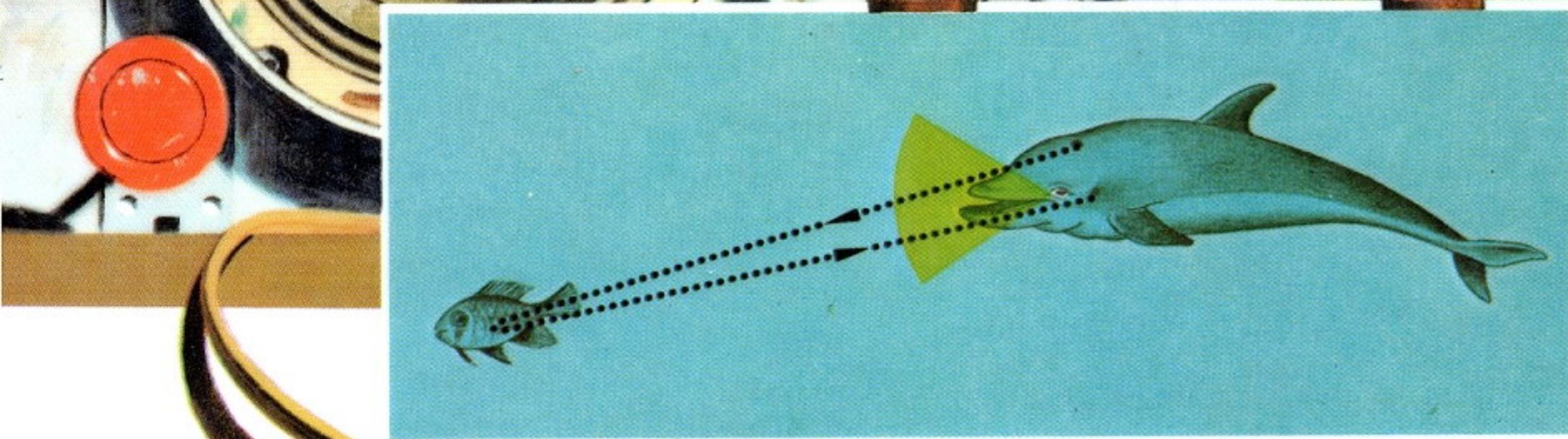
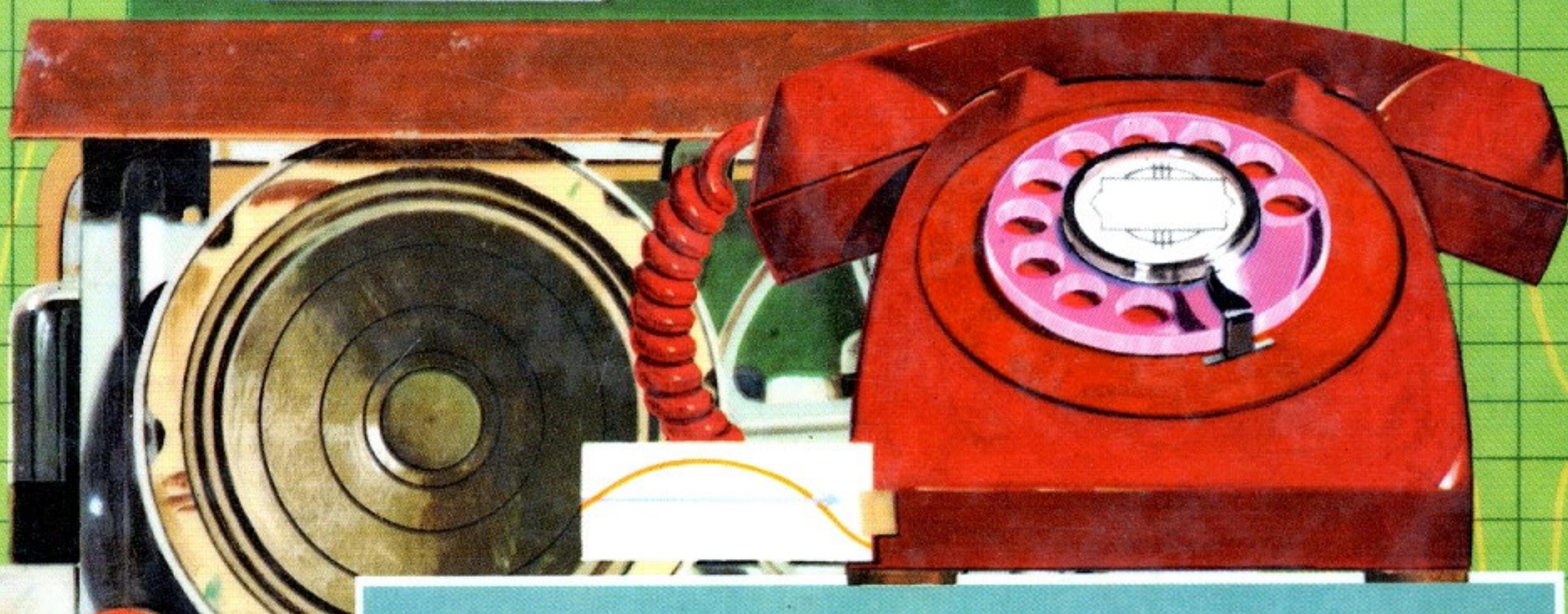
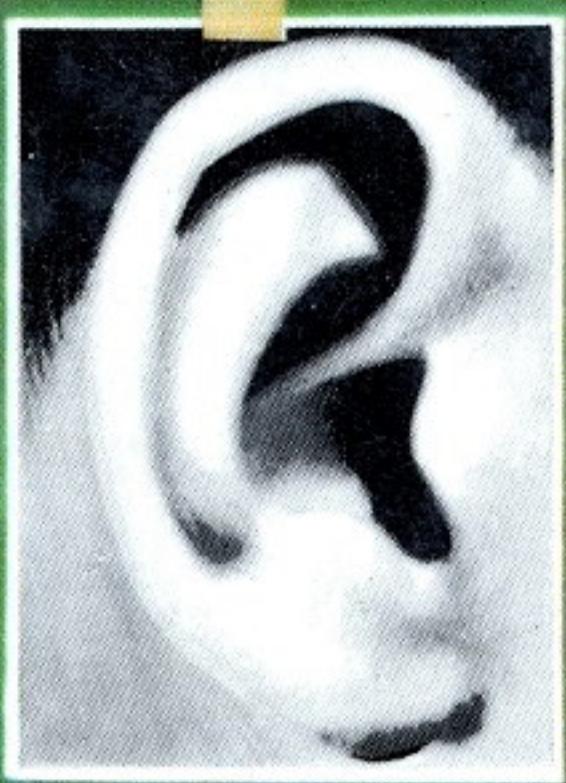
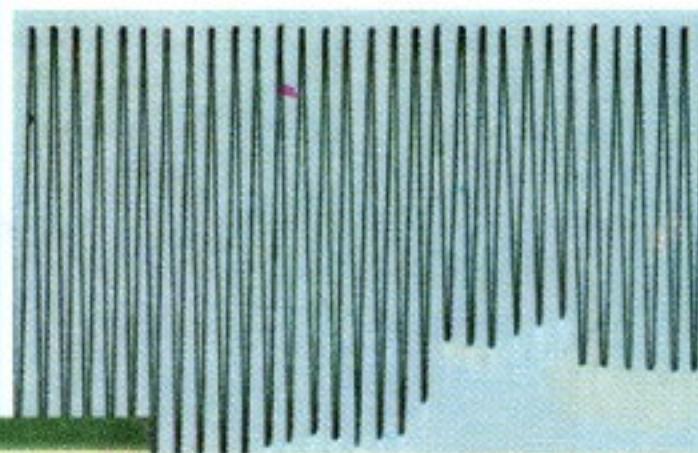
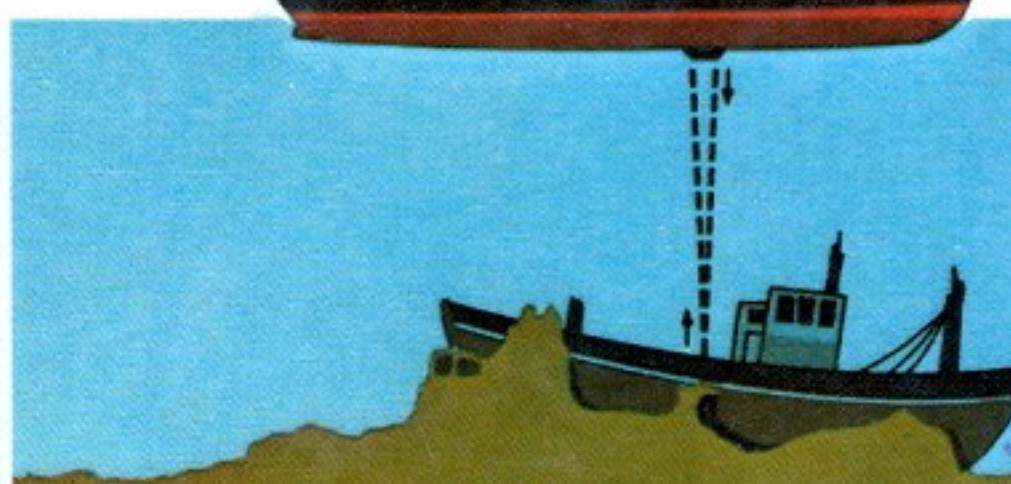
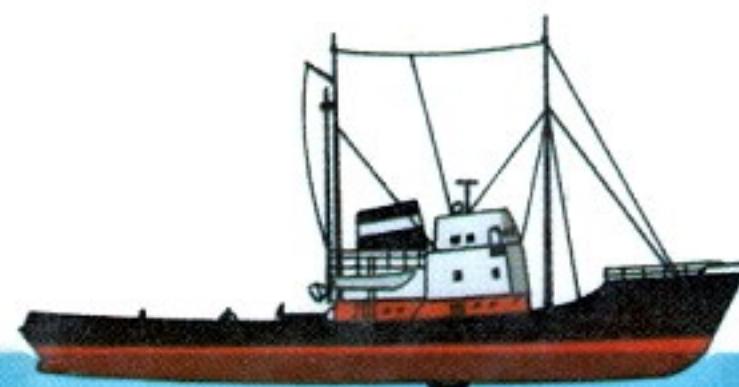




BAND 28

Die Welt des Schalls



Tessloff Verlag

WAS IST WAS
ode
NISSN UP TO DATE



In dieser Reihe sind bisher erschienen:

- | | | |
|--|-----------------------------------|--|
| Band 1 Unsere Erde | Band 29 Berühmte Wissenschaftler | Band 60 Die Kreuzzüge |
| Band 2 Der Mensch | Band 30 Insekten | Band 61 Pyramiden |
| Band 3 Atomenergie | Band 31 Bäume | Band 62 Die Germanen |
| Band 4 Chemie | Band 32 Meereskunde | Band 63 Foto, Film, Fernsehen |
| Band 5 Entdecker | Band 33 Pilze, Moose und Farne | Band 64 Die Alten Griechen |
| Band 6 Die Sterne | Band 34 Wüsten | Band 65 Die Eiszeit |
| Band 7 Das Wetter | Band 35 Erfindungen | Band 66 Berühmte Ärzte |
| Band 8 Das Mikroskop | Band 36 Polargebiete | Band 67 Die Völkerwanderung |
| Band 9 Der Urmensch | Band 37 Computer und Roboter | Band 68 Natur |
| Band 10 Fliegerei | Band 38 Prähistorische Säugetiere | Band 69 Fossilien |
| Band 11 Hunde | Band 39 Magnetismus | Band 70 Das Alte Ägypten |
| Band 12 Mathematik | Band 40 Vögel | Band 71 Seeräuber |
| Band 13 Wilde Tiere | Band 41 Fische | Band 72 Heimtiere |
| Band 14 Versunkene Städte | Band 42 Indianer | Band 73 Spinnen |
| Band 15 Dinosaurier | Band 43 Schmetterlinge | Band 74 Naturkatastrophen |
| Band 16 Planeten und Raumfahrt | Band 44 Das Alte Testament | Band 75 Fahnen und Flaggen |
| Band 17 Licht und Farbe | Band 45 Mineralien und Gesteine | Band 76 Die Sonne |
| Band 18 Der Wilde Westen | Band 46 Mechanik | Band 77 Tierwanderungen |
| Band 19 Bienen und Ameisen | Band 47 Elektronik | Band 78 Münzen und Geld |
| Band 20 Reptilien und Amphibien | Band 48 Luft und Wasser | Band 79 Moderne Physik |
| Band 21 Der Mond | Band 49 Leichtathletik | Band 80 Tiere – wie sie sehen,
hören und fühlen |
| Band 22 Die Zeit | Band 50 Unser Körper | Band 81 Die Sieben Weltwunder |
| Band 23 Von der Höhle bis
zum Wolkenkratzer | Band 51 Muscheln und Schnecken | Band 82 Gladiatoren |
| Band 24 Elektrizität | Band 52 Briefmarken | Band 83 Höhlen |
| Band 25 Vom Einbaum zum
Atomschiff | Band 53 Das Auto | Band 84 Mumien |
| Band 26 Wilde Blumen | Band 54 Die Eisenbahn | Band 85 Wale und Delphine |
| Band 27 Pferde | Band 55 Das Alte Rom | Band 86 Elefanten |
| Band 28 Die Welt des Schalls | Band 56 Ausgestorbene Tiere | Band 87 Türme |
| | Band 57 Vulkane | Band 88 Ritter |
| | Band 58 Die Wikinger | |
| | Band 59 Katzen | |

