiedenheiten der von den Gegenständen reflektierten Strahlen im Foto deutlich ab, die normalerweise unsichtbar sind. Von Falschfarbenfilmen kann man ebenso wie von Farbnegativen auch Positive in noch anderen Farbtönen kopieren. Das Ziel aller dieser Techniken ist immer das gleiche: sonst Unsichtbares erkennbar zu machen. Gerade die feinsten Unterschiede der Strahlen-Reflexion bilden eine Art Geheimsprache, durch die sich bestimmte Eigenschaften von Pflanzen, aber auch von verschiedenen Bodenarten sowie von Gewässern und anderen Objekten verraten.

Solche „Farbenspiele“ signalisieren beispielsweise Krankheiten von Bäumen und Pflanzen, ihr Alter sowie die einzelnen Stadien der Reifung von Getreide und anderen Kulturpflanzen. Auch die verschiedenen Arten von Bäumen werden im Falschfarbenfoto in unterschiedlichen Tönungen abgebildet. Ob der Boden landwirtschaftlicher Nutzflächen gut oder schlecht durchfeuchtet ist, ob er ausreichend oder zuwenig Stickstoff enthält, welche Qualität das Grünfutter der Weidetiere hat – all das läßt sich aus solchen Aufnahmen schlußfolgern.

Die Falschfarben-Luftbildfotografie wird deshalb zum Beispiel in der Forstwirtschaft angewendet, um den Baumbestand riesiger Wälder, seine Zusammensetzung aus den einzelnen Arten, mögliche Krankheiten, Schädigungen durch Rauch und Abgase, Pilzbefall und so weiter abzuschätzen. In der Landwirtschaft erleichtert sie die Planung der Erntearbeiten, weil man einen Überblick über die unterschiedlichen Reifegrade in den Anbaugebieten erhält. Entsprechendes gilt für eventuell notwendige Be- oder Entwässerungsarbeiten großen Umfangs. Ferner ist rechtzeitig zu beurteilen, wie hoch der Ertrag an Brotgetreide und Futtermitteln ausfällt.

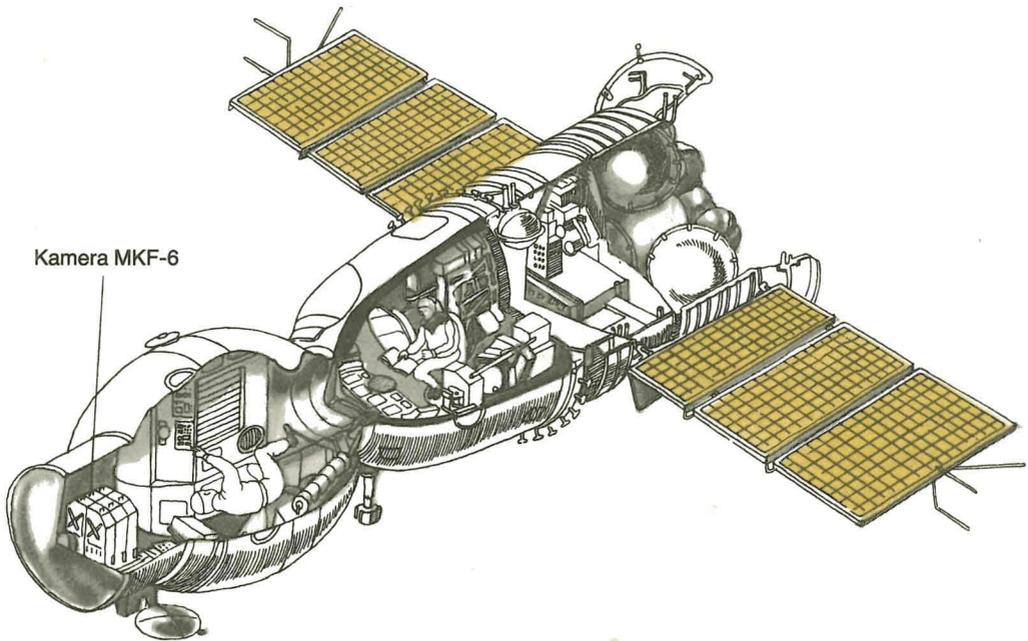
Es geht hierbei also nicht immer nur um das Sichtbarmachen von Dingen, die im wörtlichen Sinne unsichtbar sind. Man könnte im Prinzip zum Beispiel die Bäume großer Wälder einzeln nach Arten auszählen, auch ermitteln, wie viele krank und rauchgeschädigt sind usw. In Wirklichkeit ist das allerdings nicht durchführbar, weil es zuviel Arbeit und Zeit erfordert. Unsichtbar ist all das in dem Sinne, daß es nicht möglich wäre, auf herkömmlicher Weise schnell genug einen umfassenden Überblick zu gewinnen.

Raumschiffe suchen Bodenschätze

Seit der Mensch in den Kosmos fliegt, hat man die Falschfarbentechnik weiter vervollkommnet. Denn aus den etwa 200 km hohen Umlaufbahnen der Raumschiffe erfaßt eine fotografische Aufnahme weit größere Flächen auf einem Bild als aus dem Flugzeug. Allerdings sind die einzelnen Objekte darauf wesentlich kleiner abgebildet. Deshalb mußte die fotografische Technik wesentlich verfeinert werden. So kam es zur Ausarbeitung der sogenannten Multispektralfotografie. Das Wort bedeutet soviel wie Fotografieren in vielen Spektralbereichen, das heißt Ausschnitten des Spektrums. Besonders hoch entwickelte Aufnahmegерäte dafür sind die im VEB Carl Zeiss Jena hergestellten Multispektralkameras MKF-6 und MKF-6M. Mit ihnen werden gleichzeitig vom selben Ausschnitt der Erdoberfläche nicht nur Aufnahmen in zwei oder drei, sondern in sechs verschiedenen Spektralbereichen („Kanälen“) angefertigt. Die Kameras kommen bei Flügen der sowjetischen „Sojus“-Raumschiffe und „Salut“-Orbitalstationen zum Einsatz.

Jeder dieser Apparate ist eigentlich eine Kombination von sechs genau gleichen fotografischen Kameras. Folglich können im selben Moment von einem Gelände sechs Aufnahmen angefertigt werden. Alle erfolgen auf 70 mm breitem Schwarzweißfilm. Da für jeden Spektralbereich ein gesonderter Film verwendet wird, entsteht eine wesentlich schärfere Abbildung als wenn sechs verschiedene fotografische Schichten übereinander auf demselben Filmstreifen angeordnet wären. Außerdem würde sich dabei die Abbildung in den einzelnen Schichten gar nicht auf einen so kleinen Ausschnitt des Spektrums einengen lassen.

Jedes Bild der Jenaer Multispektralkameras ist lediglich 70 mm × 91 mm groß, die eigentliche Fotografie sogar nur 55 mm × 81 mm. Auf der restlichen Fläche werden für jede Aufnahme die Uhrzeit, Angaben über die Belichtungsbedingungen, eine Bildfolgenummer, eine kleine Tafel mit sonstigen Notizen sowie ein sogenannter Stufengraukeil mitfotografiert. Das ist ein Streifen, in dem hintereinander viele Felder mit verschiedenen Graden der Schwärzung angeordnet sind: vom klaren Weiß über immer dunkler werdende Grautöne bis zum tiefen Schwarz. Dieser



Schematische Darstellung des Raumschiffs „Sojus 22“ mit der darin eingebauten Multi-spektralkamera MKF-6

„Keil“ ist wichtig für das spätere genaue Vergleichen und Messen der Schwärzungsgrade, in denen die verschiedenen Einzelheiten der Erdoberfläche abgebildet sind.

Um höchstmögliche Schärfe zu erreichen, ist die Multispektralkamera noch mit einer besonders komplizierten Vorrichtung ausgestattet. Wenn man aus einem fahrenden Zug fotografiert, werden infolge der schnellen Bewegung zumindest näher gelegene Gegenstände unscharf, „verschmiert“ abgebildet. Das Raumschiff fliegt zwar in großer Entfernung von der Erde, aber mit hoher Geschwindigkeit: etwa 8 km/s. Bereits daraus würden geringe Unschärfen resultieren. Um sie zu vermeiden, wird während des kurzen Moments, in dem die Belichtung der Filme erfolgt, die Kamera ein winziges Stückchen so geschwenkt, daß die Objektive stets auf genau denselben Punkt der Erdoberfläche ausgerichtet bleiben. Die Größe der Schwenkbewegung stellt der Kosmonaut je nach der augenblicklichen Flughöhe und -geschwindigkeit ein.

Wenn die Aufnahmen zur Erde zurückgebracht und entwickelt worden sind, beginnt die Auswertung. Dafür dient der ebenfalls in Jena hergestellte Farbmischprojektor MSP-4. Mit ihm sind bis zu

vier verschiedene Spektralaufnahmen wieder so übereinander zu projizieren, daß sich die Konturen der Gegenstände genau decken. Außerdem läßt sich jedes der vier Bilder mit Licht verschiedener Farbe und Helligkeit entwerfen. Die Schwarzweißaufnahmen werden dadurch gewissermaßen künstlich eingefärbt. Auch dies geschieht nicht, um die Gegenstände in den natürlichen Farben erscheinen zu lassen. Vielmehr bezweckt der „Trick“ ebenfalls, dem Auge feinste Unterschiede und Einzelheiten erkennbar zu machen. Außerdem können die Spektralaufnahmen auch in Schwarzweiß oder farbig auf Papier oder auf Diapositivfilm vergrößert werden.

Bei diesen „Farbenspielen“ treten Linien und Flächen in Erscheinung, aus denen sich neben den bei der Falschfarbenfotografie bereits geschilderten Erkenntnissen sogar Aufschlüsse über Dinge ergeben, die gar nicht an der Erdoberfläche liegen, sondern darunter verborgen sind. So liefern Multispektralaufnahmen beispielsweise Hinweise auf Bruchzonen im Gefüge der Schichten, aus denen sich die äußerste Schale der Erdkugel, die Erdkruste, aufbaut. Selbstverständlich sind auch sichtbare Objekte wie Gebäude, Hafenanlagen und dergleichen genau zu erkennen.

Die Fernerkundung der Erde durch Multispektralaufnahmen aus dem Weltraum führte zur Entdeckung einiger bisher noch unbekannter Lagerstätten von Eisenerz, Erdöl und anderen Bodenschätzen. Was man auf den Fotos erblickt, sind aber nicht die Bodenschätze selbst, sondern nur Anzeichen, die auf sie hindeuten: zum Beispiel Brüche und andere geologische, das heißt den Aufbau der Erdkruste betreffende Besonderheiten. Aus Erfahrung ist jedoch bekannt, welche geologischen Besonderheiten häufig mit dem Vorhandensein bestimmter unterirdischer Rohstofflager verknüpft sind. Ob man wirklich fündig wird, zeigen freilich erst Probebohrungen.