Tessloff Verlag

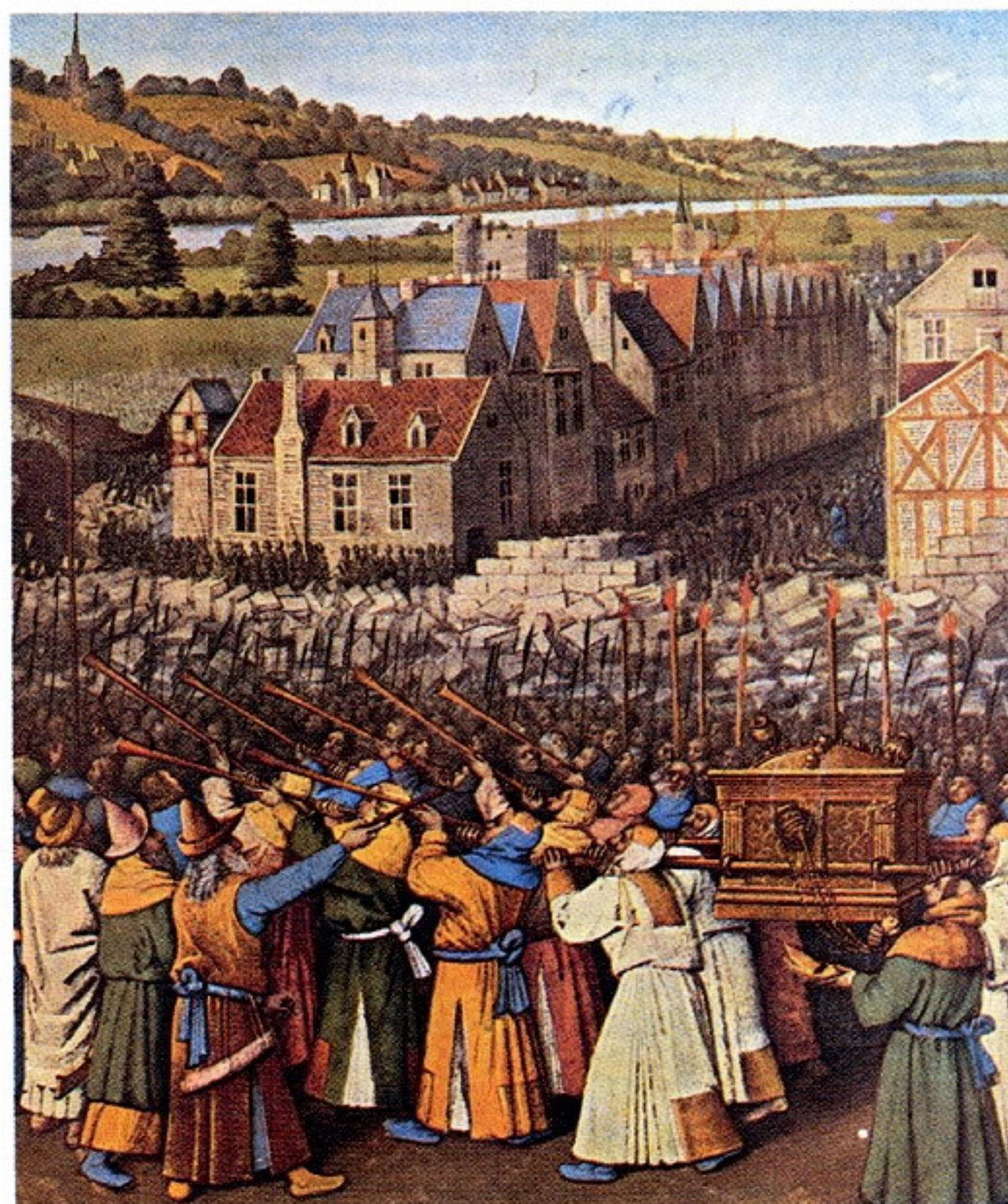
Ein **WAS**
Ist
WAS Buch

Die Welt des Schalls

von Martin L. Keen

Illustriert von Anne-Lies Jhme
und Gerd Werner

Wissenschaftliche Überwachung:
Dr. F. Kästner, Universität Hamburg



Als das Volk das Feldgeschrei erhob und in die Posau-
nen stieß, stürzten die Mauern der belagerten Stadt
Jericho zusammen. So berichtet die Bibel und so malte
es der französische Maler Jean Fouquet (1420—1481).
Legende oder Wirklichkeit? Von dem, was der Schall
vermag und wie er entsteht, berichtet dieses Buch.

Tessloff Verlag

Vorwort

Was ist der Schall? Wie unterscheiden sich die verschiedenen Geräusche voneinander? Warum sind Töne laut oder leise, angenehm oder unangenehm, weich oder hart? Dieser WAS IST WAS-Band „Die Welt des Schalls“ gibt Antwort auf diese und viele andere Fragen. Die Erforschung des Schalls führt uns in viele interessante Gebiete. Wir erfahren, wie die menschliche Stimme entsteht und welch kompliziertes Gebilde unser Ohr darstellt. Die blindfliegende Fledermaus ist uns kein Rätsel mehr, und wir verstehen, warum Josua die Mauern Jerichos mit Trompetenstößen zum Einsturz bringen konnte. Ein besonderes Kapitel ist den musikalischen Tönen gewidmet. Die Wirkung von Schall und Ultraschall und vieles andere wird in diesem WAS IST WAS-Band erklärt.

Noch interessanter als die Eigenschaften des Schalls sind seine Verwendungsmöglichkeiten. Der Leser erfährt, wie Schallwellen den Ärzten bei der Erkennung und Heilung von Krankheiten helfen, wie Erdöl in großer Tiefe und Fischschwärme im Meer durch Schallwellen geortet werden, wie das Telefon, der Tonfilm, der Plattenspieler und das Bandgerät funktionieren.

Dieser WAS IST WAS-Band vom Schall enthält auch Anleitungen zu zahlreichen Experimenten und Untersuchungen und zur Herstellung einfacher Sprechgeräte und Musikinstrumente. Es bietet allen Lesern eine anregende Entdeckungsreise in die Welt des Schalls.

WAS IST WAS, Band 28

Copyright © 1979 Tessloff Verlag · Nürnberg
Copyright © 1964 by Grosset & Dunlap, New York

Die Verbreitung dieses Buches oder von Teilen daraus durch Film, Funk oder Fernsehen, der Nachdruck und die fotomechanische Wiedergabe sind nur mit Genehmigung des Tessloff Verlages gestattet.

ISBN 3-7886-0268-6

INHALT

	Seite
EINE LAUTLOSE WELT	4
Wie wäre eine Welt ohne Schall?	4
Wie schützen Geräusche vor Gefahren?	5
DER SCHALL	6
Was ist Schall?	6
Wie kann man beweisen, daß Schall Energie ist?	6
Wie hören wir ferne Laute?	7
Warum braucht der Schall ein Medium?	8
SCHALLWELLEN	9
Wie wird der Schall weitergeleitet?	9
Wie wirkt die Kompressionsfront?	10
Wie wirkt die Verdünnungszone?	10
Können Schallwellen „schreiben“?	11
WIE MAN DEN SCHALL MESSEN KANN	12
Wie schnell ist der Schall?	12
Ist die Schallgeschwindigkeit immer gleich?	12
Wie mißt man mit dem Schall Entfernung?	13
<i>Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen bei 20° C</i>	13
Warum ist ein Ton hoch oder tief?	14
Wie mißt man die Frequenz eines Tones?	14
Wie kann man mit einer Pappscheibe Töne erzeugen?	15
Warum hängt die Tonhöhe von der Frequenz ab?	15
Wie funktioniert eine Lochsirene?	16
Was ist eine Amplitude?	16
Warum hören wir ferne Laute schwächer?	17
Was ist Resonanz?	18
Wie eroberte Josua die Stadt Jericho?	20
REFLEKTIERTER SCHALL	21
Was ist ein Echo?	21
Wie orientiert sich die Fledermaus?	22
Wie nutzt die Fledermaus den Schall?	23
Wie verständigen sich Delphine?	24
Wie bestimmt man die Position eines U-Bootes?	24
<i>Wie man mit dem Schall ein Wrack findet</i>	25
WIE man mit dem Schall Erdöl findet	25
Wie mißt man die Meerestiefe?	25
Wie hilft das Echolot den Geologen?	26
Was ist Ultraschall?	26
Wie hilft Ultraschall den Kranken?	26
Was ist Infraschall?	27
MUSIKINSTRUMENTE UND IHRE TÖNE	29
Was ist ein Ton?	29
Was ist Lärm?	29
Was ist eine Tonleiter?	30
Was ist Harmonie?	31
Wie entsteht ein Geigenton?	32
Wie entsteht ein Flötenton?	32
Wie entsteht ein Paukenton?	33
WIR BAUEN UNS EIN ORCHESTER	34
LEBENDE SCHALLORGANE	36
Welches ist die wandlungsfähigste Schallquelle?	36
Wie entstehen die Sprechlaute?	37
Wie hören wir?	38
DER SCHALL ALS NACHRICHTEN- ÜBERMITTLER	40
Wie funktioniert das Telefon?	40
Wie empfängt das Radio den Schall?	41
Wie kann man den Schall festhalten?	42
Was ist Stereo-Klang?	43
Wie funktioniert ein Tonbandgerät?	43
Wie entsteht der Ton im Spielfilm?	44
SCHNELLER ALS DER SCHALL	45
Was ist eine Schallmauer?	45
Wo hört man den Überschallknall?	46
VIER FRAGEN AUS DER WELT DES SCHALLS	46
Hören wir am Tage besser als in der Nacht?	46
Warum kommen Soldaten aus dem Gleichschritt?	47
Warum rauscht das Meer in der Muschel?	47
Warum ändert die Sirene des Streifenwagens ihren Ton?	48



Eine lautlose Welt

Ständig sind wir von zahllosen Geräuschen umgeben.

Wie wäre eine Welt ohne Schall?

Auch wenn wir an einem Sommertag weit von der Stadt entfernt auf einer Waldwiese liegen, vernimmt unser Ohr vielfältige Laute: Vogelstimmen, das Rauschen der Bäume und des Grases, das Zirpen der Grillen und das Summen der Bienen und Fliegen. Selbst wenn man uns mit verbundenen Augen an diesen Ort geführt hätte, würden uns die charakteristischen Geräusche verraten: Dies ist eine Waldwiese. Um uns klarzumachen, wie wichtig es für uns ist, daß wir hören können, wollen wir uns in eine lautlose Welt, eine Welt ohne Geräusche, versetzen.

Nehmen wir an, wir stehen auf einer verkehrsreichen Kreuzung. Die Ampel springt auf Grün; lautlos starten selbst die größten Lastwagen. Der Polizist hebt die Pfeife an die Lippen; kein Ton ist zu hören. Eine Frau läßt ihre Geldbörse fallen; die Markstücke und Pennige springen heraus – kein Klinnen und Klingen! Arbeiter entladen einen Lastwagen und lassen dabei eine Kiste fallen. Beim Aufschlagen bricht sie auseinander; Porzellangeschirr purzelt heraus, rollt über das Pflaster und zerbricht: Kein Poltern oder Klinnen dringt an unser Ohr, gerade als sei die Kiste auf ein Wattepölster gefallen.

In dieser Welt ohne Töne gäbe es kein Telefon und kein Radio; im Kino und im Fernsehen würden nur Stummfilme gezeigt. Und wenn wir uns einem Freund



bemerkbar machen wollten, der uns nicht gesehen hat, müßten wir ihm schon auf die Schulter tippen — kein Ton hat sein Ohr erreicht.

Diese Welt ohne Krachen, Poltern, Klarren, Pfeifen, Rufen, Lachen, Gesang und Musik wäre nicht nur leer und freudlos, sie wäre auch

**Wie schützen
Geräusche
vor Gefahr?**

höchst gefährlich. Unsere Sicherheit hängt weitgehend vom Schall ab. Wenn ein Kind hingefallen ist und blutet, schreit es; das hört die Mutter und eilt rasch herbei. Auf der Straße hören wir das Geräusch der herannahenden Straßenbahn, das Hupen der Autos, das Knattern der Motorräder. Auch ohne hinzusehen, erkennen wir die Gefahr. Schiffe zeigen im Nebel ihre Position

Wie lebensfeindlich eine Welt ohne Schall wäre, zeigt dieses Bild: Fast wäre ein Radfahrer unter das Auto gekommen — in einer lautlosen Welt gäbe es keine Hupen. Der Junge links ruft vergeblich dem Mädchen nach — es kann ihn nicht hören. Von all dem bemerkt die alte Dame nichts — auch sie vernimmt keinen Ton. Jeder Kontakt der Menschen mit der Umwelt wäre auf das Sehen, Fühlen und Riechen beschränkt.

durch Nebelhörner an. Dem Holzfäller, der im Wald einen Baum schlägt, verrät schon das Krachen in den Ästen, daß der Baum gleich stürzen wird, und er kann sich rechtzeitig in Sicherheit bringen. Wie schwierig wäre es für uns, in einer lautlosen Welt den drohenden Gefahren auszuweichen.

Auch einfache Geräusche vermitteln uns schon reichhaltige Nachrichten. Wir hören Schritte auf der Treppe und Pfeifen. Am Schritt erkennen wir: Es ist Herr Müller, der nach Hause kommt; und am Pfeifen: Er ist guter Laune. Oder wir hören im Nachbargarten einen Rasenmäher. Aha, Krauses sind von der Reise zurück! So machen Schritte, Pfeifen, das Rattern eines Rasenmähers und andere Geräusche die Umwelt für uns lebendig.

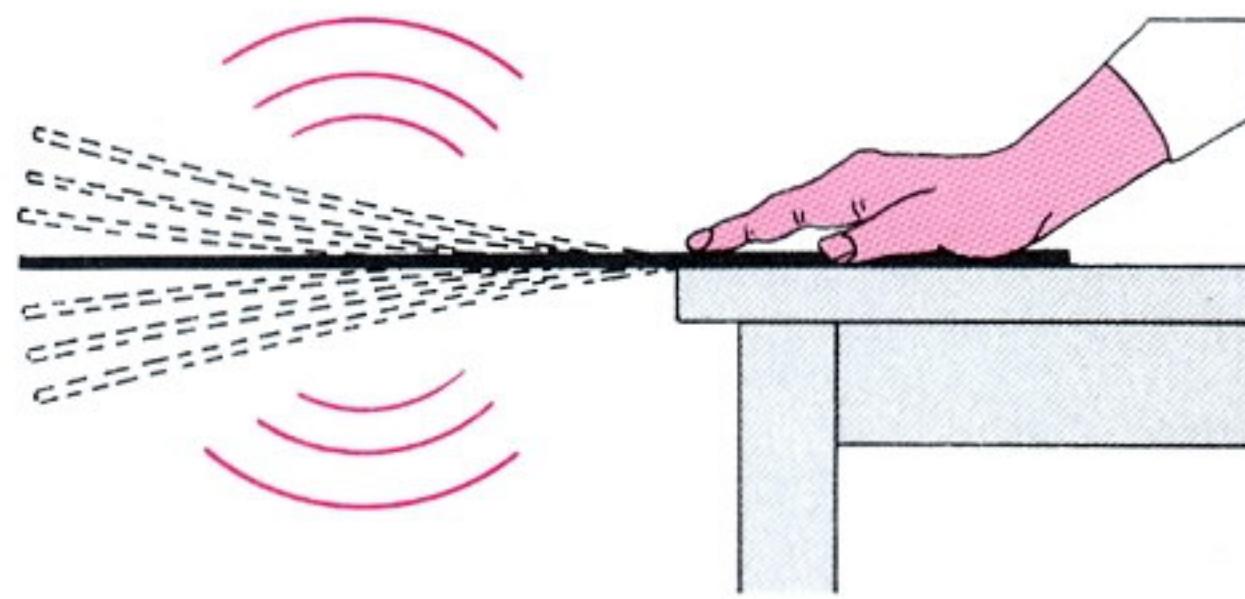
Die wichtigsten „Geräusche“ aber, die wir von uns geben, sind die Laute, die wir zu Wörtern formen — unsere Sprache. Die Menschen hätten niemals eine Sprache entwickelt, wenn sie nichts hören könnten — wir wären alle taubstumm. Unser Leben wäre noch sehr primitiv und unvorstellbar schwierig, wenn wir uns nicht durch Sprechen verständigen könnten. Wir könnten zwar die Finger zu Hilfe nehmen und Zeichen geben. Aber für die Mitteilung von Gedanken reicht die Zeichensprache nicht aus. Die Mitteilung: „Ich gehe jetzt nach Hause und esse“, kann man wohl mit Zeichen verständlich machen, aber schon die Feststellung: „Der Mensch kann nur vernünftig und logisch denken, weil er eine Sprache hat“, kann nur gesprochen oder geschrieben werden.