Ebensowenig sind in den Multispektralaufnahmen von Seegebieten mit reichen Fanggründen die Fische selbst zu sehen. Wohl aber zeichnen sich Unterschiede in der Wassertemperatur einzelner Meeresregionen sowie winzige Spuren von Fett ab, welche die Fische auf der Wasseroberfläche hinterlassen. Die Temperaturdifferenzen zeigen Stellen an, wo kälteres Wasser aus größeren Tiefen an die Oberfläche steigt. Mit ihm gelangen organische Stoffe nach oben, die Fischen als Nahrung dienen und zu denen diese Tiere

schwimmen. So führt erst eine lange Kette von Schlußfolgerungen zum Auffinden günstiger Fanggebiete. Aber den Ausgangspunkt dafür bilden Aufschlüsse, die aus den Multispektralfotos gewonnen wurden.

Wie wichtig das für die Hochseefischerei ist, kann man daran ermessen, daß von der Gesamtfläche der Ozeane und Meere nur etwa 10 Prozent von Fischen und anderen Organismen reich belebt sind. Innerhalb dieser Flächen ist die Hälfte aller Fische aber nochmals in Regionen konzentriert, die nur 0,1 Prozent der Ozeane ausmachen. Daher sind sie nicht so leicht zu finden, zumal die fischreichen Stellen im Laufe der Zeit wechseln.

Herauszufinden, wodurch sich geologische Brüche, Temperaturunterschiede, Fettsuren auf dem Wasser und all die anderen Anzeichen in den Spektralaufnahmen bemerkbar machen, das ist inzwischen zu einer neuen Wissenschaft geworden. Doch konnte die „Geheimsprache“ der spektralen Bildmerkmale noch längst nicht vollständig entschlüsselt werden. Bei ihrer Erforschung geht man wie in jeder Natur- und Technikwissenschaft von der Erfahrung und dem Experiment aus. Gebiete, von denen eine bestimmte Beschaffenheit des Untergrunds oder des Meeres bereits bekannt ist, werden vom Raumschiff oder auch vom Flugzeug aus fotografiert. Zwei solcher aus dem Flugzeug erfolgten Multispektralaufnahmen sind auf den vorderen beziehungsweise hinteren Einband-Innenseiten abgebildet. Die vorderen zeigen ein Foto des Gebietes um das Schloß Moritzburg nördlich von Dresden, die hinteren einen Teil des Süßen Sees westlich von Halle.

In den Aufnahmen wird nach charakteristischen spektralen Merkmalen gesucht, durch die sich die verschiedenen Stellen mit ihren bereits bekannten besonderen Eigenschaften und Beschaffenheiten abzeichnen. Finden sich gleiche Anzeichen in Fotos von anderen Stellen der Erdoberfläche, so ist daraus zu schließen, daß dort die gleichen Besonderheiten des Bodens, der Pflanzen, des Fischreichtums und so weiter vorliegen. Das ist allerdings nur eine stark vereinfachende Andeutung des Grundprinzips, wie man Multispektralaufnahmen entschlüsselt. In Wirklichkeit ist diese Arbeit viel schwieriger, und die Fachleute werden noch jahrzehntelang damit beschäftigt sein, „Bibliotheken“ spektraler Merkmale und ihrer Bedeutungen aufzubauen.

Für die Bildauswertung dienen auch Computer, also elektronische Datenverarbeitungsanlagen. Dabei werden die Farb- und Helligkeitswerte der Bilder zunächst Punkt für Punkt in elektrische Signale umgewandelt und in Zahlen verschlüsselt. Der Computer speichert – ebenfalls in Form verschlüsselter Signale – in seinem „Gedächtnis“ die bereits herausgefundenen spektralen Merkmale. Diejenigen Daten, welche bei der punktweisen Abtastung der einzelnen Aufnahmen in den Computer neu einlaufen, vergleicht er automatisch daraufhin, ob sie mit den gespeicherten Merkmalen übereinstimmen. Diese maschinelle Auswertung der Bilder gewinnt an Bedeutung, weil das „Lesen“ der ...zigtausende von Aufnahmen so viel Arbeit erfordert, wie sie von den dafür vorhandenen Fachkräften allein nicht zu bewältigen ist.

Belichtete Multispektralfilme müssen aus dem Weltraum zur Erde zurückgebracht und hier entwickelt werden. Inzwischen gibt es aber noch eine andere Möglichkeit. Dabei werden keine normalen Kameras benutzt, sondern sogenannte Scanner. In einem solchen Gerät leitet ein rotierendes Spiegelsystem die von den einzelnen Stellen der Erdoberfläche ausgehenden infraroten und anderen elektromagnetischen Wellen nacheinander in einen Empfänger. Der wandelt die Strahlen in elektrische Signale um. Sie werden verstärkt und können dann erneut in ein punktförmiges Lichtsignal verschiedener Helligkeit verwandelt und auf einen Film fotografiert werden. Dabei entsteht Punkt für Punkt und Zeile für Zeile ähnlich wie beim Fernsehen wieder ein vollständiges Bild.

Dieses Wiederausammenfügen des Bildes aus einzelnen Lichtpunkten muß nicht unbedingt an Bord des Satelliten erfolgen. Die elektrischen Signale können auch nacheinander auf Magnetband gespeichert oder sofort durch Funk zur Erde übertragen werden. Die Zusammensetzung zum fertigen Bild erfolgt dann in der irdischen Funkempfangsstation. Dadurch steht das Bild hier praktisch im selben Moment zur Verfügung, in dem es die Apparatur an Bord des Erdsatelliten aufnimmt. Das nennt man eine Übertragung in Echtzeit. Werden die Bildsignale zwischenzeitlich an Bord des Satelliten magnetisch gespeichert, so sind sie später, wenn der Flugkörper den Empfangsbereich der Bodenstation überquert, abzurufen. Dabei wird dem Satelliten ein Funksignal zugestrahlt, das die automatische Übermittlung der gespeicherten elektrischen Si-

gnale – ebenfalls in Form von Funkzeichen – zur Erde auslöst. Beide Verfahren kommen zur Anwendung.

Mit Scannern wird keine so hohe Abbildungsschärfe erreicht wie mit hochwertigen fotografischen Multispektralkameras. Doch das spielt für viele Zwecke keine Rolle. Auch bei Verwendung von Scannern lassen sich getrennte Bilder in verschiedenen Spektralbereichen erzeugen. Außerdem sind die Strahlungsempfänger solcher Geräte noch für Wellenlängen empfindlich, auf die Filme nicht reagieren. Dadurch sind über die Erkundungsmöglichkeiten mit Falschfarben- und Spektralfilmen hinaus noch andere Aufschlüsse zu gewinnen.

Radarwellen spielen bei der Fernerkundung der Erde ebenfalls eine wichtige Rolle. So wurde durch Radarmessungen aus dem Weltraum entdeckt, daß die Meeresoberfläche, der sogenannte Meeresspiegel, nicht wie bis dahin angenommen überall die gleiche Höhe hat, sondern in manchen Gebieten höher, in anderen tiefer liegt. Das wäre auf andere Weise gar nicht festzustellen. Es wird vermutet, daß die Höhendifferenzen auf örtlichen Unterschieden der Anziehungskraft der Erde beruhen.

Das Satelliten-Radar liefert ferner Informationen über die Rauigkeit der Meeresoberfläche, also über den Wellengang. Daraus sind die Windgeschwindigkeiten zu berechnen, sofern sie im Bereich zwischen 4 m/s und 48 m/s liegen. Auch die Höhe der Wellen selbst ist meßbar, wenn sie nicht weniger als 2 oder nicht mehr als 20 m beträgt. Durch Mikrowellenstrahlen von 6,6 Gigahertz bis 67,0 Gigahertz (GHz = Milliarden Hertz) ist die Temperatur des Oberflächenwassers auf plus/minus 1,5 °C genau zu ermitteln.

Länger dauernde Beobachtungen des Seegangs brachten neue Erkenntnisse über die Entstehungsweise von Stürmen und Meeresströmungen. Es gibt nämlich nicht so viele Wetterbeobachtungs- und Meeresforschungsschiffe wie nötig wären, um alle diese interessanten Daten ohne künstliche Erdsatelliten und deren komplizierte Geräte zu erhalten.

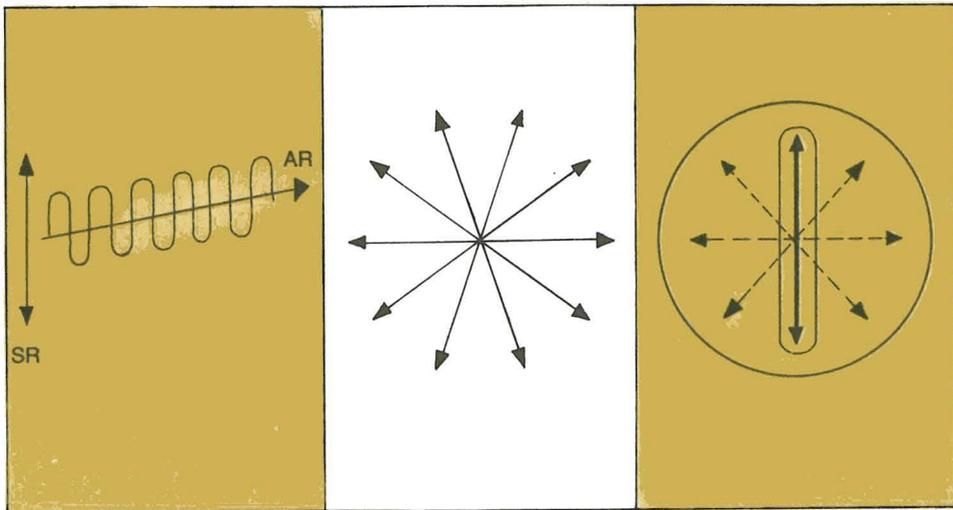
Spannungen – eingefroren und in Scheiben geschnitten

Raffinierte Verfahren tüftelten Wissenschaftler aus, um Unsichtbares sichtbar zu machen. Ein Beispiel dafür ist die sogenannte Spannungsoptik. Wenn wir einen Besenstiel oder den Ast eines Baumes biegen, entstehen in seinem Inneren Spannungen. (Hierbei sind keine elektrischen Spannungen gemeint.) Werden sie zu groß, dann ist ihnen die Festigkeit des Holzes nicht mehr gewachsen. Der Stiel beziehungsweise der Ast bricht, weil die Spannungen einen gewissen Grad überschritten haben. Die Kraft, die wir beim Biegen aufwenden, bedeutet für das Holz eine „mechanische Belastung“. Dabei verändern die winzigen Teilchen, die Moleküle, aus denen das Material aufgebaut ist, ihre Lage. Das können wir freilich nicht sehen.

Entsprechendes gilt für alle Teile von Maschinen, Bauwerken, Brücken, überhaupt für alle Konstruktionen, die mechanischen Belastungen ausgesetzt werden, gleichgültig, aus welchem Material sie bestehen. Die Techniker müssen die einzelnen Bauteile daher so bemessen, daß sie den zu erwartenden Beanspruchungen standhalten. Sie dürfen beispielsweise nicht zu dünn sein. Je nach der Art des Bauteils kommt es aber nicht nur auf die Materialstärke, sondern auch auf die Form an. Häufig braucht ein Teil nicht überall gleich dick zu sein. Das hängt davon ab, in welcher Weise sich während der Belastung die Spannungen innerhalb des Bauelements verteilen. Denn sie sind nicht an allen Stellen gleich groß.

Besonders bei kompliziert geformten Teilen ist es sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, die Spannungsverteilung theoretisch zu berechnen. Deshalb wurden und werden zum Teil noch heute Bauelemente von Maschinen, Brücken, Gebäuden und all den vielen anderen Konstruktionen vorsichtshalber reichlich bemessen. Dadurch entsteht jedoch ein unnötig hoher Materialverbrauch. Aus volkswirtschaftlichen Gründen müssen wir aber auch mit allen Roh- und Baustoffen äußerst sparsam umgehen. Bei diesem Bemühen kommt den Technikern die Spannungsoptik zu Hilfe. Sie macht die Spannungsverteilung innerhalb der Bauteile sichtbar.

In der Regel wird nicht das Bauelement selbst, sondern ein maß-



Schema der Polarisation des Lichts. Links: SR Schwingungsrichtung einer Lichtwelle, AR Ausbreitungsrichtung. Mitte: Licht enthält normalerweise stets Lichtwellenzüge mit sehr vielen verschiedenen Schwingungsebenen. Rechts: Ein Polarisationsfilter wirkt wie eine Schlitzblende und läßt fast nur Lichtwellen mit einer bestimmten Schwingungsebene durch. Ausgezogene Linie: Schwingungsrichtung der durchgelassenen Wellen. Gestrichelte Linien: gesperrte Schwingungsebenen

stäbliches Modell davon benutzt. Es braucht also nicht dieselbe Größe, sondern lediglich die gleiche Form zu haben. Denn es ist ja nur festzustellen, an welchen Stellen die Spannungen am größten, wo sie am geringsten sind und wie sich dies bei zu- und abnehmender mechanischer Belastung ändert. Vom Verhalten des Modells lassen sich Rückschlüsse auf das Originalbauteil ziehen. Durch Formabwandlungen ermittelt man diejenige, bei der die günstigste Spannungsverteilung eintritt. So kann man mit der geringstmöglichen Menge Material völlige Betriebssicherheit gewährleisten.

Um die Funktionsweise der spannungsoptischen Untersuchung zu verstehen, müssen wir uns mit einer bisher noch nicht erwähnten Eigenschaft des Lichts vertraut machen. Lichtwellen veranschaulichen wir uns als Sinuskurven. Die Ebene, in der diese „Schlangenlinie“ hin und her pendelt, steht beim Licht stets senkrecht auf der Richtung, in der sich der Lichtstrahl ausbreitet. Das ist im Bild links angedeutet. Der Doppelpfeil SR kennzeichnet die Schwingungsebene des Lichts, der Pfeil AR in perspektivischer Darstellung die Ausbreitungsrichtung.

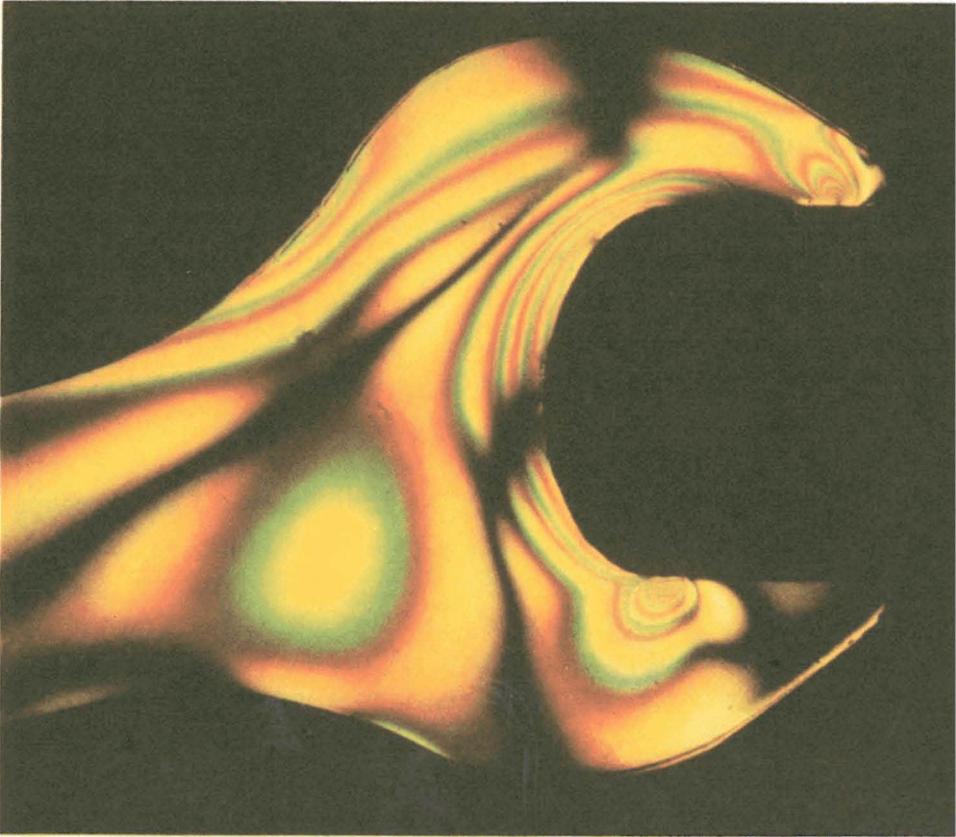
Die von der Lichtquelle ausgehenden einzelnen Wellenzüge haben jedoch nicht alle die gleiche, sondern verschiedene Schwingungsrichtungen SR. Bild Mitte stellt einige der vielen vorkommenden Schwingungsebenen schematisch dar. Das hat übrigens nichts mit der Farbe des Lichts zu tun! Auch Lichtwellen gleicher Farbe schwingen in vielen verschiedenen Richtungen.

Es gibt jedoch Stoffe, die nur solche Lichtquellen durchtreten lassen, die in *einer* ganz bestimmten Richtung schwingen. Alle übrigen Wellenzüge werden ausgelöscht. Aus solchen Materialien bestehen sogenannte Polarisationsfilter. Sie haben also eine ganz andere Wirkung als die bereits geschilderten Filter, die nur Licht bestimmter Farben hindurchlassen. Das aus einem Polarisationsfilter austretende Licht schwingt nur noch in einer Ebene, es ist *polariert*.

Das Filter wirkt wie eine Schlitzblende. Schematisch zeigt das der rechte Teil des Bildes. Darin sind die Schwingungsebenen des Lichts, die nicht durchgelassen, sondern gesperrt werden, als gestrichelte Linien gezeichnet; nur die durchtretende Schwingungsrichtung ist durch einen ausgezogenen Strich dargestellt. Ordnet man zwei Polarisationsfilter so hintereinander an, daß ihre Durchlaßrichtungen im Winkel von 90° zueinander liegen, also gekreuzt sind, dann werden folglich alle Lichtwellen ausgelöscht.

Bei der spannungsoptischen Untersuchung wird das Modell zwischen zwei gekreuzten Polarisationsfiltern aufgebaut und mechanisch belastet. Das Modell besteht aus einem doppelbrechenden Material. Solche Stoffe haben die Eigenschaft, die von dem ersten Filter durchgelassenen Lichtwellen gleicher Schwingungsebene wieder in zwei Teilwellen aufzuspalten, deren Schwingungsrichtungen senkrecht zueinanderstehen. Nehmen wir an, das erste Filter habe eine senkrechte Durchlaßrichtung, das zweite eine waagerechte. Dann gelangen vom ersten Filter, Polarisator genannt, nur senkrecht schwingende Lichtwellen zum Modell. Da dieses die Wellen aufspaltet, erreichen das zweite Filter, den Analysator, wieder sowohl senkrecht wie waagrecht schwingende Wellen. Die senkrechten werden ausgelöscht, die waagerechten aber durchgelassen.

Das als Doppelbrechung bezeichnete Aufspalten der Lichtwellen in zwei Teilwellen wird durch den Grad der Spannung, unter dem



Spannungsoptische Aufnahme eines unter Belastung stehenden Schraubenschlüssels.
Wo die Farbstreifen am dichtesten liegen, sind die Spannungen am größten

sich die einzelnen Stellen des Modells befinden, verändert. Folglich werden dadurch die unterschiedlichen Spannungen, welche an den verschiedenen Stellen des Bauteils bei der mechanischen Belastung entstehen, sichtbar und fotografierbar. Findet die Durchstrahlung mit „weißem“ Licht statt, das – wie erwähnt – eine Mischung aus Licht aller Farben darstellt, dann zeichnen sich im spannungsoptischen Bild zahlreiche Streifen in unterschiedlichen Farben ab, ähnlich wie in einem Regenbogen. Wird für die Aufnahme streng gefiltertes Licht von nur einer Farbe benutzt, dann resultieren abwechselnd helle und dunkle Streifen.

Aus der Lage und Dichte der Streifen ist die Verteilung der Spannung im belasteten Bauteil zu ermitteln. Von einem Streifen zum nächsten ändert sich die Spannung um den gleichen Betrag. Wo sie sehr dicht beieinander liegen, sind daher die Spannungen

besonders groß. Erhöht oder verringert man den Grad der mechanischen Belastung, dann verändert sich die Lage der Streifen, also die Spannungsverteilung.

Die Spannungen lassen sich sogar gewissermaßen einfrieren. Dafür wird das Modell zunächst erwärmt und dann unter anhaltender mechanischer Belastung stark abgekühlt und vorsichtig in Scheiben geschnitten. Jede Scheibe ist nun einzeln spannungsoptisch zu untersuchen. Da die Schnitte in verschiedenen Tiefen des Materials liegen, läßt sich so die Verteilung der Spannungen in allen drei Richtungen des Raumes (Breite, Höhe und Tiefe) erkennen.