Der Schall

Schall ist Energie, die von einem vibrierenden Gegenstand ausgeht. Diese Energie – auch wenn sie noch so gering ist – leistet eine Arbeit; sie bewegt, stößt oder zieht irgend etwas. Vibrieren bedeutet: sich hin- und herbewegen. Wenn wir ein gespanntes Gummiband zupfen, hören wir ein Geräusch, das durch die Bewegung des Bandes erzeugt wird. Diese Bewegung können wir auch mit den Augen wahrnehmen; das Gummiband sieht ganz verschwommen aus. Auch wenn wir eine Gabel seitlich auf die Tischkante schlagen, können wir die Zinken vibrieren sehen und gleichzeitig den Ton hören, den die Schwingungen der Zinken erzeugen.

Ein Versuch macht uns den Zusammenhang von Vibration und Schall deutlich: Wir legen ein elastisches Lineal so auf die Tischkante, daß zwei Drittel darüber hinausragen. Das auf dem Tisch aufliegende Drittel halten wir mit einer Hand fest. Wenn wir das freie Ende mit der anderen Hand herunterbiegen und dann loslassen, vibriert es und erzeugt einen brummenden Ton.

Was ist Schall?

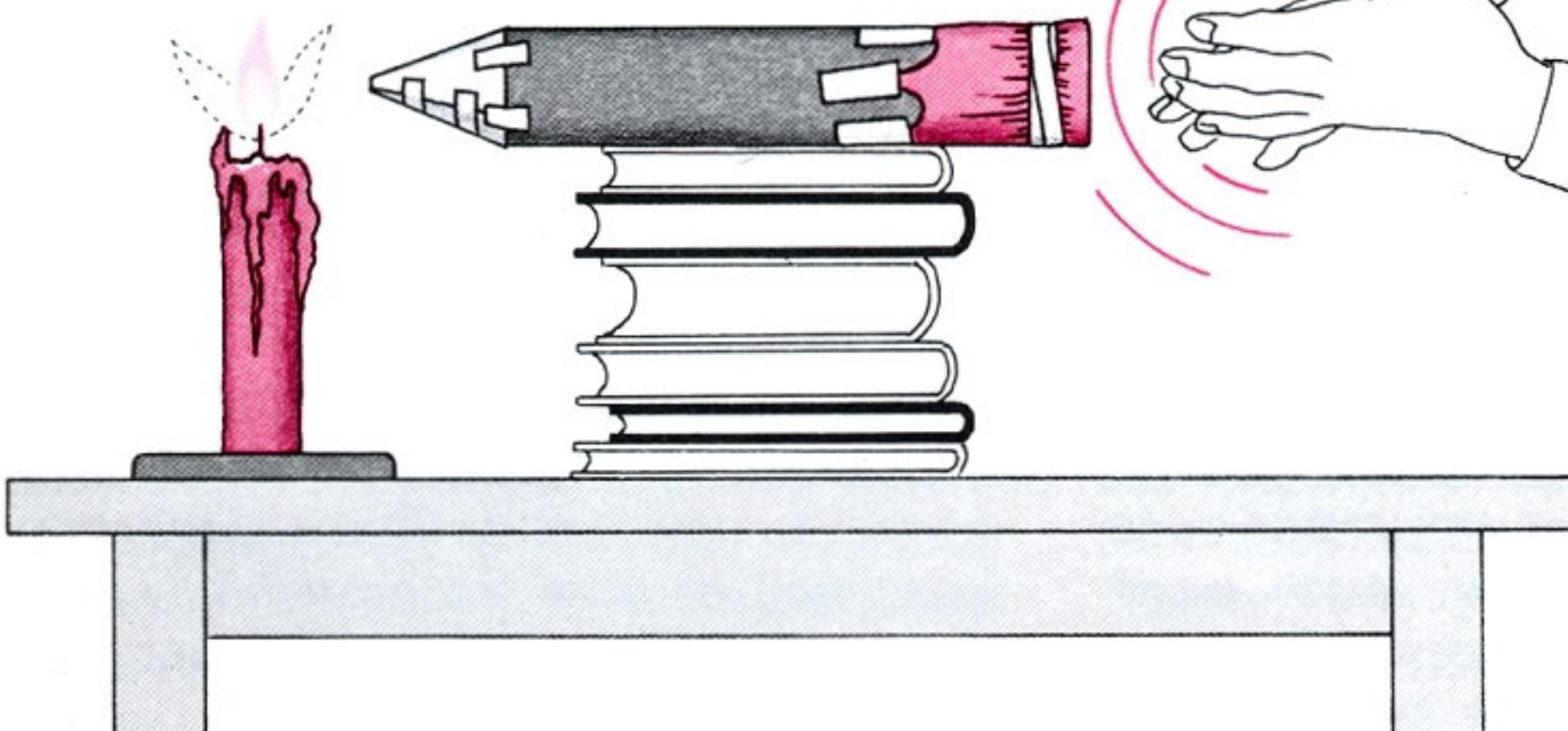


Ein vibrierender Gegenstand erzeugt Schall; je kürzer der Gegenstand, desto heller der Ton.

Wie kann man beweisen, daß Schall Energie ist?

Wir beschaffen uns eine Pappröhre von etwa 3,5 cm Durchmesser, eine Röhre, wie sie beim Versand von Kunstblättern oder Zeichnungen verwendet wird. Man kann sich eine solche Röhre auch aus einem Stück Karton selbst herstellen. Dann rollen wir ein Stück festes Papier zu einem kleinen Kegel zusammen und befestigen es mit Klebstreifen am offenen Ende der Rolle. Die Pappröhre sieht nun aus wie eine Tortenspritze. Die Spitze des Kegels wird nun abgeschnitten, so daß eine etwa 6 mm große Öffnung entsteht.

Am anderen Ende der Röhre schneiden wir mit einem scharfen Messer den Boden heraus und überspannen die Öffnung mit einer Gummihaut. (Wir können sie von einem Luftballon nehmen.) Es ist wichtig, daß diese Gummihaut



Obwohl die Pappröhre mit einer Gummihaut verschlossen ist, flackert die Kerze, wenn man mit einem harten Gegenstand auf den Boden des Kochtopfs schlägt: Der vibrierende Topfboden bringt die Luft zum Schwingen, die Schwingungen setzen sich über die Gummihaut und die Luft in der Pappröhre fort und lassen die Kerze flackern.



haut recht straff gespannt ist. Sie wird mit Band oder Klebstreifen an der Pappröhre befestigt.

Nun stellen wir ein brennendes Licht auf den Tisch. Mit Hilfe einiger Bücher legen wir die Pappröhre so hoch, daß die Öffnung auf die Kerzenflamme zeigt. Die Kegelöffnung soll sich aber nicht weiter als 1,5 cm von der Flamme befinden.

Direkt hinter der gummibespannten Röhrenöffnung schlagen wir jetzt mit einem Holzlöffel auf den Boden eines Kochtopfes – das Licht der Kerze flackert plötzlich hin und her. Warum? – Da die Röhrenöffnung ja mit Gummi verschlossen ist und keine Luft durchläßt, konnte die Flamme nicht durch den Luftzug bewegt werden. Sie flackerte, weil die Gummihaut durch das Geräusch zum Schwingen gebracht wurde und Schallwellen erzeugte.

Wie kommt es, daß wir Schwingungen eines vibrierenden Gegenstandes

Wie hören wir ferne Laute?

hören können? Er berührt doch nicht direkt unser Ohr!

Die Antwort: Zwischen dem vibrierenden Gegenstand

Die Schnur des Blechdosen-Telefons muß straff gespannt sein und darf keinen anderen Gegenstand berühren. Wenn man in die eine Dose spricht, übermittelt die Schnur die Schallwellen und in der anderen Dose sind die Worte deutlich zu hören.

und unserem Ohr befindet sich Luft, und sie trägt den durch die Schwingungen erzeugten Schall an unser Ohr. Die Luft dient also als Mittler oder Schalleiter. Man nennt den Schalleiter auch *Medium*. Die Bezeichnung ist lateinisch und bedeutet „Mittler“. Doch ist die Luft nicht das einzige Medium zwischen einer Schallquelle und unserem Ohr. Auch andere Gase können als Medium dienen. Und feste Stoffe und Flüssigkeiten sind noch bessere Schalleiter als Luft. Das können wir leicht ausprobieren: Man legt eine Taschenuhr auf eine dicke Tischplatte; wenn man nun ein Ohr an die untere Seite der Tischplatte



Wenn man Metallgegenstände zusammenschlägt, gibt es scheppernde Geräusche. Bindet man die Gegenstände aber, wie auf dem Bild, mit Schnüren zusammen und hält die Schnurenden ins Ohr, hört man reine Glockentöne.

hält, kann man das Ticken deutlich hören. Und wenn wir das nächste Mal zum Schwimmen gehen, nehmen wir zwei Steine in die Hand, stecken den Kopf unter Wasser und schlagen die Steine über dem Kopf in der Luft zusammen. Wir werden überrascht sein, wie laut wir den Schlag hören. Dann bitten wir einen Freund, sich in etwa 50 m Entfernung aufzustellen und die Steine in der Luft zusammenzuschlagen, während wir den Kopf unter Wasser halten. Wieder ist der Knall überraschend laut. Noch stärker hören wir ihn, wenn unser Freund die Steine unter Wasser zusammenschlägt, wobei wir natürlich wieder den Kopf unter Wasser halten. Wir stellen fest: Wasser ist ein besserer Schalleiter als Luft.

Daß feste Stoffe gute Schalleiter sind, können wir durch ein weiteres Experiment beweisen: Wir nehmen zwei Blechdosen und schlagen mit Hammer und Nagel in jeden Dosenboden ein Loch. Nun ziehen wir eine lange feste

Schnur durch die Löcher und schlagen jeweils einen Knoten in das Ende, so daß sich die Schnur nicht herausziehen läßt. Jetzt geht ein Freund mit einer der Dosen so weit fort, bis die Schnur gespannt ist. Die andere Dose halten wir uns ans Ohr. Wenn unser Freund nun leise in die Dose spricht, können wir ihn verstehen. Wenn er ohne Dose spricht, hören wir kein Wort. Die Schwingungen der Schnur haben uns den Schall übermittelt.