Verbrechern auf der Spur

Bei einem Raubüberfall wurden ein Mensch getötet und zwei lebensgefährlich verletzt. Die Überlebenden konnten nur eine ungenaue Beschreibung des Täters geben. Sie entsannen sich aber, daß er auf dem Arm zwei Tätowierungen hatte. Dies sind auf der Haut erzeugte Zeichnungen, die nicht mehr abgewaschen werden können. Als die Behörden durch Zeitungsmeldungen die Bevölkerung aufforderten, nach dem Verbrecher zu suchen, und die Art seiner Tätowierung beschrieben, ließ er diese entfernen. Dabei ging er sehr raffiniert vor. Die Zeichnungen wurden nicht operativ beseitigt, denn die verbleibenden Narben hätten ihn verdächtig gemacht. Er ließ sich mit bestimmten Strahlen behandeln, welche Tätowierungen wieder unsichtbar machen.

Durch einen glücklichen Zufall wurde man auf den Verbrecher aufmerksam. Nun kam es darauf an, zu beweisen, daß er wirklich der Täter war. Mit infraroten Strahlen und einem speziell dafür empfindlichen Film wurden die Stellen seiner Haut, auf denen sich nach Angaben der Opfer die Tätowierungen befunden hatten, fotografiert. Das Foto zeigte eindeutig die sonst nicht mehr sichtbaren Veränderungen der Haut. Damit war der Verbrecher überführt und konnte der gerechten Bestrafung zugeführt werden.

Auf ähnliche Weise hilft die Infrarotfotografie den Kriminalisten in vielen Fällen. Häufig werden Quittungen gefälscht, indem man

zum Beispiel eine 0 durch Anfügen eines Striches in eine 6 oder 9 ändert oder Ziffern hinzuschreibt. Die Geldsumme soll zwar auf einer Quittung stets in Worten wiederholt und der Raum vor und hinter dem Zahlwort durch Striche gesperrt werden. Doch verstehen es Fälscher, mit vorsichtigen Rasuren und anderen Methoden die Striche unsichtbar zu machen und auch die Angabe des Betrages in Worten zu verändern. Alle diese Tricks helfen ihnen aber nicht, wenn sich der Geschädigte an die Kriminalpolizei wendet. Meist läßt schon eine einfache Infrarotaufnahme die Fälschung erkennen, weil sich feinste Unterschiede der verwendeten Tinte oder des Kugelschreiber-Farbstoffs durch etwas unterschiedliche Reflexion der Infrarotstrahlen verraten. Auf ähnliche Weise sind ausgewaschene Blutflecke auf der Kleidung nachzuweisen.

Außer Infrarot- spielen auch Ultraviolettstrahlen für die Kriminaltechnik eine wichtige Rolle. So kann man mit ihrer Hilfe Blutspuren entdecken, die mit bloßem Auge nicht mehr sichtbar sind. Ultraviolett regt viele Stoffe zum Aussenden eines eigenen Lichts an. Diese Leuchterscheinung heißt Fluoreszenz. Dadurch sind strafbare Mitteilungen, die mit „Geheimtinte“ unsichtbar zwischen die Zeilen eines harmlosen Briefes geschrieben wurden, deutlich zu lesen und zu fotografieren. Auch gefälschte Stempel und sogar die mißbräuchliche Benutzung behördlicher Gebührenmarken auf Urkunden können entlarvt werden.

Infrarot- und Ultraviolett-Fotografie dienen aber nicht nur zur Aufklärung von Verbrechen, sondern enträtseln auch Geheimnisse auf vielen anderen Gebieten. Im Altertum und noch bis in das Mittelalter waren Schreibmaterialien sehr kostbar. Es gab in Europa noch kein Papier. Die erste deutsche Papiermühle wurde erst 1389 eingerichtet. Vordem schrieb man auf Pergament, das aus besonders bearbeiteten Tierhäuten hergestellt wurde. Da es teuer war, wurde von nicht mehr benötigten Dokumenten die Schrift wieder abgeschliffen und dasselbe Pergament noch einmal beschrieben. Die Geschichtsforschung ist aber oft daran interessiert, was vorher auf dem Material geschrieben war. Durch Ultraviolettbestrahlung kommt die erste Schrift wieder zum Vorschein und kann fotografisch festgehalten werden.

Maler früherer Zeiten benutzten häufig Leinwand, auf der sich bereits ein Bild befand, nochmals und übermalten sie neu. Manch-

mal ist aber das ursprüngliche Gemälde von höherem kunstgeschichtlichem Wert als das darübergemalte. Durch Röntgen-, Ultraviolett- oder Infrarotstrahlen sowie in komplizierten Fällen durch kombinierte Anwendung aller drei Verfahren läßt es sich wieder sichtbar machen. Ebenso können Fälschungen von Gemälden nachgewiesen werden. Weil alte Kunstwerke sehr teuer sind, fertigen Fälscher originalgetreue Kopien an und versuchen sie zu höchsten Preisen zu verkaufen. Sofern nicht schon ein Sachverständiger die Fälschung erkennt, ist sie durch die geschilderten fotografischen Verfahren festzustellen. Denn die Stoffe, die vor Jahrhunderten für die Herstellung von Malfarben verwendet wurden, reagieren auf die erwähnten Strahlen anders als heutige Farbmaterialien.

Viele längst zur Unleserlichkeit verblaßte Schriften aus dem Altertum – auf Pergament, Papyrus oder Leder geschrieben – konnten durch Infrarotaufnahmen wieder entziffert werden. Sogar Inschriften auf den Bändern, mit denen die alten Ägypter Mumien umwickelten, wurden sichtbar gemacht, obwohl sie sich unter einer Schicht undurchsichtigen Harzes befinden.

Wärmebilder helfen Energie sparen

In allen Ländern, in denen es eine winterliche Jahreszeit gibt, wird ein sehr großer Teil der insgesamt aufgewandten Energie allein für das Heizen verwendet. Viel von der Wärme, die der Ofen oder die Zentralheizung spenden, geht aber ständig wieder verloren. Denn jeder erwärmte Gegenstand sendet ununterbrochen Wärmestrahlen aus. Mauern, Fenster und Türen unserer Häuser sind also Infrarotstrahler. Völlig zu verhindern ist die Wärmeausstrahlung nicht. Doch schon ihre Verringerung würde riesige Mengen Brennstoff einsparen.

In Zukunft wird beim Bauen daher viel sorgfältiger darauf geachtet, die Wärmeverluste gering zu halten. Das kann zum Beispiel durch Strahlen reflektierende Schichten geschehen. Jedes Warmhaltegefäß ist innen verspiegelt. Die spiegelnde Schicht wirft die Wärmestrahlen, die von dem eingefüllten Getränk oder der Speise

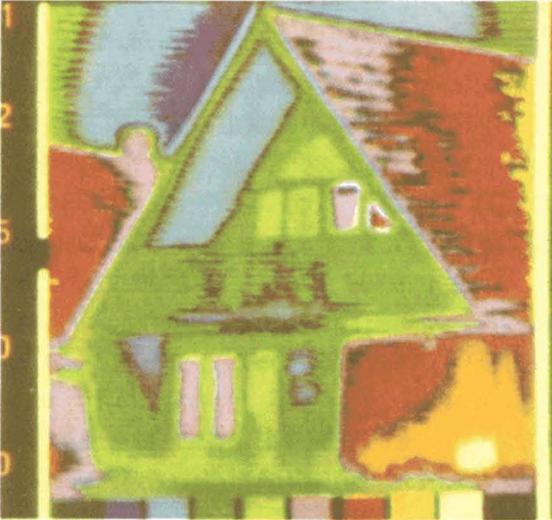
ausgehen, immer wieder zurück und hindert sie so, nach außen zu entweichen. Außerdem ist das Gefäß doppelwandig. Zwischen beiden Wänden ist die Luft herausgepumpt. Dadurch wird der durch Wärmeleitung entstehende Wärmeverlust sehr stark herabgesetzt. Was sich in dem Gefäß befindet, behält daher längere Zeit etwa die Temperatur, mit der es eingefüllt wurde.

In Gebäuden hängt der Wärmeverlust unter anderem von der Art des Baumaterials ab. Um die Wirksamkeit der wärmedämmenden Maßnahmen zu kontrollieren und festzustellen, wo sich „Löcher“ befinden, durch welche die meiste Wärme entweicht, müßten Wärmestrahlen sichtbar zu machen sein.

Wenn ein Gegenstand über 700 °C heiß ist, so erkennen wir das zwar. Doch wir sehen dabei nicht die eigentlichen Wärmestrahlen, sondern nur das bei dieser Temperatur zugleich mit ausgesandte dunkelrote Licht. Man spricht deshalb von Rotglut. Mit zunehmender Temperatur wird auch Licht anderer Farben mit ausgestrahlt. Die Rotglut steigert sich dadurch bis zur Weißglut. Aber die mit der Erwärmung verbundene Ausstrahlung sichtbaren Lichts verschafft uns nur sehr grobe Anhaltspunkte über die Temperatur. Außerdem interessieren viel öfter gerade die Wärmegrade, die weit unterhalb der Rotglut liegen, so zum Beispiel auch beim Auffinden der wichtigsten Wärmeverluststellen in Gebäuden.

Da Wärmestrahlen gleichbedeutend mit Infrarot und unsere Augen für diesen Wellenlängenbereich blind sind, wurden technische Geräte für das „Wärmesehen“ konstruiert. Sie bilden einen Wärme aussendenden Gegenstand ähnlich wie ein Foto ab. Betrachten wir dazu das Bild auf Seite 94! Es zeigt einen Teil der Außenfläche eines Wohnhauses. Dieses ist aber nicht so farbig wie die Abbildung. Vielmehr sind in dem Bild die unterschiedlichen Temperaturen der einzelnen Flächen in verschiedene Farben umgesetzt. Die kältesten sind dunkelblau, die wärmsten weiß. Das zeigt die Farbskale am unteren Rand der Abbildung. Von links nach rechts, von dunkelblau über Rot und Gelb bis zum Weiß nehmen die Wärmegrade zu.

Allein mit fotografischen Filmen oder Platten sind solche Bilder nicht herzustellen. Es gibt dafür verschiedene Techniken. Alle sind sehr kompliziert. Sie funktionieren ähnlich wie Fernsehkameras und -monitore. Man kann dabei die Farbe, in der ein bestimmter



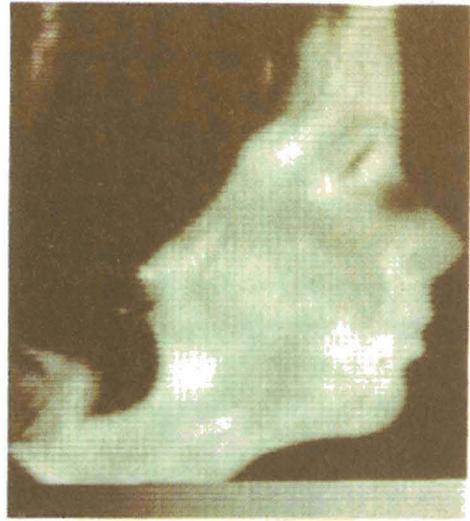
Thermogramm der Außenfläche
eines Hauses

Temperaturbereich abgebildet wird, willkürlich wählen, außerdem die Breite des Bereichs, der in gleicher Farbe zur Abbildung gelangt. Das richtet sich ganz nach dem Zweck. Wo es auf feinste Temperaturunterschiede ankommt, zeigen die besten Geräte Differenzen von nur $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in verschiedenen Farben an.