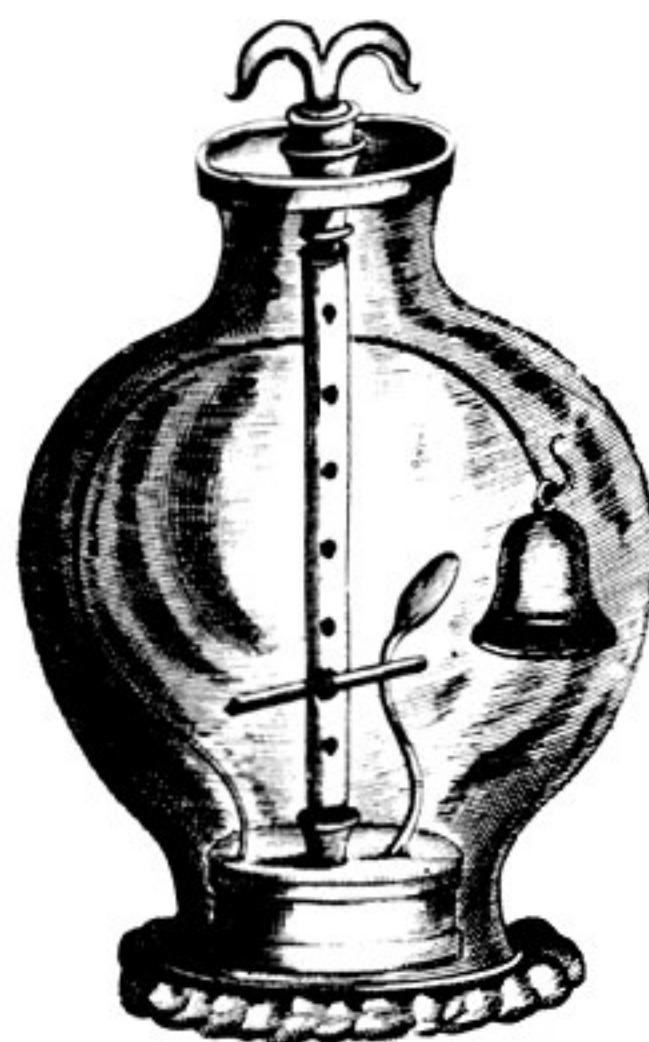
Braucht der Schall wirklich ein Medium

**Warum braucht
der Schall
ein Medium?**

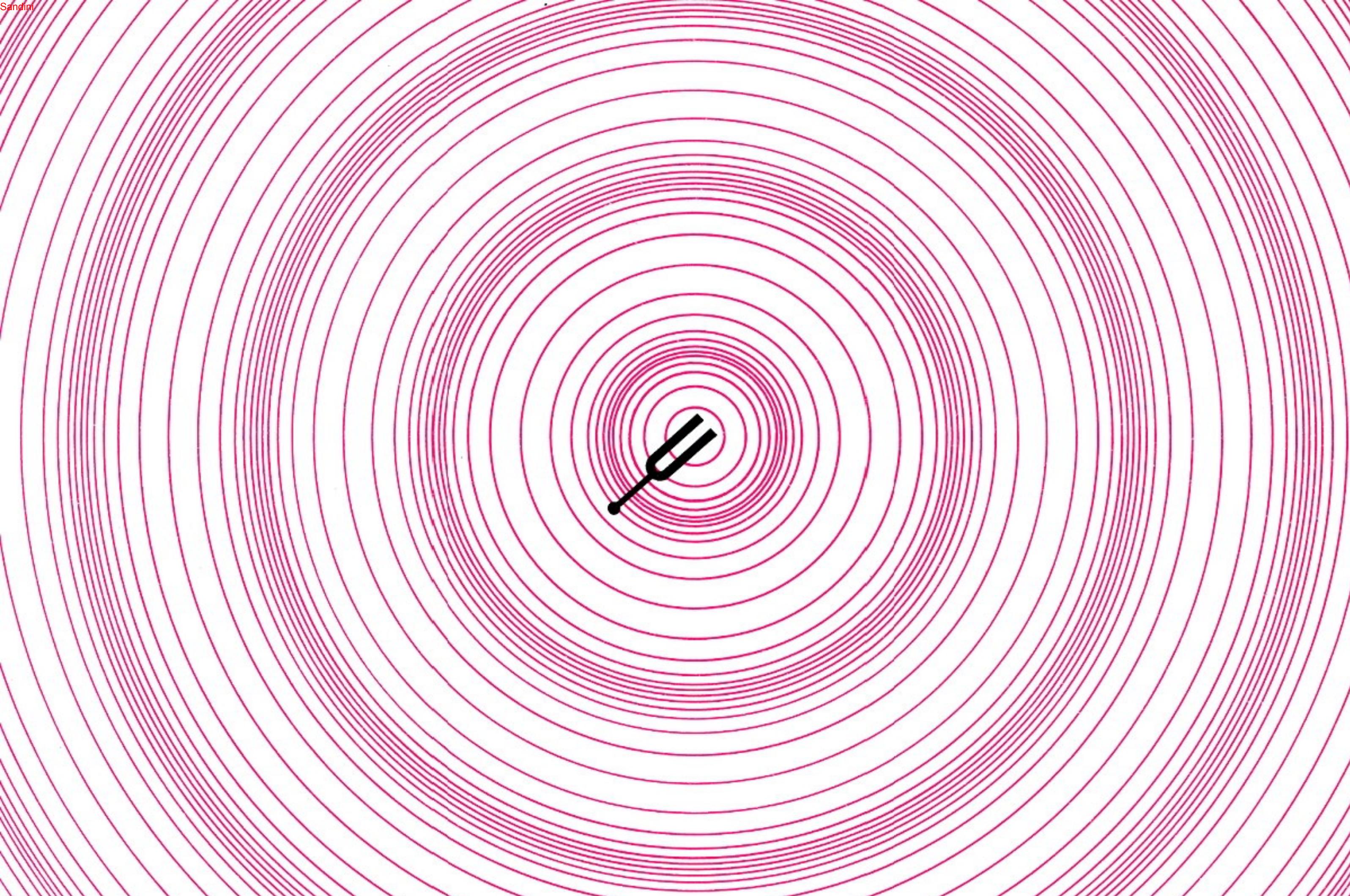
— sei es nun fester, flüssiger oder gasförmiger Art —, um weitergetragen zu werden? Kann

man nicht auch im luftleeren Raum Geräusche hören?

Vor 300 Jahren unternahm der irische Physiker Robert Boyle ein für die Akustik (Lehre vom Schall) bedeutsames Experiment: Er befestigte eine kleine Glocke in einem Gefäß und pumpte es luft leer. Nun schlug er die Glocke an, indem er das Gefäß hin- und herschüttelte — aber er konnte die Glocke nicht hören. Damit war bewiesen: In luftleerem Raum breitet Schall sich nicht aus; er braucht einen Schalleiter als Medium. Als Boyle wieder Luft in das Gefäß ließ, hörte er die Klingel wieder in alter Lautstärke.



Mit einer Glasflasche bewies der irische Physiker Robert Boyle (1627—1691), daß Schallwellen sich nicht im luftleeren Raum ausbreiten. Wenn er die Flasche luft leer pumpte, war die Glocke im Inneren der Flasche nicht mehr zu hören.



Schallwellen breiten sich vom Entstehungspunkt nach allen Seiten, also kugelförmig aus. Dabei folgt auf jede Kompressionsfront aus zusammengedrückter Luft (dunkel) eine luftverdünnte Schicht (hell).

Schallwellen

Der Schall wird in Form von Wellen durch ein Medium weitergeleitet. Das Medium, das uns am häufigsten zum Schalleiter wird, ist die Luft. Darum soll sie uns hier als Beispiel dienen.

Wie wird der Schall weitergeleitet?

Wir schlagen eine Stimmgabel an, die sich beim Vibrieren nach zwei Richtungen bewegt. Nennen wir diese Richtungen A und B. Schwingt die Zinke der Stimmgabel nun nach Richtung A, stößt sie die Luft von sich. Eine Luftsicht wird zusammengedrückt und gibt den Druck weiter.

Inzwischen ist aber auf der anderen Seite der ausschwingenden Zinke ein luftleerer Raum entstanden – in den

natürlich Luft hineindrängt, aber nicht so rasch, wie die Zinke zurückschwingt. Beim Zurückschwingen stößt die Zinke nach Richtung B die Luft von sich und schafft in Richtung A einen kleinen Luftraum mit Unterdruck.

Durch die Hin- und Herbewegung stößt die Zinke der Stimmgabel ständig nach beiden Richtungen abwechselnd eine Schicht zusammengedrückter Luft mit Zwischenräumen von verdünnter Luft von sich. Die zusammengedrückten Luftsichten, die vom Mittelpunkt, der Stimmgabel, nach außen gestoßen werden, bilden nach allen Seiten Kompressionsfronten und tragen den Stoß weiter. Der Zwischenraum ist nicht völlig luftleer, bildet aber doch eine Zone verdünnter Luft.



So entsteht eine Schallwelle: Bewegt sich die Zinke einer Stimmgabel nach außen, drückt sie die Luft zusammen und erzeugt eine Kompressionsfront; schwingt die Zinke zurück, entsteht eine luftverdünnte Zone.

Um den Vorgang der Wellenbewegung

Wie wirkt die Kompressions- front?

besser zu verste-
hen, stellen wir
uns eine Reihe
von Eisenbahn-
wagen auf einem
Gleis vor. Die

Lokomotive stößt nun an den ersten Wagen. Dieser Wagen gibt den Stoß an den zweiten weiter, der zweite an den dritten und so weiter. Der Stoß, der von der Lokomotive ausgeht, erschüttert die ganze Wagenreihe so, wie die Kompressionsfront die Luft oder ein anderes schalleitendes Medium. Bei diesem Vorgang wandert also Energie in Form eines Anstoßes von einem Ende der Wagenreihe bis ans andere. Der Anstoß ist eine Kraft, die etwas in Bewegung setzt.

Die Luft besteht bekanntlich aus einer Unzahl winziger Moleküle. Wir können uns nun vorstellen, wie diese durch den Anstoß von der Schallquelle erschüttert werden, ohne daß dabei die einzelnen Moleküle (denke an die Eisenbahnwa-
gen!) eine größere Strecke zurücklegen.

Mit dem Stoß der Lokomotive, der sich durch alle Wagen fortsetzt, kann man die Wirkung der Kompressionsfront in der Schallwelle vergleichen.

Die Lokomotive ist jetzt an den Zug ge-

Wie wirkt die Verdünnungs- zone?

koppelt und fährt an. Die einzelnen Wagen sind nicht starr aneinander befestigt; die Kupplungen sind elastisch mit den Wagen verbunden. Beim Anfahren bewegt sich zunächst nur der erste Wagen ein Stück nach vorn, und der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Eisenbahnwa-
gen vergrößert sich etwas. Die elasti-
sche Kupplung zieht dann den zweiten Wagen nach vorn und gleicht damit den Abstand zwischen den beiden ersten Wagen wieder aus. Jetzt ist aber der Abstand zwischen dem zweiten und dritten Wagen etwas größer geworden – wenigstens für einen kurzen Augen-
blick. Die kurzzeitige Vergrößerung des Abstandes zwischen den Wagen setzt sich ebenfalls durch die ganze Wagen-
reihe fort.

Mit Hilfe dieses Bildes können wir uns nun die Verdünnungszonen zwischen den Kompressionsfronten der Schall-
wellen anschaulich machen.



*So kann man eine Schallwelle sichtbar machen:
Wir schlagen vorsichtig ein Glas so an, daß es zu klingen beginnt. Halten wir nun ein Pendel an den Glasrand, beginnt es zu vibrieren.*

Wir nehmen eine Stimmgabel und befestigen sie mit einer Schraubklemme so an einem senkrechten Stab, daß die Zinken waagerecht liegen. Dann befestigen wir mit Siegelkack oder einem Klebstoff einen sehr

Können Schallwellen „schreiben“?

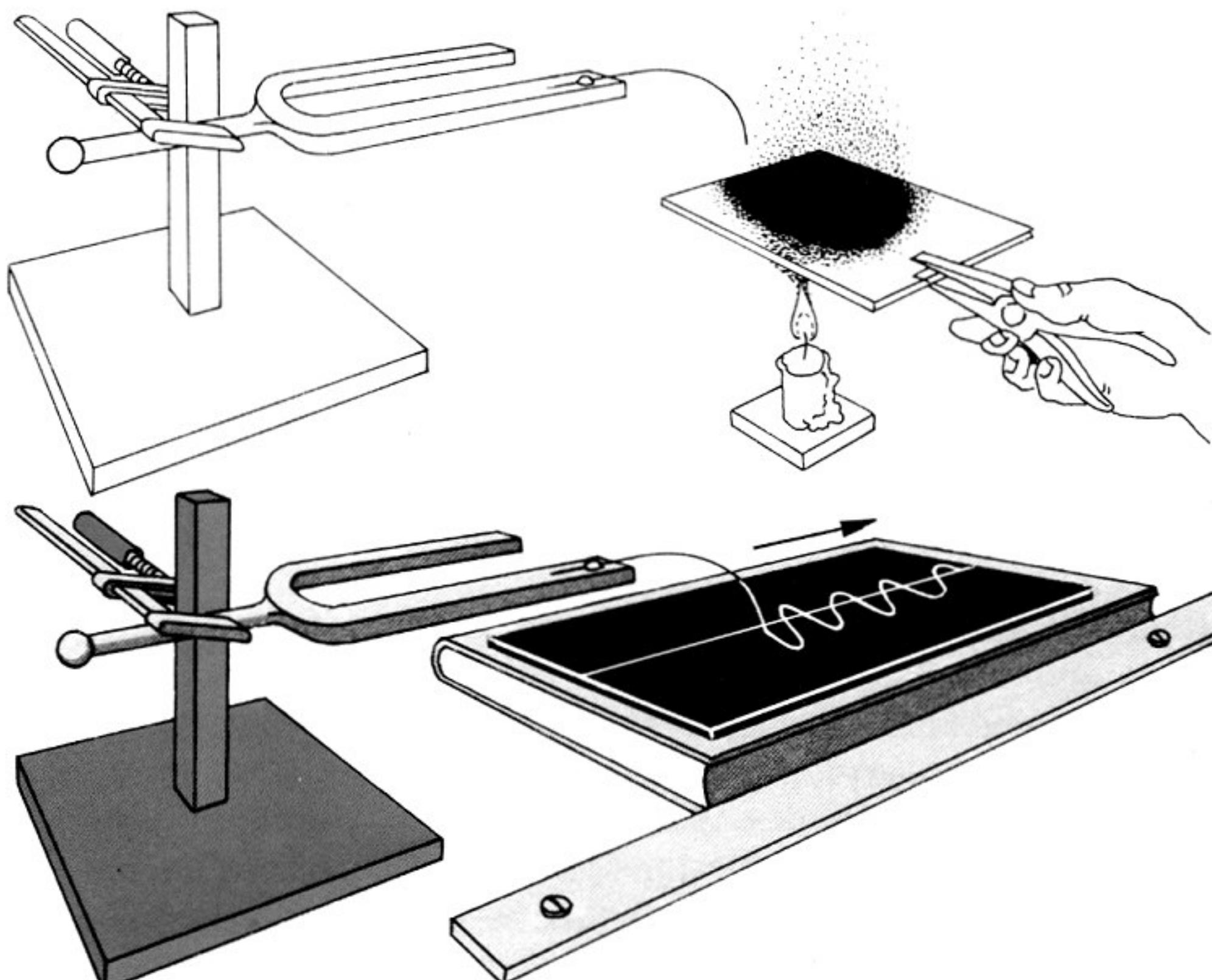
So wird ein weiteres Experiment vorbereitet: An einer Stimmgabel wird ein Draht oder eine Borste befestigt und die Gabel selbst an einem senkrechten Stab festgeklemmt. Dann geht der Aufbau weiter wie auf dem Bild rechts.

Jetzt wird die Stimmgabel angeschlagen und die angerußte Platte wird unter dem Draht vorbeigezogen — und wir erhalten ein „Autogramm“ der Stimmgabel.

dünnen Draht oder eine Borste an der oberen Fläche einer Zinke, und zwar so, daß der Draht über das Ende der Zinke hinausragt und nach unten zeigt (siehe die Abbildung oben). Als Schreibfläche verwenden wir eine Glasplatte, die wir vorher über eine brennende Kerze halten, bis die ganze Glasfläche gleichmäßig mit Ruß bedeckt ist. Wenn das geschwärzte Glas abgekühlt ist, legen wir es mit der rußigen Seite nach oben auf einen Bücherstapel. Dieser muß so hoch sein, daß das abwärts gebogene Ende des Drahtes oder der Borste leicht die Glasplatte berührt.