Interessant sind auch die drei zusammenstehenden Bilder. Das erste Bild zeigt das normale Farbfoto eines Gesichts, das zweite ein Wärmebild, das in Grautönen, also in Abstufungen zwischen Schwarz und Weiß gehalten ist. Die hellsten Stellen haben die höchsten, die dunkelsten die niedrigsten Temperaturen. Noch deutlicher zeichnen sich die Unterschiede im dritten Bild ab. Hier sind die verschiedenen Temperaturen in unterschiedlichen Farben dargestellt. Wir sehen, daß das Körpergewebe an der Nasenspitze, an der Ober- und Unterlippe bis zum Kinn, das Auge und ein Teil der Schläfe besonders viel Wärme ausstrahlen. Dagegen sind die Haare kühler.

Dieses Beispiel dient lediglich der Veranschaulichung. Doch haben solche Bilder auch für die Erkennung mancher Krankheiten große Bedeutung. So können örtlich erhöhte Temperaturen der Haut eine Verstopfung der darunter befindlichen Blutgefäße (Adern) anzeigen.

Die Sichtbarmachung der Temperaturverteilung in oder auf Gegenständen heißt Thermografie oder Thermovision. Die dabei er-



Normale farbenfotografische Aufnahme eines Gesichts und Thermogramme desselben Gesichts in Schwarzweiß und in Farben

zeugten Bilder werden Thermogramme genannt. Sie gewinnen zunehmende Bedeutung in Wissenschaft und Technik. So hängt zum Beispiel die Qualität des Roheisens, das im Hochofen erschmolzen wird, unter anderem davon ab, daß in den einzelnen Zonen des Ofens bestimmte Temperaturen eingehalten werden. Durch Thermovision ist es möglich, die Wärmeverteilung laufend zu kontrollieren, und zwar berührungslos, also aus größerem Abstand. Thermometer messen strenggenommen immer nur die Temperatur an einem bestimmten Punkt. Das Thermogramm zeigt dagegen die Verteilung der Temperaturen auf der gesamten Fläche an.

Explosionen auf der Sonne

Gebannt sitzen die Besucher einer Volkssternwarte im Filmvorführraum. Auf der Leinwand sehen sie eine gigantische Explosion. Damit verglichen wäre selbst der größte Vulkanausbruch nur wie ein kleiner Knall. Auf dem Bild erscheint als hauchdünner Bogen die Oberfläche der Sonne. Die übrige Sonnenscheibe ist wie bei einer Sonnenfinsternis tiefschwarz verdeckt. Aus dem Rand der Sonne erhebt sich eine glühende Wolke. Sie wird größer und größer. Wirbelnd und quirlend dehnt sie sich nach allen Seiten aus und wächst in die Höhe. Plötzlich schießt wie eine gigantische Stichflamme noch eine glühende Gassäule 100 000 km weit aus der Sonne hervor. Sie zerstiebt nach allen Seiten. In großem Bogen senken sich glitzernd Gasmassen allmählich herab und fallen zur Sonne zurück. Langsam sinkt das gigantische Gebilde in sich zusammen.

Als der Film abgelaufen ist und es wieder hell in dem Raum wird, herrscht langes Schweigen. Jeder ist von diesem Schauspiel, in dem sich die einzigartige Größe und Gewalt der Naturkräfte zeigte, tief beeindruckt. Nun beginnt der Astronom seinen Vortrag. Er nennt die gigantischen Materieausbrüche aus der Sonne Protuberanzen und erklärt, daß dabei Gasmassen mit Geschwindigkeiten von 200 km/s, manchmal sogar bis zu 700 km/s Hunderttausende von Kilometern weit in den Weltraum hinausschießen. Die Höhe der bisher beobachteten größten Protuberanz betrug fast 2 000 000 km. Das ist nahezu fünfmal weiter als von der Erde bis zum Mond. Versuchen wir uns einmal vorzustellen, eine glühende Gaswolke würde mit dieser Wucht von der Erde ausgeschleudert. Sie erreichte dann den Mond, zu dem selbst die schnellen Raumschiffe vier bis fünf Tage unterwegs sind, in nur knapp 10 min.

Was der Film zeigt, hat jedoch so noch kein Astronom jemals am Fernrohr wirklich erblickt! Nur eine bestimmte Filmtechnik ermöglicht, diese beispiellosen Explosionen sichtbar zu machen und daraus Erkenntnisse über die Vorgänge auf unserer Sonne abzuleiten. Dafür waren eine Reihe von Hindernissen zu überwinden. Das erste bestand darin, daß die Protuberanzen mit einem normalen Fernrohr gar nicht zu erkennen sind. Für jede Sonnenbeobach-

tung – gleichgültig ob mit dem Teleskop oder Feldstecher – ist ja sowieso ein Filter erforderlich, das die gleißende Helligkeit der Sonne auf einen winzigen Bruchteil vermindert. Sonst würde der Betrachter erblinden. Doch selbst durch solche tiefdunkelroten oder schwarzen Filter gesehen, blendet uns die Sonnenscheibe noch so, daß wir das sehr viel schwächere Leuchten der Protuberanzen nicht erkennen.

Sie werden nur bei einer totalen Sonnenfinsternis sichtbar. Dabei tritt der Mond so zwischen Sonne und Erde, daß er gerade die ganze Sonnenscheibe verdeckt. Sichtbar bleibt dann bloß, was über den Rand der Sonne hinausragt. Totale Sonnenfinsternisse ereignen sich aber für einen bestimmten Beobachtungsort der Erde äußerst selten. Meist findet lediglich eine teilweise Bedeckung der Sonnenscheibe statt. Dies wird eine partielle Sonnenfinsternis genannt.

Hinderlich für die Beobachtung der Protuberanzen ist ferner, daß totale Sonnenfinsternisse höchstens 7,6 min dauern. Das Entstehen und Wiederzerfallen von Protuberanzen erstreckt sich jedoch über Stunden und Tage, manchmal sogar über Monate. Daher mußten besondere Fernrohre konstruiert werden, mit denen eine künstliche totale Sonnenfinsternis zu erzeugen ist. In einem solchen Teleskop befindet sich eine schwarze Scheibe, die gerade so groß ist, daß sie das Abbild der Sonne verdeckt. Dieses Instrument ist nur für Protuberanzen-Beobachtungen und für keine anderen Zwecke zu verwenden. Es ermöglicht aber zum Unterschied von einer natürlichen Sonnenfinsternis die Betrachtung nicht nur für wenige Minuten, sondern dauernd, das heißt, solange die Sonne scheint.

Aber auch das allein genügt noch nicht, um die gewaltigen Explosionen auf der Sonne so zu sehen, wie sie der Film festhält. Denn unser Zentralgestirn ist rund 150 000 000 km entfernt. Selbst Geschwindigkeiten von mehreren hundert Kilometern je Sekunde erscheinen aus diesem Abstand so langsam, daß wir keine deutliche Bewegung erkennen. Nur wenn in größeren Zeitabständen ein Filmbild belichtet, später aber die einzelnen Bilder sehr schnell aufeinanderfolgend vorgeführt werden, sind die Bewegungen sichtbar.

Diese Technik heißt Zeitraffung. Dabei wird ein Vorgang, der in

Wirklichkeit sehr langsam abläuft – oder infolge großer Entfernung langsam erscheint –, wesentlich schneller dargestellt. Das Verfahren ist verhältnismäßig einfach. Normalerweise belichtet eine Schmalfilmkamera in jeder Sekunde 16 Aufnahmen. Bei der Zeitraffung wird sie auf Einzelbildschaltung gestellt. Dann erfolgt beispielsweise nur alle 10 s eine Belichtung. Bei der Vorführung werden jedoch je Sekunde 16 Bilder projiziert. Der Vorgang scheint folglich $10 \cdot 16 = 160$ mal schneller abzulaufen.

Protuberanzen gibt es übrigens nicht nur an den Stellen, die von der Erde aus gesehen am Rande der Sonnenscheibe liegen, auch auf der erdzuwendten Seite ereignen sich solche Gasausbrüche. Sie sind auf eine ziemlich komplizierte Weise ebenfalls sichtbar zu machen.

Durch Zeitraffung werden zahlreiche äußerst langsam erfolgende Vorgänge wissenschaftlich erforscht, zum Beispiel die Keimung von Samen, das Wachstum von Pflanzen, die Entfaltung von Blüten und so weiter.

Das Gegenstück zur Zeitraffung ist die Zeitlupe. Sie macht Ereignisse sichtbar, die derart schnell verlaufen, daß wir ihre einzelnen Phasen nicht erkennen. So schnell zum Beispiel ein Wasser- oder Milchtropfen, wenn er auf eine Wasserfläche trifft, zunächst wieder – ähnlich wie ein Ball – zurück. Er erhebt sich für einen winzigen Moment in die Luft. In der Wasseroberfläche entsteht eine Vertiefung, eine Art Einschlagkrater. Rings um den Krater spritzen viele winzige Tröpfchen in die Höhe. Erst später fällt der Tropfen endgültig herab und vermischt sich mit der übrigen Flüssigkeit. Von alledem sehen wir nichts, weil es zu schnell erfolgt.

Die Zeitlupentechnik ist wesentlich schwieriger als die Zeitraffung. Dabei müssen in jeder Sekunde nicht nur 16, sondern Hunderte oder Tausende von Bildern aufgenommen werden. Die Vorführung erfolgt aber mit einer normalen Bildanzahl je Sekunde. Werden beispielsweise 160 Bilder in der Sekunde belichtet, aber nur 16 Bilder je Sekunde vorgeführt, dann resultiert eine 10fache Zeitdehnung. Das Ereignis scheint 10mal langsamer abzulaufen als in Wirklichkeit.

Mit sehr komplizierten Apparaturen ist es möglich, etwa 500 000 Bilder innerhalb einer Sekunde zu fotografieren. So schnell hintereinander kann sich allerdings die Blende einer Ka-

mera, durch die das Licht auf den Film gelangt, nicht öffnen und schließen. Auch ein Filmstreifen, der so lang ist, daß eine halbe Million Bilder darauf Platz findet, läßt sich nicht in Sekundenschnelle ruckweise durch den Filmapparat bewegen. Es ist aber möglich, in einer Sekunde 500 000 einzelne kleine Blitze, Funken, zu erzeugen. Jeder leuchtet dabei für nur Bruchteile einer Millionstelsekunde. Die Aufnahmen erfolgen im verdunkelten Raum. Nur in jedem Moment, in dem ein Funken aufleuchtet, entsteht ein Bild. Mit manchen Apparaten sind sogar Bilder in Abständen von Milliardstelsekunden möglich. Dabei erfolgen aber nicht wirklich Milliarden Aufnahmen. Denn Vorgänge, deren Erforschung eine derart große Zeitdehnung erfordert, dauern gar keine volle Sekunde, sondern nur einen Bruchteil davon. Darum ist es nicht nötig, eine Milliarde einzelner Bilder zu fotografieren.

Die Zeitlupentechnik wird zum Beispiel bei der Konstruktion von Raketen, im Maschinenbau, in der Materialprüfung und der Sprengtechnik angewendet. Sie ermöglicht, Explosionsvorgänge, fliegende Geschosse und ihren Einschlag, Bruch- und Zerreißprozesse von Werkstoffen und vieles andere, was sich unsichtbar schnell ereignet, genau zu verfolgen.

Meisterdetektive der Wissenschaft

Bei fast allen Verfahren, die wir bisher kennenlernten, wurden normalerweise unsichtbare Objekte oder Vorgänge durch technische Hilfsmittel irgendwie sichtbar. Doch eine Ausnahme fanden wir schon. Die atomaren Teilchen des Kristallgefüges waren weder mit dem Elektronenmikroskop noch im Röntgen-Diagramm zu sehen. Die Physiker konnten vielmehr nur aus bestimmten Anzeichen des Diagramms den Aufbau der Kristalle und die Größen der Atome indirekt erschließen.

Es gibt also eine Grenze, von der an Winziges auch durch die ausgeklügeltsten Instrumente nicht mehr sichtbar zu machen ist. Dann müssen die Wissenschaftler wie Kriminalisten vorgehen, die den Täter – obwohl sie ihn bei seinem Verbrechen nicht beobach-

teten – nachträglich durch Indizien dennoch überführen. Ein großer Teil der heutigen Naturwissenschaftler und Techniker beschäftigt sich mit solchen vollkommen unsichtbaren Objekten. Zu diesen „Meisterdetektiven“ der Wissenschaft gehören auch die Kernphysiker. Obwohl sie keinen einzigen Atomkern jemals wirklich sahen, enträtselten sie die Eigenschaften dieser Kerne äußerst genau. Sie können die winzigen Teilchen sogar veranlassen, sich zu spalten und dabei gigantische Energien zu liefern. Darauf beruht die Stromerzeugung in den Kernkraftwerken.

Die Physiker erkannten zunächst, daß Atome aus einem Kern und einer Hülle bestehen. Diese wird aus Elektronen genannten Teilchen gebildet. Auch die Atomkerne sind aus zwei Arten noch kleinerer Teilchen zusammengesetzt, den Protonen und Neutronen. Heute ist genau bekannt, wie viele dieser beiden Teilchensorten die Atomkerne der verschiedenen chemischen Grundstoffe und ihrer Unterarten enthalten. In riesigen Experimentiermaschinen, den sogenannten Teilchenbeschleunigern, werden die winzigen Gebilde auf Geschwindigkeiten gebracht, die der des Lichts nahekommen. Im Vergleich dazu bewegen sich selbst Raumschiffe und andere Erdsatelliten mit Schneckentempo auf ihren Bahnen. Durch den Aufprall solcher beschleunigten Teilchen auf andere vermochten die Physiker etwa 200 weitere Arten von „Elementarteilchen“ künstlich zu erzeugen.

Eine ausführlichere Schilderung, wie es zu all diesen Erkenntnissen und technischen Möglichkeiten kam, ist hier nicht möglich. Am Ende des Buches wird Literatur angegeben, in der die Erforschung der Atomkerne und Elementarteilchen ausführlicher beschrieben ist. Sie begann damit, daß wenige Wochen nach Röntgens großer Entdeckung in den Labors vieler Universitäten versucht wurde, die Natur der neuen Strahlen zu ergründen. Das gelang vorerst zwar nicht. Aber Professor Henri Becquerel in Paris entdeckte dabei 1896 noch eine neue Art unsichtbarer Strahlen. Sie schwärzten ebenso wie Röntgenstrahlen fotografische Platten und Filme. Zum Unterschied von den Röntgenstrahlen brauchen sie aber nicht künstlich erzeugt zu werden. Bestimmte Stoffe wie zum Beispiel Uranium senden sie ständig von selbst aus.

Die bloße Schwärzung der Platten gab noch nicht viel von den Rätseln der Strahlen preis. Es war dadurch lediglich festzustellen,

ob ein Material sie aussendet oder nicht. Das Forscherehepaar Marie und Pierre Curie, das ebenfalls an der Pariser Universität arbeitete, sonderte aus vielen Tonnen eines Pechblende genannten Minerals in jahrelanger Arbeit ein Zehntelogramm eines Stoffes ab, der besonders viele Strahlen aussendet, das Radium. Damit waren nun zahlreiche und genauere Untersuchungen möglich.

Die Curies füllten einen Teil des Radiums in eine dickwandige Bleikapsel, die nur eine kleine Öffnung hatte, ähnlich wie das Schutzgehäuse des Röntgenapparats. Durch das Loch drang ein feines Strahlenbündel nach außen, das freilich nicht zu sehen war, von dem man also nur wußte, daß es existierte. Es machte sich beispielsweise auch dadurch bemerkbar, daß es elektrisch aufgeladene Blättchen entlud. Das unsichtbare Strahlenbündel wurde einem elektrischen und magnetischen Kraftfeld ausgesetzt. Ein elektrisches Feld entsteht zwischen einer positiv und einer negativ geladenen Elektrode, ein Magnetfeld zwischen dem Nord- und dem Südpol eines Magneten oder Elektromagneten.

Um diese Zeit war schon bekannt, daß Träger einer elektrischen Ladung durch diese Kraftfelder in gesetzmäßiger Weise abgelenkt werden. Sollte sich auch das Strahlenbündel ganz oder teilweise ablenken lassen, so mußte es folglich Ladungsträger enthalten. Das war tatsächlich der Fall. Das Bündel spaltete sich in zwei auf. Ein Teil der Strahlung wurde so abgelenkt wie elektrisch negativ geladene Teilchen. Außerdem war zu errechnen, daß sie dasselbe Verhältnis zwischen der Größe ihrer Ladung und der Schwere ihrer Masse hatten wie Elektronen. Daraus konnten die Forscher schließen, daß diese Teilchen Elektronen sind. Sie unterscheiden sich von normalen Elektronen, die in jedem Atom und Molekül enthalten sind, aber durch eine sehr viel höhere Bewegungsgeschwindigkeit. Auch ihre Entstehung beruht auf völlig anderen Vorgängen als beispielsweise das Austreten von Elektronen aus einem stark erhitzten Metall. Der andere Teil des Strahlenbündels ließ sich in den Versuchen der Curies durch die elektrischen und magnetischen Kraftfelder jedoch nicht ablenken.

Der Physiker Ernest Rutherford experimentierte mit noch stärkeren Magnetfeldern. Dabei spaltete sich auch der bei den Curies nicht abgelenkte Teil des Strahlenbündels in zwei auf. Das eine bestand aus elektrisch positiv geladenen Teilchen. Sie mußten jedoch

sehr viel schwerer als Elektronen sein. Darum gelang die Ablenkung nur mit stärkeren Magnetfeldern. Ein Teil der Strahlung breitete sich aber weiterhin ohne Ablenkung geradlinig aus wie elektromagnetische Wellen.

Nach den drei ersten Buchstaben des griechischen Alphabetes erhielten die Strahlenarten die Bezeichnung Alpha-, Beta- und Gammastrahlen. Alphateilchen erwiesen sich als sehr schnell bewegte Atomkerne des chemischen Elements Helium. Betateilchen sind schnell bewegte Elektronen. Gammastrahlen stellen elektromagnetische Wellen dar, die – wie schon früher erwähnt – noch kürzere Wellenlängen als Röntgenstrahlen haben. Alle drei Strahlenarten werden zusammenfassend als Kernstrahlen bezeichnet, weil sie bei Umwandlungsprozessen von Atomkernen entstehen. Die Eigenschaft der Stoffe, solche Strahlen auszusenden, heißt Radioaktivität. Das bedeutet Strahlungstätigkeit.

Das Radium schleudert die Alphateilchen mit einer Geschwindigkeit von 19 200 km/s aus. Würden sich die Teilchen im Vakuum bewegen, könnten sie in nur 20 Minuten die Strecke von der Erde zum Mond zurücklegen. Da die Luft jedoch aus unvorstellbar vielen Gasteilchen besteht, stoßen sie schon nach winzigsten Bruchteilen eines Millimeters mit diesen zusammen. Das wiederholt sich immer von neuem. Dabei geben die Alphateilchen jedesmal etwas von ihrer hohen Bewegungsenergie an die angestoßenen Teilchen ab und werden dadurch mehr und mehr abgebremst. In Luft normalen Druckes ist dadurch ihre Bewegungsenergie schon nach 7 cm Flugstrecke aufgezehrt. Sie sind dann zu einem normalen Helium-Atomkern geworden. Da in flüssigen und festen Stoffen die Atome und Moleküle viel dichter gepackt sind als in der Luft und allen anderen Gasen, kommen die Alphateilchen dort schon nach einer viel kürzeren Strecke wieder zur Ruhe. So bleiben sie beispielsweise schon in einem Blatt Papier stecken. Auch Betateilchen verlieren durch die zahlreichen Zusammenstöße mit Atomen und Molekülen ihre Energie und werden so wieder zu normalen Elektronen, die sich irgendwann an die Hülle eines Atoms oder Moleküls anlagern.

Aus diesen Wechselwirkungen zwischen den Kernstrahlen und den Atomen und Molekülen der Luftgase resultiert zugleich eine weitere Möglichkeit, das Vorhandensein und die Stärke der Strah-

len nachzuweisen und zu messen. Die von den Alpha- und Beta-Teilchen angestoßenen Atome verlieren dabei nämlich ein oder mehrere Elektronen aus ihren Hüllen. Die gleiche Wirkung haben Gammastrahlen. Durch den Verlust eines Elektrons ändert sich der elektrische Zustand des Atoms. Die positive Ladung seines Kerns ist jetzt um eine Einheit größer als die negative Ladung der Elektronenhülle. Da sich positive und negative Ladung nun nicht mehr gegenseitig ausgleichen und zu Null aufheben, bleiben zwei elektrisch geladene Teilchen zurück: der Atomrest mit positivem Ladungsüberschuß und das negative Elektron.