Nun legen wir an eine Seite des Bücherstapels ein langes Lineal als Führungsstange, um den Stapel in gerader Linie

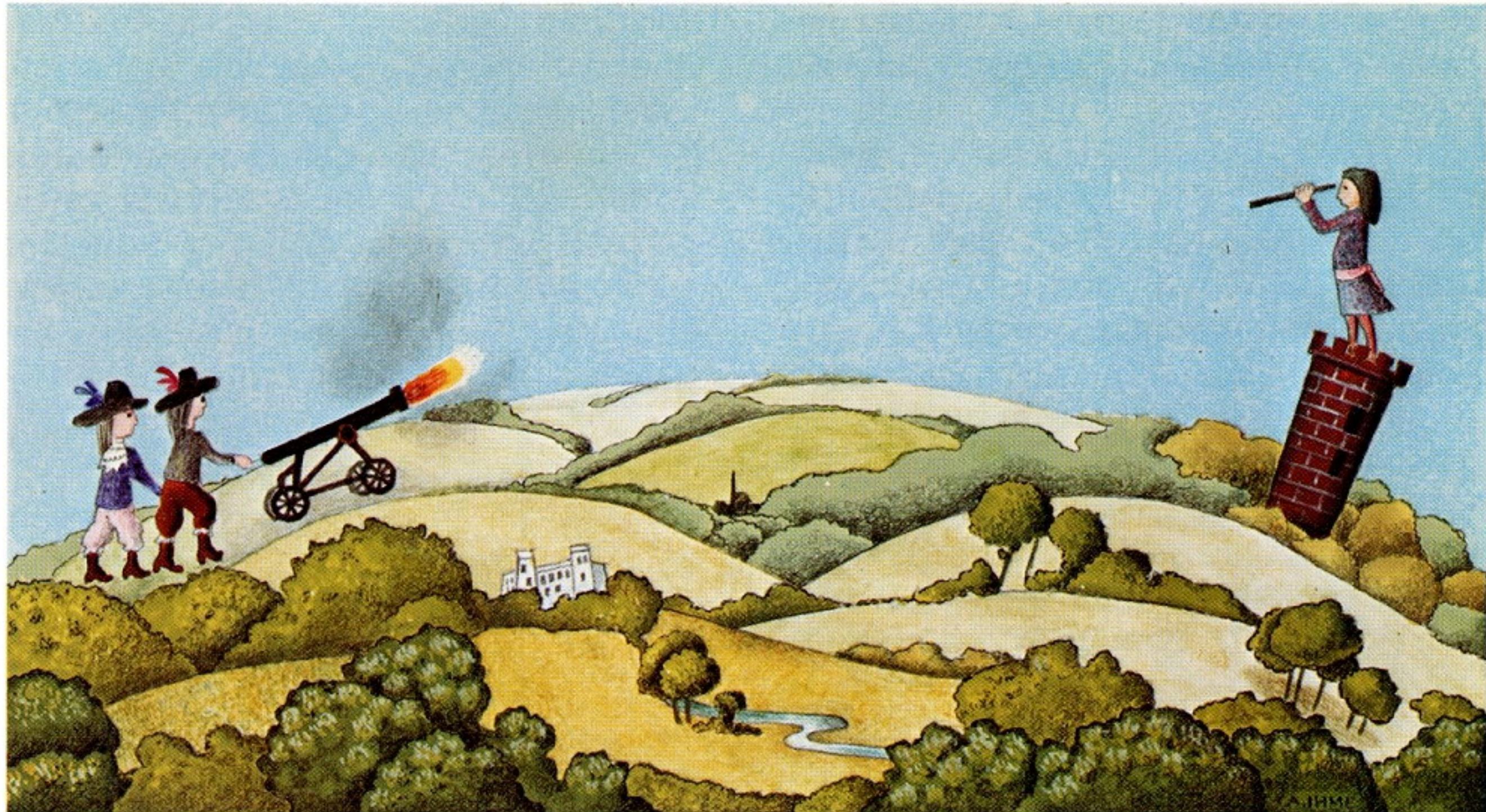
vor- und zurückziehen zu können. Zuerst ziehen wir jetzt den Stapel mit der Glasplatte langsam von der Stimmgabel fort, so daß das Drahtende eine gerade Linie auf die Glasplatte zeichnet. Wir heben das Drahtende an und schieben die Glasplatte wieder zurück: der Draht liegt wieder auf dem Ausgangspunkt unserer Linie.



Mit einem Bleistift schlagen wir nun die Stimmgabel an und ziehen die Glasplatte mit den Büchern abermals in gerader Linie langsam fort. Diesmal zeichnet das Drahtende eine Wellenlinie in den Ruß, die beiderseits der geraden Linie ausschwingt.

Wir haben also die graphische Darstellung einer Schallwelle, aufgezeichnet von der Schallquelle selbst. Die Kurven zu beiden Seiten der Geraden stellen die Kompressionsfronten dar, wie sie abwechselnd in die eine und andere Richtung ausgesandt werden. Zwischen den Fronten liegt immer eine Verdunstungszone.

Der Schall hat auf der Glasplatte gewissermaßen sein Autogramm gegeben.



18 Kilometer von seinem Beobachtungplatz auf einem Turm entfernt ließ Derham mehrere Male eine Kanone abfeuern und maß die Zeit, die zwischen dem Aufblitzen des Abschusses und dem Moment verging, in dem er den Abschußknall hörte. Mit 343 m/s war der Mittelwert seiner Messungen recht genau.

Wie man den Schall messen kann

Es gibt eine einfache Möglichkeit, die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft zu messen: In einer ruhigen Gegend parkt einer abends ein Auto,

Wie schnell ist der Schall?

und sein Begleiter stellt sich mit einer Stoppuhr genau einen Kilometer entfernt auf, aber so, daß er das Auto gut sehen kann. Nun schaltet der Autofahrer den Scheinwerfer an und drückt gleichzeitig auf die Hupe. Das Licht pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde fort; das sind auf diese Entfernung nur $\frac{1}{300\,000}$ Sekunde. Dieser Zeitraum ist so gering, daß man ihn nicht zu berücksichtigen braucht. Gemessen wird die Zeit, die von dem Aufleuchten der Scheinwerfer bis zu dem Moment vergeht, in dem der Hupton des Autos bei dem Messenden eintrifft. Das werden etwa drei Sekunden sein. Der Schall ist also etwa 330 m/sec schnell.

Wissenschaftler messen die Schallgeschwindigkeit natürlich genauer. Der erste, der dabei auf annähernd richtige Werte kam, war der Engländer William Derham (1657–1735). Er stieg auf einen hohen Turm und ließ eine genau 18 km entfernte Kanone abfeuern. Nun maß er die Zeit, die zwischen dem Aufblitzen des Mündungsfeuers und dem Moment verging, in dem er den Abschußknall hörte. Dieses Experiment wiederholte Derham mehrfach bei verschiedenen Windrichtungen. Der Mittelwert seiner Messungen ergab eine Schallgeschwindigkeit von 343 m in der Sekunde.

Später stellten andere Wissenschaftler fest, daß der Schall sich nicht immer gleich schnell ausbreitet. Bei einer Temperatur von 0° C hat er eine Geschwindigkeit von 331, bei +20° C von rund 343 m pro Sekunde.

Ist die Schallgeschwindigkeit immer gleich?

Das ist leicht zu verstehen: In einem kalten Medium bewegen sich die Moleküle langsamer und reagieren entsprechend langsamer auf die Energiestöße der Schallwelle – diese pflanzt sich also auch langsamer fort.

Weitere Messungen haben bewiesen, daß der Schall in flüssigen Stoffen schneller wandert als in der Luft oder in anderen Gasen. In festen Stoffen ist er sogar noch schneller. In 20° C warmem Wasser bewegt sich der Schall etwa viermal so schnell wie in der Luft: Er legt hier 1480 Meter in der Sekunde zurück. Ein noch besserer Schalleiter ist eine Eisenstange. In ihr wird er fast 17mal so schnell fortgetragen wie in der Luft (5800 m pro Sekunde).

Wir wissen jetzt, wie man mit dem Zeit-

Wie mißt man mit dem Schall Entfernungen?

unterschied zwischen Sehen und Hören die Schallgeschwindigkeit messen kann. Umgekehrt kann man

so auch die Entfernung einer Schallquelle, zum Beispiel eines Gewitters feststellen.

Was sind eigentlich Blitz und Donner? Der Blitz ist ein riesiger elektrischer Funke, der von einer Wolke auf eine andere oder auf die Erde überspringt.

Der Blitz verursacht nicht nur einen hellen Lichtschein, sondern auch große Hitze. Diese Hitze dehnt die umgebende Luft so stark aus, daß eine gewaltige Stoßwirkung entsteht. Eine mächtige Schallwelle dringt aus dem Bereich der erhitzten Luft und verbreitet sich nach allen Seiten. Wenn diese Schallwelle unser Ohr erreicht, hören wir Donner. Leuchtet der Blitz ganz in unserer Nähe auf, hören wir die Schallwelle als einen einzigen, ohrenbetäubenden Donnerschlag. Blitzt es in der Ferne, kann die Schallwelle von Wolke zu Wolke springen oder auch von Wolken zur Erde und erst dann unser Ohr erreichen. Wenn der Schall so von Wolken oder Bergen reflektiert wird, hören wir den Donner nicht als einen einzigen Schlag, sondern als längeres, tiefes Grollen.

Das Aufleuchten des Blitzes erreicht unser Auge fast unmittelbar; auf den Donner müssen wir noch ein Weilchen warten. Wenn wir die Sekunden vom Aufleuchten des Blitzes bis zum ersten Donnerschlag zählen und die Sekundenzahl dann durch drei teilen, wissen wir die ungefähre Entfernung des Blitzes in Kilometern. Wenn also vom ersten Aufleuchten des Blitzes bis zum Donnerschlag zehn Sekunden vergangen, ist der Blitz etwas mehr als drei Kilometer entfernt.

Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen

Die Schallgeschwindigkeit ist in festen Stoffen und Flüssigkeiten im allgemeinen wesentlich höher als in gasförmigen Stoffen wie Luft usw. Sie ist auch von der Temperatur abhängig; je wärmer der Stoff, desto größer die Schallgeschwindigkeit. So steigt sie zum Beispiel von 330 km/h in 0° C warmer Luft auf 340 km/h in 20° C warmer Luft. Im Wasser steigt sie von 1460 km/h bei 15° C auf 1480 km/h bei 20° C. In der folgenden Tabelle sind die Geschwindigkeiten des Schalls in verschiedenen Stoffen bei 20° C angegeben.

Kautschuk	35 m/s	Blei	1200 m/s
Kohlendioxid	260 m/s	Wasserstoff	1330 m/s
Sauerstoff	322 m/s	Benzol	1350 m/s
Luft	340 m/s	Quecksilber	1450 m/s
Stickstoff	345 m/s	Wasser	1480 m/s
Kork	500 m/s	Kupfer	3900 m/s
Helium	1005 m/s	Holz	bis 5500 m/s
Alkohol	1180 m/s	Eisen	bis 5800 m/s

Wenn wir von „hohen“ oder „tiefen“

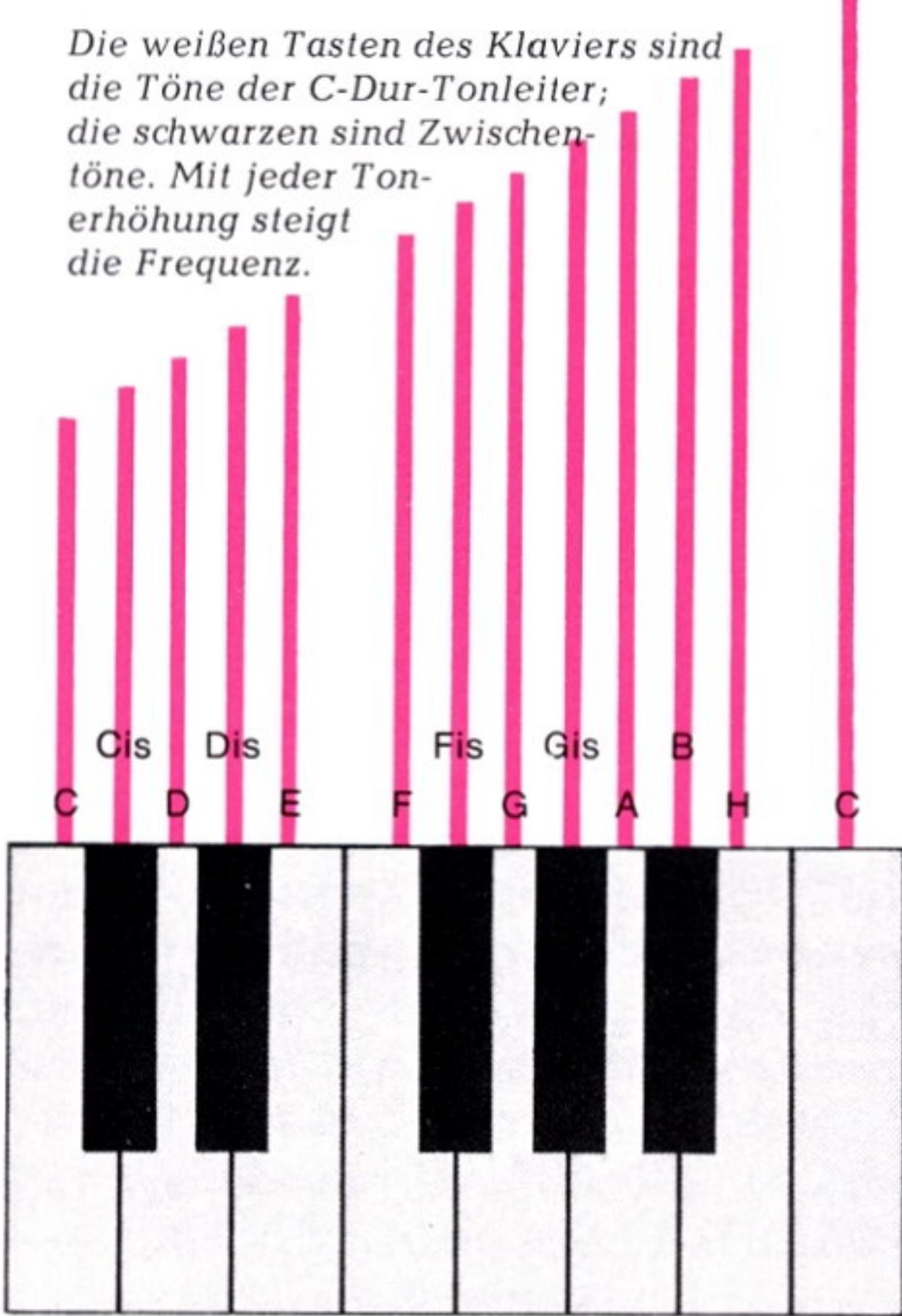
Warum ist ein Ton hoch oder tief?

wachsener. Eine Pikkoloflöte hat eine höhere Tonlage als eine Tuba. Die Laute eines Kanarienvogels sind höher als das Muhen einer Kuh. Die Tasten auf der rechten Klavierseite schlagen höhere Töne an als die auf der linken. Was bestimmt nun die Tonhöhe?

Sie hängt von der Anzahl der Schwingungen (Vibrationen) ab, die ein Gegenstand in einer Sekunde ausführt. Die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde nennt man *Frequenz* (lat. *frequentia* = Häufigkeit) eines Lautes. Je höher also die Frequenz, desto höher der Ton.

Die Frequenz eines Tones (und aller anderer Wellen) wird in *Hertz* gemessen, abgekürzt Hz. Diese Bezeichnung

Die weißen Tasten des Klaviers sind die Töne der C-Dur-Tonleiter; die schwarzen sind Zwischen- töne. Mit jeder Ton- erhöhung steigt die Frequenz.



wurde zu Ehren des deutschen Physikers Heinrich Hertz (1857–1894) gewählt, der das Gebiet der elektrischen Schwingungen erforscht hat. Ein Hz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde. 100 Hz entsprechen also 100 Schwingungen pro Sekunde, man kann auch sagen, eine Welle von 100 Hz hat die Frequenz 100. Ein Kilohertz (kHz) sind entsprechend 1000 Schwingungen pro Sekunde. Der Kammerton a zum Beispiel, der für alle Musikinstrumente gültige Meßton, wurde 1939 international auf 440 Schwingungen pro Sekunde festgelegt. Er hat also 440 Hz.

Wir wissen bereits, daß man Schwingungen durch eine Wellenlinie darstellen kann, wie wir es bei dem Versuch mit der geschwärzten

Glastafel gesehen haben. Wenn wir ausmessen, wie weit wir die Glasplatte in einer Sekunde fortbewegen und nach jeder Sekunde auf der festen Geraden ein Zeichen machen, können wir die Zahl der Wellenlinien zwischen diesen Zeichen zählen. Wir haben dann die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, also die Frequenz der Stimmgabel festgestellt.

Wir wollen jetzt die Wellenlinie nach den einzelnen Schwingungen aufteilen. Dazu machen wir einen senkrechten Strich an genau der gleichen Stelle jeder Welle. Die Entfernung zwischen den einzelnen Markierungen zeigt jetzt die *Wellenlänge* der Schwingung. Diese Wellenlänge ist von großer Bedeutung. Sie bestimmt die Höhe oder Tiefe des Tons. Je kürzer die Wellenlängen, desto höher ist die Anzahl der Schwingungen, also die Frequenz.

Wir wissen nun, daß eine hohe Frequenz einen hohen Ton ergibt; man sagt auch: Eine kurze Wellenlänge ergibt einen hohen Ton.

Die Pikkoloflöte hat eine hohe Tonlage, weil ihre Töne eine hohe Frequenz, also eine kurze Wellenlänge haben. Die Tuba besitzt eine tiefe Tonlage, weil ihre Töne eine tiefe Frequenz, eine lange Wellenlänge haben.



Je länger die Luftsäule, desto tiefer der Ton: Der Frequenzbereich der Tuba reicht von 500 bis 1000, der der Pikkoloflöte von 45 bis 4500.

Den Zusammenhang zwischen Ton-

Wie kann man mit einer Papp-scheibe Töne erzeugen?

höhe und Frequenz können wir auch mit einem anderen einfachen Experiment nachweisen. Wir schlagen mit einem Zirkel auf einem Stück Pappe um einen gemeinsamen Mittelpunkt zwei Kreise: einen mit 15 cm, den anderen mit 9 cm Durchmesser. Wir schneiden den äußeren Kreis aus. Dann schneiden wir eine beliebige Anzahl gleichmäßiger Zacken hinein, die bis an die innere Kreislinie reichen. Unser Pappstück sieht jetzt etwa aus wie ein Weihnachtsstern.

Nun nehmen wir einen gut angespitzten sechseckigen Bleistift. Wir bohren die Spitze langsam durch die Mitte der Papp Scheibe und schieben ihn bis zur Hälfte hindurch.

Aus kräftigem Draht biegen wir jetzt mit Hilfe einer Zange einen Ständer in der Form, wie sie die Abbildung auf Seite 16 zeigt. Den Bleistift mit der Papp Scheibe befestigen wir so auf dem Drahtgestell, daß er sich leicht dreht und nicht klemmt. Dann nehmen wir ein dünnes Rohr oder einen Strohhalm und drehen die Scheibe mit der Hand. Während sich die Scheibe dreht, blasen wir kräftig gegen die Zacken. Am besten macht man dies Experiment mit einem Freund zusammen, der die Scheibe dreht, während man selber bläst.

Wir werden feststellen, daß der Ton, der durch das Hindurchströmen der Luft durch die Zacken entsteht, um so höher wird, je schneller sich die Scheibe dreht. Dreht sich die Scheibe langsamer, wird der Ton tiefer. Wie kommt das?

Wenn sich einer der Ausschnitte vor dem Ende des Rohrs oder Strohhalmes befindet, kann die Luft, die wir hindurchblasen, ungehindert weiterfließen. Im nächsten Augenblick schiebt sich ein Zucken unserer Scheibe vor das Rohrende, der Luftstrom wird abgeschnitten. Gleich darauf erscheint wieder eine Öffnung vor dem Rohr und gibt dem Luftstrom freien Durchlaß, dann folgt wieder ein Zucken und so fort. Dadurch bekommt die Luft hinter der Scheibe rasch aufeinanderfolgende, regelmäßige Stöße, ganz ähnlich wie durch die Schwingungen eines Schallerregers.

Mit dieser Scheibe können wir den Zusammenhang zwischen Frequenz und Tonhöhe hörbar darstellen: Je schneller wir die Scheibe drehen, je mehr Stöße also die Luft hinter der Scheibe bekommt, desto höher ist der erzeugte Ton. Und wir können die Tonhöhe, also die Frequenz, selber ausrechnen: Wenn

Warum hängt die Tonhöhe von der Frequenz ab?



Die Tonhöhe hängt von der Frequenz ab. Je schneller sich das Rad dreht, desto höher ist der Ton.

die Scheibe zum Beispiel 12 Zacken hat und wir sie nun 10mal pro Sekunde drehen, hat der entstehende Ton die Frequenz $10 \text{ mal } 12 = 120$; der Ton hat also 120 Hz.

Die Funkstreifenwagen der Polizei in vielen Ländern erzeugen ihre an- und abschwellenden Heultöne nach einem ähnlichen Prinzip. Statt unserer sternförmigen Scheibe verwenden sie eine Lochsirene. Diese besteht aus einem Gehäuse, das nach oben hin durch eine drehbar gelagerte Scheibe abgeschlossen ist. Die Scheibe hat an ihrem Außenrand einen Kreis von Löchern. Wenn die Sirene eingeschaltet wird, strömt Druckluft in das Gehäuse. Gleichzeitig beginnt die Lochscheibe sich zu drehen, und zwar in wechselnder Geschwindigkeit, abwechselnd

Wie funktioniert eine Lochsirene?

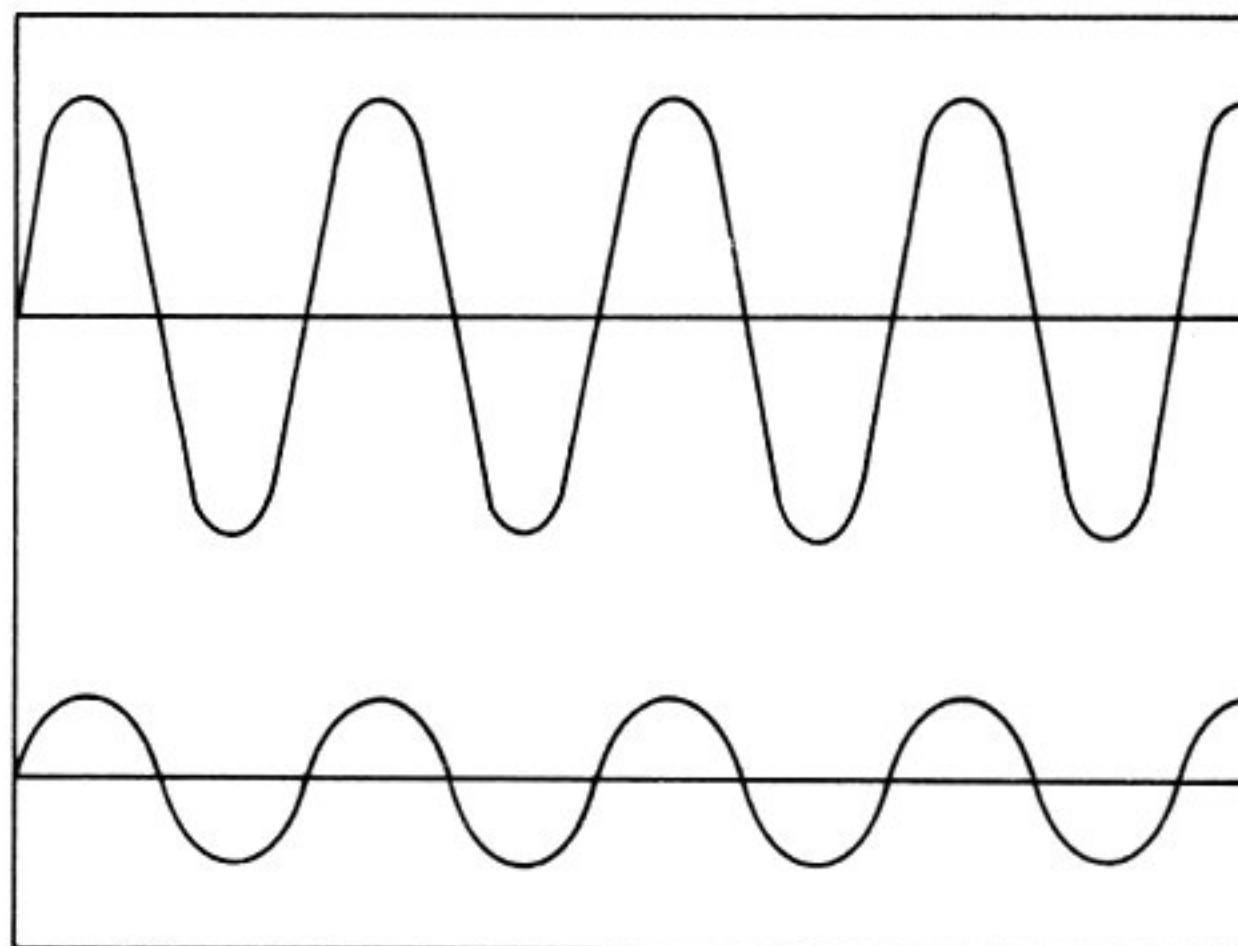
langsamer und schneller. Durch ein dünnes Rohr, das unmittelbar vor der Lochreihe endet, entweicht die Preßluft aus dem Gehäuse; jedes vorbeigleitende Scheibenloch gibt der Preßluft für einen kurzen Moment den Weg frei. So wirkt die Lochscheibe als Schallerreger und erzeugt durchdringende Heultöne. Je schneller die Scheibe sich dreht, desto schneller vibriert die Luft und desto höher ist der Ton; wird sie langsamer, sinkt die Tonhöhe. (*)

Ein Mensch kann den Ton einer Lokomotivpfeife oder einer Fabriksirene nachahmen, aber er wird niemals deren Lautstärke erreichen. Die Lautstärke hängt nämlich von der Men-

(*) Unsere Funkstreifenwagen benutzen keine Lochsirene, sondern Tonbänder mit aufgezeichneten Heultönen.

ge der Energie ab, die aufgewendet wird, um einen Ton zu produzieren. Wenn wir einen Ziegelstein auf einen Holzboden fallen lassen, wird ein stärkerer Laut erzeugt, als wenn nur ein Kiesel zu Boden fällt. Der Ziegel fällt mit mehr Energie auf den Boden als der kleine Stein. Wer zu nahe an einen Steinbruch herangeht, in dem gerade eine Dynamitladung detoniert, hört nicht nur den Knall der Explosion; er spürt am ganzen Körper einen Druck oder Stoß. Das ist die starke Kompressionswelle, die durch die große Energiemenge des Dynamits verursacht wird.

Wir wollen nun auch die Lautstärke mit Hilfe unserer rauchgeschwärzten Glasplatte untersuchen. Dazu schlagen wir



Je lauter der Ton, desto größer ist die Amplitude, also die Höhe des Wellenbergs. Oben: lauter Ton; unten: der gleiche Ton leise.

die Stimmgabel erst nur sachte mit dem Bleistift an und lassen sie auf der Glasplatte eine Wellenlinie ziehen. Nachdem wir den Bücherstapel wieder an seinen Ausgangspunkt zurückgeschoben haben, schlagen wir wieder gegen die Stimmgabel, aber diesmal kräftiger. Die Stimmgabel klingt wesentlich lauter! Wenn wir nun die Bücher mit der Glasplatte langsam fortziehen, werden wir feststellen, daß die Zinke der Stimmgabel nach beiden Seiten weiter ausgeschlagen hat: Die Kurvenlinie, die sie zeichnet, nimmt einen bedeutend

breiteren Raum ein als die, welche sie beim ersten Anschlagen hervorbrachte, als sie nur leise tönte.

Die Entfernung der äußeren Kurvenlinie von der Grundlinie nennt man die *Amplitude*. Laute Töne haben also größere Amplituden als leise.

Wenn man einen Gegenstand bewegt, leistet man Arbeit. Um eine Arbeit zu leisten, braucht man Energie. Damit die Zinken der Stimmgabel weiter ausschlagen, wird mehr Energie benötigt. Für einen lauten Ton braucht man also mehr Energie als für einen leisen Ton.

Wir wissen, daß ein Laut aus der Ferne

**Warum hören
wir ferne Laute
schwächer?**

schwächer zu hören ist als in der Nähe. Das Motorgeräusch eines näherkommenden Flugzeugs wird immer stärker und schwächt sich erst ab, wenn das Flugzeug vorbeigeflogen ist. Je weiter sich ein Laut von seiner Schallquelle entfernt, desto schwächer wird er. Wir wissen: Schall ist Energie in Form eines Anstoßes, der in der Luft oder in festen Stoffen Wellenbewegungen auslöst. Um etwas zu bewegen, braucht man Energie. Die Energie der Schallwelle wird nun auf um so mehr Moleküle verteilt, je weiter sie sich vom Entstehungsort entfernt. Erinnern wir uns an das Kanonenschuß-Experiment des William Derwall! Als er den Knall hörte, hatte sich die Energie auf einen Umkreis von 18 km um die Kanone gleichmäßig verteilt. Nur ein winziger Bruchteil der ursprünglichen Energie gelangte noch an sein Ohr. Weniger Energie bedeutet aber geringere Lautstärke – Derwall hörte den Kanonenschuß leiser.