Der geladene Atomrest wird als Ion bezeichnet. Das bedeutet soviel wie wanderndes Teilchen. Ionen bewegen sich nämlich im elektrischen Kraftfeld stets in eine bestimmte Richtung. Da sich ungleichnamige Ladungen gegenseitig anziehen, wandern sie zur negativen Elektrode. Ebenso ergeht es dem freien, das heißt vom Atom losgelösten Elektron. Als negativ geladenes Teilchen wandert es zur positiven Elektrode. Enthält ein Gas genügend viele Ionen und freie Elektronen, so wird es daher elektrisch leitfähig, ähnlich wie ein Metalldraht. Dagegen leiten Gase den elektrischen Strom normalerweise nicht.

Auf der Leitfähigkeit ionisierter Gase beruht die Funktion eines sehr wichtigen Nachweis- und Meßinstruments für die unsichtbaren Kernstrahlen, der Geiger-Müller-Zähler. Er ist nach den beiden Wissenschaftlern benannt, die ihn erfanden. Zu dem Gerät gehört ein kleines luftdicht verschlossenes Rohr, das mit Gas gefüllt ist. Durch die Mitte des Rohrs verläuft ein dünner Draht. Er ist von dem Rohr isoliert. An dem Draht liegt eine hohe Spannung von beispielsweise 1 000 V. Sie ist bestrebt, auf das Rohr überzuspringen wie ein Blitz auf einen mit der Erde leitend verbundenen Blitzableiter. Denn auch das Rohr ist geerdet. Solange das Füllgas keine Ionen enthält, kann die Spannung jedoch nicht vom Draht zum Rohr überschlagen.

Bringen wir den Geiger-Müller-Zähler jedoch in die Nähe eines radioaktiven Stoffes, so dringen die Kernstrahlen in das Füllgas ein und erzeugen dort zahlreiche Ionen und freie Elektronen. Dadurch wird es elektrisch leitend. Jetzt springt die Spannung zum Rohr über. Es entsteht ein kurzzeitiger Stromfluß, ein Stromstoß. Er wird durch ein Gerät, das mit dem Zählrohr durch Kabel verbunden ist,

verstärkt und als Knacken hörbar. Je intensiver die Kernstrahlung ist, desto schneller folgen die Knackgeräusche aufeinander. Mit dem Geiger-Müller-Zähler sind radioaktive Stoffe überall einfach und schnell aufzuspüren.

Dabei fiel auf, daß der Zähler, wenn er eingeschaltet ist, nie völlig zu knacken aufhört. In unregelmäßigen Abständen ertönt immer wieder ein Ton, selbst dann, wenn überhaupt keine radioaktive Substanz in der Nähe ist. Auch andere, einfachere Nachweisinstrumente für Kernstrahlen reagierten so, als ob in der Luft ständig einige Ionen gebildet werden und sie dadurch eine wenn auch sehr geringe elektrische Leitfähigkeit erhält.

Zunächst vermuteten die Wissenschaftler, daß diese Ionisation durch radioaktive Stoffe verursacht wird, die spurenweise, also in äußerst geringfügigen Mengen in der gesamten Materie der Erde enthalten sind. Wie sich später herausstellte, ist das wirklich der Fall. Aber es bildet nicht allein die Ursache des rätselhaften Verhaltens der Instrumente. Wenn die Nachweisgeräte für Kernstrahlen in immer größere Höhen der Erdatmosphäre gebracht wurden, nahm die Ionisation nämlich nicht ab, sondern sogar zu. Auf hohen Bergen ergab sich eine viel stärkere Strahlung als im Tiefland.

Als der österreichische Physiker Viktor Franz Hess im Jahre 1912 viele Male mit dem Ballon in Höhen bis zu 5 000 m aufstieg und dabei Messungen durchführte, wurde die Strahlung immer stärker, je höher er kam, je weiter er sich also vom Erdboden entfernte. Die Ursache der starken Strahlung konnte daher nicht in den Gesteinen der Erde liegen. Es mußten vielmehr ständig unsichtbare Strahlen aus dem Weltraum in die Atmosphäre der Erde eindringen. Hess nannte sie deshalb kosmische Strahlen.

Sie bestehen hauptsächlich aus Protonen und Alphateilchen. Weit seltener kommen Atomkerne anderer, schwererer Elemente vor. Die Teilchen der kosmischen Strahlung erreichen noch weit höhere Geschwindigkeiten als die vom Radium und anderen radioaktiven Stoffen ausgeschleuderten Alpha- und Betateilchen. Die schnellsten bewegen sich fast mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/s. Sie entstehen auch nicht durch Umwandlungsvorgänge der Atomkerne radioaktiver Elemente. Die meisten kosmischen Strahlenteilchen erlangen ihre hohen Bewegungsenergien

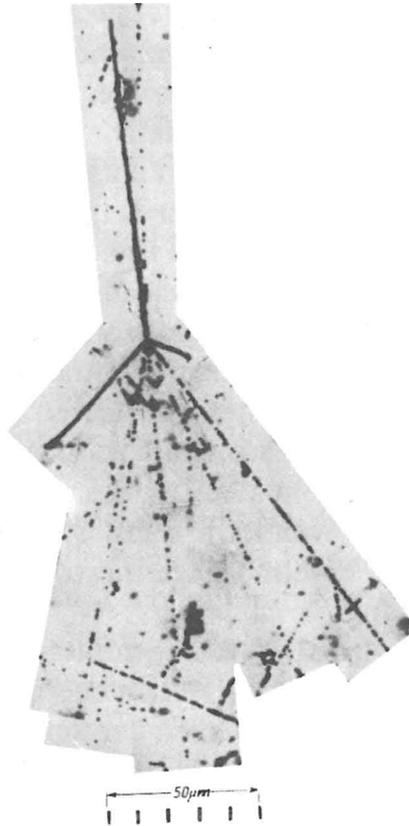
auf ähnliche Weise wie in den erwähnten Teilchenbeschleunigern. Restlos geklärt ist der Ursprung der kosmischen Strahlung noch nicht. Nur ein kleiner Teil stammt von unserer Sonne, der größte kommt aus weiten Entfernungen des Weltalls.

Wenn die Teilchen der kosmischen Strahlung mit ihren hohen Geschwindigkeiten auf die Atomkerne der Gasteilchen der Erdatmosphäre treffen, zertrümmern sie diese. Dabei wird auf die entstandenen Splitter noch so viel Bewegungsenergie übertragen, daß diese gleichfalls weitere Atomkerne der Luft zerschlagen. So entstehen im Gefolge eines einzigen aus dem Weltraum kommenden Strahlenteilchens ganze Schauer weiterer atomarer Teilchen hoher Energien, die erst in der Atmosphäre selbst gebildet werden. Deshalb wird zwischen zwei Komponenten der kosmischen Strahlung unterschieden. Die aus dem Weltraum selbst stammende ist die primäre, die dadurch in der Erdatmosphäre hervorgerufene die sekundäre kosmische Strahlung.

Die Teilchen der Primärstrahlung gelangen fast nie bis zur Erdoberfläche, sondern sind nur in großen Höhen oberhalb der dichten Luftschichten zu beobachten. Die Teilchen der Sekundärstrahlung, die sehr viel zahlreicher sind, dringen dagegen bis zum Erdboden vor und sind sogar noch in einiger Wassertiefe sowie auch unterhalb der Erdoberfläche nachzuweisen. Sie rufen das unaufhörliche unregelmäßige Knacken des Geiger-Müller-Zählers hervor.

Die kosmische Primärstrahlung wurde früher hauptsächlich mit unbemannten Ballons erforscht, die Pakete fotografischer Spezialfilme in große Höhen beförderten. Heute stehen für solche Untersuchungen auch Raketen, künstliche Erdsatelliten und Raumschiffe zur Verfügung. Durch fotografische Schichten können die kosmischen Strahlenteilchen noch genauer als durch Meßgeräte erforscht werden. Wenn ein solches Teilchen in die Schicht eindringt, erzeugt es entlang seiner Bahn eine Spur. Sie ist nach der Entwicklung als eine geschwärzte Linie sichtbar. Es wird also auch hierbei nicht das Teilchen selbst abgebildet, sondern nur seine Spur.

Da die Fotoschicht ziemlich dünn ist, reicht sie nicht aus, um die ganze Bahn des Teilchens aufzuzeichnen. Deshalb werden viele Fotoschichten zu einem Paket übereinandergelegt. Jede Schicht ist so gekennzeichnet, daß man genau weiß, wie sie über oder unter



Kernspur-Aufnahme in fotografischen Schichten. Der Maßstab am unteren Rand zeigt die Größenverhältnisse der Spuren. Der durch die gepfeilte Linie markierten Strecke entsprechen 50 μm (Tausendstelmillimeter)

der benachbarten lag. Auf diese Weise ist die Spur durch alle Schichtlagen zu verfolgen.

Das ist eine sehr schwierige Arbeit. Sie erfolgt mit einem speziellen Kernspur-Meßmikroskop. Denn die Spurlänge muß auf Tausendstelmillimeter genau vermessen werden, ebenso jede Abweichung der Spur aus der Geraden. Außerdem werden die einzelnen Silberkörnchen gezählt, aus denen sich die Spur mosaikartig zusammensetzt. Verläuft sie nicht durchgehend, dann ist noch die durchschnittliche Länge der Lücken auszumessen. Anhand dieser Indizien enträtseln die Physiker, um was für Teilchen es sich handelte und welche Energien sie hatten.

Das Bild zeigt eine solche Kernspur-Aufnahme. Wir sehen, daß sie aus mehreren einzelnen Filmstücken zusammengesetzt wurde

wie das Bild eines Puzzlespiels. Die von oben bis zur Mitte verlaufende Spur kennzeichnet die Bahn eines Protons der kosmischen Primärstrahlung. In der Mitte trifft es auf einen Atomkern der Substanz, aus der die fotografische Schicht besteht. Dabei entsteht ein Schauer vieler Teilchen, die von diesem Punkt aus in verschiedene Richtungen ausstrahlen.

Da die Erde ein riesiger Kugelmagnet ist, um den sich ein magnetisches Kraftfeld bis weit in den Weltraum ausbreitet, werden die elektrisch geladenen Teilchen der kosmischen Primärstrahlung aus ihrer ursprünglichen Richtung etwas zu den Polen hin abgelenkt. Außer von der Höhe über der Erdoberfläche hängt die Anzahl der anzutreffenden Strahlenteilchen daher auch von der geographischen Breite ab. Über dem Äquator ist sie am geringsten, über den Polen am größten.

Entsprechendes gilt für die in der Atmosphäre entstehenden Sekundärstrahlen. In unseren geographischen Breiten wird ein Mensch in jeder Sekunde von durchschnittlich 120 Teilchen der kosmischen Sekundärstrahlung getroffen.