Auch die Windrichtung beeinflußt die Lautstärke: Bei Gegenwind bringt die Schallwelle, wenn sie sich einen Kilometer fortgepflanzt hat, mehr Luftmoleküle zum Schwingen als bei Windstille



Startende Rakete	150
Schmerzschwelle	130
Autohupe (Abstand 1 m)	110
Motorrad ohne Schalldämpfer	100
Schreien	80
mittlerer Straßenverkehr	70
lautes Sprechen	60
schwacher Straßenverkehr	50
Radio Fernseher Normalstärke	40
Ticken einer Standuhr	30
Flüstern	20
Blätterrauschen	10
Absolute Stille	0

oder gar, wenn sie sich in Windrichtung ausbreitet. Der Knall eines Kanonschusses oder der Ruf eines Freundes ist also mit dem Wind weiter zu hören als gegen den Wind.

Die Lautstärke, mit der wir einen Ton oder ein Geräusch hören, wird in der Einheit *Phon* (phone, griech. = Ton) gemessen. In der folgenden Tabelle sind die Phon-Zahlen mehrerer Töne und Geräusche angegeben.

Wir nehmen zwei Stimmgabeln mit dem gleichen Stimmton. Wir stellen die eine aufrecht auf den Tisch und lassen die andere ebenso von einem

Freunde halten – die Zinken müssen frei bleiben. Wir schlagen die eine Gabel an und lassen sie vibrieren. Nun beginnt auch die zweite Gabel zu vibrieren und zu tönen.

Was geschieht, wenn wir das gleiche mit zwei Stimmgabeln versuchen, die nicht den gleichen Stimmton haben? Die angeschlagene Stimmgabel bringt die andere nicht zum Tönen. Warum? – Die Schallwellen, die von der angeschlagenen Gabel ausgehen, stoßen zwar auf die zweite Gabel, bleiben aber wirkungslos, weil sie eine andere Frequenz haben. Sie können die zweite Stimmgabel nur zum Tönen bringen, wenn sie die gleiche Tonhöhe und damit auch die gleiche Frequenz hat. Wenn ein Gegenstand durch einen anderen zum Vibrieren gebracht wird, sagt man, daß zwischen beiden eine *Resonanz* (lat. resonare = widerhallen) besteht.

Jeder Gegenstand hat seine *Eigenfrequenz*. Sie hängt von der Form und

Auf der Tabelle sind die Lautstärken mehrerer Töne und Geräusche verzeichnet. Die Aufstellung beginnt mit 0 Phon (absolute Stille) und geht über die Schmerzschwelle (130 Phon) bis zu 150 Phon beim Start einer Rakete.

Größe des Gegenstandes ab und von dem Material, aus dem er besteht. Jeder hat wohl schon einmal in einem ruhigen Raum gesessen und erlebt, daß plötzlich eine Fensterscheibe zu summen begann oder daß ein anderer Gegenstand – der Deckel einer Zuckerdose oder einer Kristallschale – anfing zu klingen. Diese Gegenstände

und eine Münze oder einen anderen kleinen festen Gegenstand auf die Notenleiste. Nun schlagen wir alle Töne des Klaviers der Reihe nach an. Einmal werden wir einen Ton treffen, der die Münze vibrieren läßt; ein anderer Ton wird die Stecknadel in Schwingungen versetzen. Jeder Gegenstand wird also durch einen bestimmten Ton in Schwin-



Der amerikanische Jazzsänger und -trompeter Louis Armstrong (1900—1971) war der unangefochtene König des Jazz. Der Ton, den er seinem Instrument entlockte, war jedoch nicht der Ton, den er mit Lippen und Mundstück entstehen ließ, sondern eine Folge der Resonanz: Wenn Armstrong durch seine Lippenbewegungen das hölzerne Mundstück zum Vibrieren brachte, schwang die Luftsäule in der Trompete mit und erzeugte die Schallwellen, die ihrem Erzeuger weltweiten Ruhm einbrachten.

vibrierten, weil die Schallwellen eines entfernten Geräusches in ihnen Resonanz erzeugten. Die Schallwellen drangen durch die Erde oder Mauern bis an die Fensterscheibe oder die Zuckerdose.

Am besten können wir das Wirken der Resonanz an einem Klavier veranschaulichen. Wir legen eine Stecknadel

gungen versetzt und vibriert schnell. Es kann aber auch geschehen, daß ein einziger Ton alle Gegenstände auf der Notenleiste gleichzeitig vibrieren läßt. Dann hat ein bestimmter Ton Resonanz in der Notenleiste erweckt, und die auf ihr liegenden Gegenstände werden durch die Vibration der Leiste mitbewegt.

In der Bibel finden wir die Geschichte

Wie eroberte Josua die Stadt Jericho?

von Josua, dem Heerführer der Israeliten, der mit seinen Scharen gegen die von dicken Mauern umgebene Stadt Jericho zog. Als das Heer vor der Stadt ankam, befahl Josua seinen Soldaten, mit lautem Kriegsgeschrei um die Mauern herumzumarschieren und die Trompeten zu blasen. Durch den gewaltigen Lärm sollen die Mauern der Stadt eingestürzt sein. Was soll man heute von dieser merkwürdigen Erzählung halten? Nach allem, was wir über die Kraft der Schallwellen gehört haben, erscheint sie uns durchaus nicht unmöglich. Natürlich kann man allein durch Trompetenstöße nicht jede Mauer zum Einsturz bringen; aber unter besonderen Umständen können rhythmische Schallwellen schon einige Schaden anrichten. Wir können uns die Geschichte etwa folgendermaßen vorstellen: Die Armee Josuas marschierte in breiten Reihen um die

Stadt herum. Tausende von Füßen stampften im Gleichschritt den Boden. Bei jedem Schritt schrien die Männer: „Ho!“ Gleichzeitig erscholl jedesmal ein ohrenbetäubender Fanfarenstoß. Welch eine mächtige Schallwelle muß auf die Mauern zugerollt sein! Wenn ihre Schwingungen eine günstige Resonanz in den Mauern der Stadt fanden, konnten sie diese vielleicht erschüttern. Vielleicht waren die Mauern auch schon schadhaft, so daß durch die Schallwellen einzelne große Steine erzitterten und sich aus dem Mörtel lösten. Ein Zusammenhang zwischen dem Kriegslärm und dem Einsturz der Mauern muß wohl bestanden haben, sonst hätte man die Geschichte nicht in dieser Form überliefert.

Soldaten, die über eine Brücke marschieren, dürfen nicht im Gleichschritt gehen. Wenn der Rhythmus ihrer Schritte eine Resonanz in der Brücke findet, kann sogar eine Stahlbrücke einstürzen. Ebenso ist eine vollbesetzte Tribüne durch das rhythmische Klatschen der Zuschauer gefährdet.



Die biblische Geschichte von den Trompeten, die die Mauern von Jericho zum Einsturz gebracht haben sollen, diente vielen Malern als Motiv. Das Bild links ist ein Ausschnitt aus einem Holzschnitt des Franzosen Gustave Doré, einem berühmten Künstler des 19. Jahrhunderts.



Fledermäuse sind Nachtiere, die ihre Beute auch in tiefster Dunkelheit fangen. Sie brauchen kein Licht, da sie mit den Ohren „sehen“. Sie stoßen hohe Schreie aus; am Echo erkennen sie, wo die Beute ist.

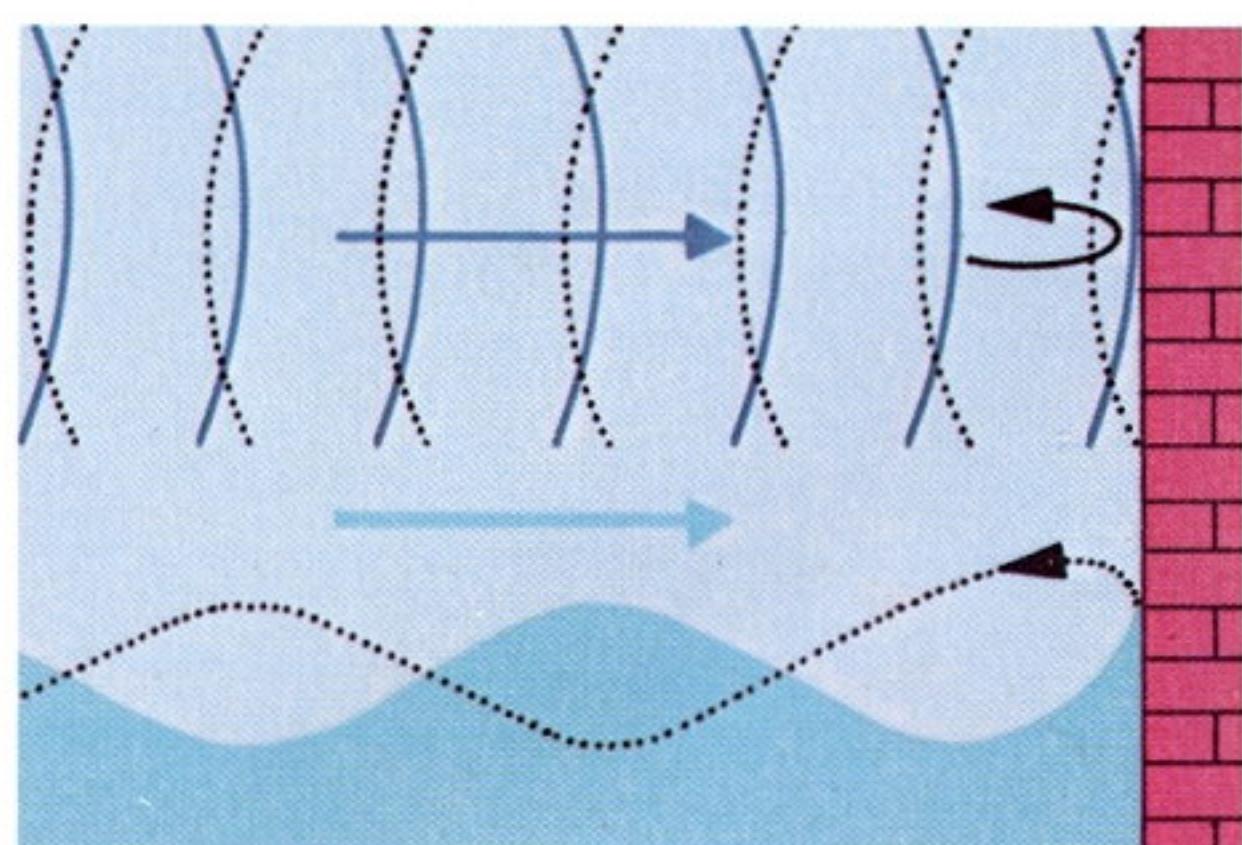
Reflektierter Schall

Den Widerhall, also den von einem Hindernis zurückgeworfenen (reflektierten) Schall, bezeichnen wir als Echo. Das Hindernis kann ein Berg, eine Hauswand, ein Waldrand oder jede andere verhältnismäßig geschlossene Fläche sein, auf die der Schall in einem bestimmten Winkel trifft. Das Echo ist schwächer als der Originalton, weil dieser auf seiner Hin- und Herreise Energie verloren hat.

Die Bezeichnung stammt aus der griechischen Mythologie: Echo hieß eine liebliche Nymphe, die von der eifersüchtigen Göttin Hera ihrer eigenen

Was ist ein Echo?

Stimme beraubt wurde, so daß sie nur noch die letzten Worte einer Rede wiederholen konnte; seitdem lebt Echo verborgen in Wäldern und Schluchten.



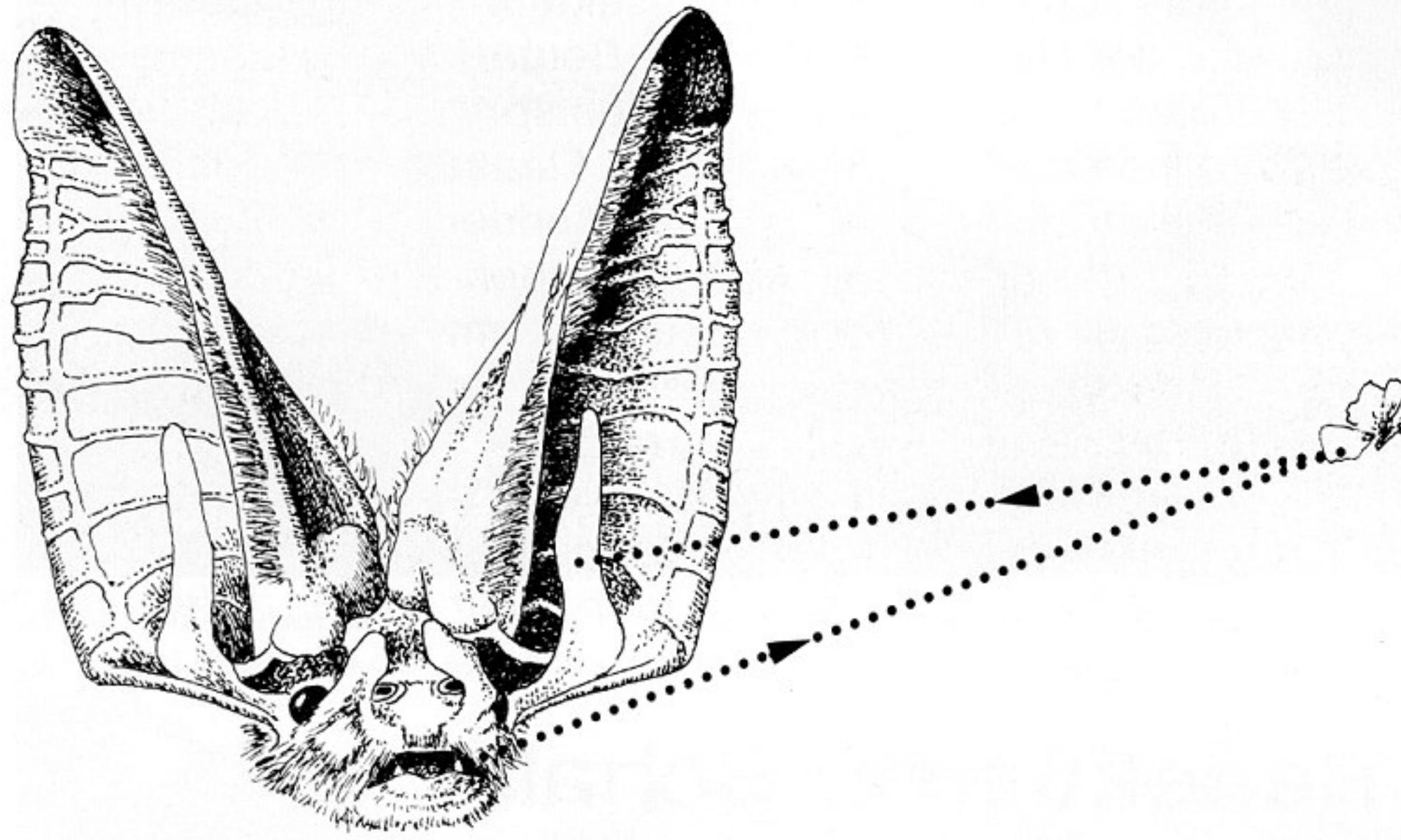
Schallwellen werden wie Wasserwellen von Hindernissen zurückgeworfen. Den reflektierten Schall hören wir als Echo.