Dies ist aber nicht die einzige Quelle energiereicher Strahlen, die ständig auf alle Lebewesen einwirken. Hinzu kommen – wie schon kurz erwähnt – die Strahlen der spurenweise überall vorhandenen radioaktiven Stoffe. Sie werden unter der Bezeichnung Umgebungs- oder Grundstrahlung zusammengefaßt. Je nach der Zusammensetzung des Erdbodens und der Gesteine ist sie örtlich sehr verschieden. So herrscht zum Beispiel in Teilen Schwedens, wo es viel Alaunschiefer gibt, eine rund 30mal höhere Grundstrahlung als in der hauptsächlich aus Sandstein bestehenden englischen Landschaft Yorkshire. Höher als bei uns ist die Grundstrahlung auch über dem Granitgestein der Alpen. In den Öztaler Alpen weht ein Wind, in dem besonders viel von dem radioaktiven Gas Radon enthalten ist. Es dringt dort durch Spalten und Poren des Gesteins in die Luft. Ferner gibt es Kurorte, an denen das Quellwasser in erhöhtem Maße radioaktive Elemente enthält. Damit werden manche Arten von Krankheiten behandelt.

Da sich in den Baumaterialien ebenfalls Spuren radioaktiver Stoffe befinden und in Städten viele Gebäude auf engem Raum konzentriert sind, ist hier die Grundstrahlung stärker als im allgemeinen auf dem Lande, wo Wälder, Wiesen und Felder den größ-

ten Teil der Fläche einnehmen und nur wenige Häuser stehen. Innerhalb von Gebäuden sind wir – abgesehen von bestimmten strahlenreichen Gebieten – meist einer höheren Grundstrahlung ausgesetzt als im Freien, weil uns im Haus von allen Seiten Mauern und Wände aus Baumaterial umgeben.

Sogar der menschliche Körper selbst enthält winzige Mengen radioaktiver Stoffe. Er ist deshalb gleichfalls eine ständige Quelle von Kernstrahlen. So befinden sich im Körper eines Erwachsenen durchschnittlich 140 g Kalium. Nur 0,0118 Prozent davon entfallen auf eine bestimmte Unterart (Isotop) dieses Elements. Das sind 0,0165 g. Trotzdem sendet diese winzige Menge in jeder Sekunde 420 Gammastrahlen aus. Das erklärt sich durch die unvorstellbare Winzigkeit der einzelnen Atome oder, anders ausgedrückt, durch die riesige Anzahl von Atomen, die schon in einer ganz kleinen Stoffmenge enthalten sind. So bestehen zum Beispiel die 0,0165 g Kalium 40 aus

248 000 000 000 000 000 000 (2,48 · 10²⁰) Atomen!

Doch die Kernstrahlung aus allen diesen natürlichen Quellen ist nicht so stark, daß sie eine Gefahr für den Menschen und andere Lebewesen bedeuten würde. Anders verhält es sich aber, wenn jemand in einem wissenschaftlichen Labor ständig mit Stoffen umgeht, die radioaktive Elemente nicht nur spurenweise, sondern in höherer Konzentration enthalten. Daß auch die Röntgenärzte und -assistenten ohne besondere Schutzmaßnahmen gefährdet wären, erwähnten wir schon. Gemeinsames Merkmal der Kern- und der Röntgenstrahlen ist, daß sie ionisierend wirken. Deshalb werden sie zusammenfassend als ionisierende Strahlen bezeichnet. Wirken zu große Mengen solcher Strahlen auf den Organismus ein, dann wird das Körpergewebe verändert. Das kann zu schweren Erkrankungen und sogar zum Tode führen.

Deshalb gibt es gesetzliche Bestimmungen darüber, welchen Strahlenmengen die Menschen im Höchsthalle ausgesetzt werden dürfen. Die Gesetze schreiben auch vor, welche Schutzmaßnahmen bei der Arbeit mit ionisierenden Strahlen zu treffen sind. Die Strahlenmenge, welche die Beschäftigten während ihrer Tätigkeit empfangen, wird laufend gemessen. Dafür dient unter anderem eine Plakette, die jeder am Kittel trägt, der beispielsweise in einem Röntgenlabor arbeitet. Sie enthält ein kleines Stück Film. In regel-

mäßigen Zeitabständen wird er aus der Plakette entnommen und an eine zentrale Einrichtung übersandt.

Dort treffen aus dem ganzen Land alle Filme zusammen und werden unter stets genau gleichen Bedingungen entwickelt und ausgewertet. Art und Grad der Schwärzung zeigen an, ob die normale Strahlenmenge überschritten wurde. Ist das der Fall, erfolgen sofort genaue Untersuchungen über die Ursache, um das Weiterandauern der erhöhten Strahleneinwirkung zu verhindern. Die zulässige Strahlenmenge ist mit großen Sicherheitsreserven bemessen. Die einmalige Erhöhung führt daher noch nicht zu gesundheitlichen Schäden, sondern zeigt nur rechtzeitig an, daß in den benutzten Schutzsystemen etwas nicht ganz in Ordnung ist. So hat der Mensch gelernt, das Unsichtbare nicht nur zu erforschen, sondern sich auch vor Gefahren zu schützen, die ihm drohen könnten, ohne daß er davon mit seinen natürlichen Sinnesorganen das geringste bemerkt.

Vieles haben die Wissenschaftler schon entdeckt. Aber weit mehr bleibt kommenden Generationen noch zu erforschen! Zwar weiß man heute zum Beispiel, aus welchen Arten von Teilchen die kleinsten Einheiten der chemischen Grundstoffe, die Atome, aufgebaut sind. Aber auch ihre Bausteine sind noch nicht die kleinsten, elementarsten Gebilde der Materie. Hier gilt es also, noch weit tiefer in das Reich des Unsichtbaren vorzustoßen. Vielleicht werden dadurch der Menschheit in Zukunft viel ergiebiger Energiequellen erschlossen, als wir sie bisher kennen.

Die Biologen sind den unsichtbar winzigen Gebilden auf der Spur, die für die Vererbung der verschiedenen Eigenschaften von Pflanzen, Tieren und Menschen ausschlaggebend sind. Bei einfachsten Lebewesen ist es schon gelungen, ihnen bestimmte neue vererbare Eigenschaften zu verleihen, so zum Beispiel die, Stoffe zu erzeugen, die hochwirksame Heilmittel gegen Krankheiten darstellen. Aber es wird noch sehr vieler weiterer Forschungen bedürfen, bis man auch die Erbanlagen höher entwickelter Pflanzen und Tiere und vielleicht sogar des Menschen gezielt verändern und so Krankheiten überwinden kann.

Dies sind nur zwei Beispiele. Sie ließen sich beliebig vermehren. In allen Bereichen der Wissenschaft und Technik gibt es keinen Stillstand. Sicher ist, daß noch Dinge zu entdecken sind, die man

sich heute überhaupt nicht vorstellen kann und die das Leben des Menschen wesentlich mitgestalten und seine Arbeit erleichtern werden. Dafür braucht die Wissenschaft junge Menschen, die sich dafür begeistern, der Natur immer mehr Geheimnisse zu entreißen.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Über Mikroben: K. E. Lindner, Milliarden Mikroben. 368 S., Urania-Verlag. – K. Förster, Die Welt der Mikroben. 128 S., A. Ziemsen Verlag. – B. Karger-Decker, Unsichtbare Feinde. 387 S., Verlag Koehler & Amelang.

Über Astronomie: F. Kaden, Rund um die Astronomie. 143 S., Der Kinderbuchverlag. – D. B. Herrmann, Vom Schattenstab zum Riesenspiegel. 226 S., Verlag Neues Leben. – N. T. Petrowitsch, Signale aus dem All. 135 S., VEB Verlag Technik. – K. Lindner, Astronomie selbst erlebt. 184 S., Urania-Verlag. – K. Lindner, Der Sternhimmel. 128 S., Urania-Verlag. – M. Reichstein, Die Erde – Planet unter Planeten. 280 S., Verlag Neues Leben. – H. Mielke, Sonnengott und Sternenfeuer. 231 S., Verlag Neues Leben. – brockhaus abc astronomie. 308 S., VEB F. A. Brockhaus Verlag.

Über Atomkernphysik und -technik: H. Kleffe, Als das Atom in Stücke sprang. 222 S., Der Kinderbuchverlag. – H. Lindner, Kraftquell Kernenergie. 127 S., Urania-Verlag. – W. Spickermann, Kernenergie. 248 S., Urania-Verlag.

Inhalt

Was das Auge nicht sieht	5
Von der Brille zum Flohglas	7
Was ist ein Mikroskop?	15
Im Reich der Viren	21
Riesenaugen blicken ins All	27
Kerzenschein aus 28 000 km Entfernung	33
100 Milliarden Sonnen	37
Himmelsohren lauschen der Sternen„musik“	42
Wie wird man Amateur-Astronom?	45
„Sehen“ durch Nacht und Nebel	47
Wie der Mensch „durchsichtig“ wird	57
Wie werden Röntgenstrahlen erzeugt?	62
Was geschieht bei der Schirmbildaufnahme?	65
Blick durch eiserne Wände	71
Wie entdeckt man eine versunkene Stadt?	76
Raumschiffe suchen Bodenschätze	80
Spannungen – eingefroren und in Scheiben geschnitten	86
Verbrechern auf der Spur	90
Wärmebilder helfen Energie sparen	92
Explosionen auf der Sonne	96
Meisterdetektive der Wissenschaft	99

BILDQUELLEN

Vorsatz: Multispektralaufnahme Gebiet Moritzburg LFB-Nr. 7/77 362

Nachsatz: Multispektralaufnahme Gebiet Süßer See LFB-Nr. 205/76

Fotos:

Akademie der Wissenschaften der DDR

Zentralinstitut für Physik der Erde (V. Kroitisch)

Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Steinsalzoberfläche

Foto:

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie

(K. W. Keller)

Kernspuraufnahme

Foto:

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Hochenergiephysik (Ch. Engelhardt)



2. Auflage 1986

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1984

Lizenz-Nr. 304-270/393/86-(40)

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Offizin Andersen Nexö, Graphischer Großbetrieb Leipzig III/18/138

LSV 7841

Für Leser von 12 Jahren an

Bestell-Nr. 631 835 6

00750





ab 10 J.



Dieses Buch berichtet über Meisterdetektive der Wissenschaft, die mit Mikroskopen, Fernrohren, mancherlei Strahlen und anderen Hilfsmitteln Unsichtbares sichtbar machen. Sie ent-rätselten, daß in jedem Gramm fruchtbaren Bodens Milliarden winzigster Wesen leben, entdeckten Erreger gefährlicher Krankheiten, erkannten Milliarden Lichtjahre entfernte Welten.

Sie blicken durch Eisen und spüren versunkene Städte auf, von denen kein Stein mehr den Boden überragt. Sie helfen uns vor Gefahren zu schützen, die dem Menschen von Strahlen drohen, die er mit keinem seiner Sinne wahrnimmt.