Wenn wir ein Echo hervorrufen und es von unserem Ruf unterscheiden wollen, müssen wir mindestens 33 m vom Hindernis entfernt sein,

weil sonst Originalton und Echo zeitlich fast zusammenfallen und nicht zu unterscheiden sind. Die Fledermaus braucht dafür nicht einmal einen Meter! Die Fledermäuse sind Insektenfresser. Sie fangen abends oder nachts ihre Beute im Flug. Bis vor einigen Jahrzehnten war es den Menschen ein Rät-

se es ihnen möglich ist, allein mit Hilfe des Gehörs ihre schnelle Beute zu finden, konnte er nicht herausfinden. Erst anderthalb Jahrhunderte später gelang den Wissenschaftlern die Lösung dieses Rätsels.

Im Jahre 1932 stellte der holländische Zoologe Sven Dijkgraf fest, daß ein leichter klickender Laut, den die Fledermäuse ausstoßen, den Tieren beim Aufspüren der Jagdbeute hilft. Einige Jahre später entdeckten die amerikanischen Forscher Donald R. Griffin und Robert Galambos, daß Fledermäuse eine ganze Reihe von Tönen erzeugen.



Ein besonders guter Jäger ist die Langohrfledermaus. Mit ihren riesigen Ohrmuscheln — sie sind länger als der ganze übrige Körper — findet sie sogar noch winzige Insekten auf einem Blatt.

sel, wie die Fledermäuse ihre winzigen Beutetiere, die Mücken und Nachtmotten, im Dunkeln finden und fangen können. Schon vor fast 200 Jahren versuchte der italienische Naturwissenschaftler Lazarro Spallanzani, dies Geheimnis zu erforschen. Er spannte in einem dunklen Versuchsraum viele senkrechte Fäden — die Fledermäuse flogen hindurch, ohne anzustoßen. Auch als er bei einigen Tieren das Sehvermögen ausschaltete, wichen sie geschickt jedem Faden aus. Erst als er ihnen die Ohren verstopfte, war ihr Orientierungsvermögen gestört.

Spallanzani erkannte, daß das Gehör für die Fledermäuse das wichtigste Sinnesorgan ist. Aber auf welche Wei-

Aber alle diese Laute — ausgenommen die Klicktöne — sind so hoch, daß der Mensch sie nicht hören kann. Man begann zu ahnen, daß erst das Zusammenwirken von Mund und Ohren die Fledermaus befähigt, in der Finsternis Gegenstände wahrzunehmen und Beute zu machen.

Wenn wir an einem Sommerabend Fledermäuse beobachten, erscheinen sie uns als fast lautlose Nachttiere. Von ihren Jagdlauten hören wir nur den tiefsten, nämlich den Klicklaut. Wer den Klicklaut gern hören möchte, muß abends in der Nähe von Fledermäusen kleine Kiesel oder feuchte Wattebausche in die Luft werfen. Klick! stürzen sich die Tiere auf die Köder.

Eine merkwürdige Vorstellung, daß die

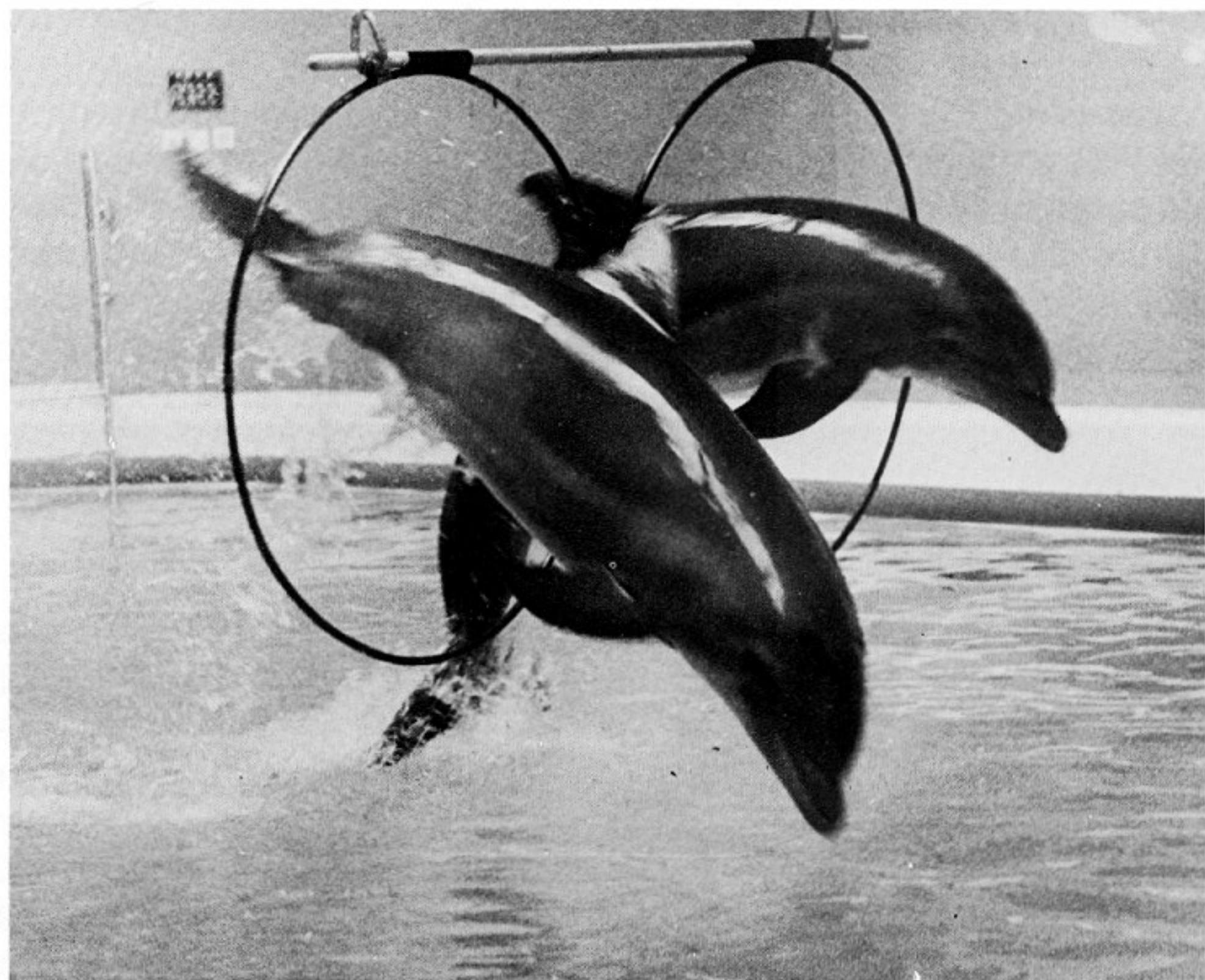
Wie nutzt die Fledermaus den Schall?

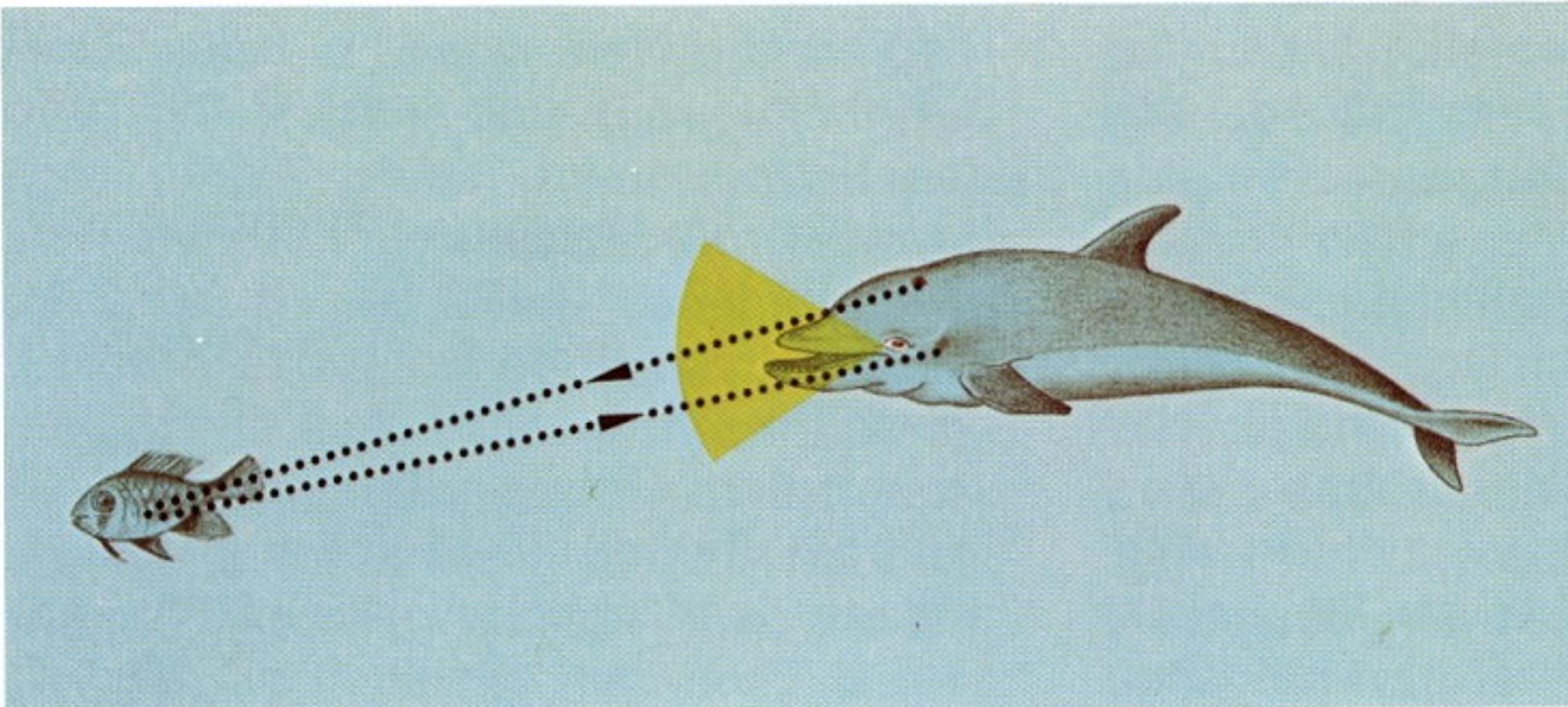
es ihnen ermöglicht, nennt man *Echoorientierung*. Tatsächlich richten sich die Fledermäuse bei ihrem Flug nach dem Echo, und bei ihrer Nahrungssuche reagieren sie auf das schwache Echo, das ein winziger Käferkörper zurückwirft. Die Fledermaus stößt beim Fliegen ständig sehr hohe Peiltöne aus, die eine Frequenz von 30 000 bis 70 000 Hz haben. Die einzelnen Laute der Fledermaus sind erstaunlich kurz; sie dauern weniger als $\frac{1}{1000}$ Sekunde und werden zehn- bis zwanzigmal in der Sekunde wiederholt. Wenn dieser Schall auf ein Insekt stößt, wird er zurückgeworfen, und die Fledermaus kann ihn hören. Jetzt stößt das Tier diese Laute in immer schnellerer Folge aus – bis zu 250mal in der Sekunde. Es folgt dem Echo und findet so das Beutetier. Wie außerordentlich präzis

reagiert die Fledermaus auf die Echo! Sie nimmt wahr, aus welcher Richtung das Echo kommt; seine Stärke sagt ihr, wie groß das Beutetier ist; wie weit es entfernt ist, „mißt“ sie an der Zeit, die das Echo ihres Peiltones braucht, bis es ihr Ohr erreicht. Aus allem, was sie mit dem Gehör aufnimmt, entsteht in ihrem Gehirn ein räumliches „Bild“, auf das sie blitzschnell reagiert. An diesem Bild erkennt sie auch die Gestalt des Angepeilten und stößt darum auch in dunkelster Nacht niemals gegen ein Hindernis.

Eine Fledermaus fängt in einer Nacht so viele Insekten, daß das Gesamtgewicht ihrer Beute ihrem eigenen Körpergewicht entspricht. Man hat errechnet, daß die Fledermaus in der Nacht alle sechs Sekunden ein Insekt fängt. Als Abwehr gegen die Jagdweise der Fledermäuse entwickelten einige Nachtfalterarten ein Gehör, das auf den Wellenbereich ihrer Jäger abgestimmt ist. Wenn ein solcher Falter den Schrei einer Fledermaus hört, läßt er sich sofort zu Boden fallen, um seinem Jäger zu entgehen.

Auch Delphine finden ihre Beute, indem sie Über-Schallwellen vor sehr hoher Frequenz aussenden und deren Echo auswerten. Nach der Methode des Echolots finden sie selbst sehr entfernte Beutetiere. Delphine sind im Wasser lebende Säuger und gelten als die intelligentesten Tiere der Welt. Mit ihrem freundlichen Wesen und ihren Kunststücken erfreuen sie in Delphinarien zahllose Zuschauer in aller Welt.





Mit seinen Peilsignalen erzeugt der Delphin Schallwellen von verschiedenen Frequenzen. Mit langen Wellen „sieht“ er alle größeren Objekte auf große Entfernung. Um feinere Einzelheiten zu erkennen, sendet er Wellen mit hoher Frequenz aus. Sein Sehvermögen reicht nur etwa 1,50 m weit.

Nicht weniger erstaunlich – und ganz ähnlich – ist das Orientierungsvermögen der Delphine. Delphine sind hochintelligente Säugetiere, die im

Wasser leben. Man hat festgestellt, daß sie sich mit einer vielfältigen Pfeifsprache verständigen. Zur Orientierung geben sie verschiedene grunzende, klikkende und ratternde Laute von sich. Ihre Beute finden sie im Gegensatz zu den Fledermäusen auch mit geschlossenem Maul.

Mit Hilfe des Echos können Delphine jedem Hindernis ausweichen und auf 50 m Entfernung unterscheiden, ob ein angepeilter Fisch zu einer Art gehört, die ihnen schmeckt oder zu denen, die sie verschmähen.

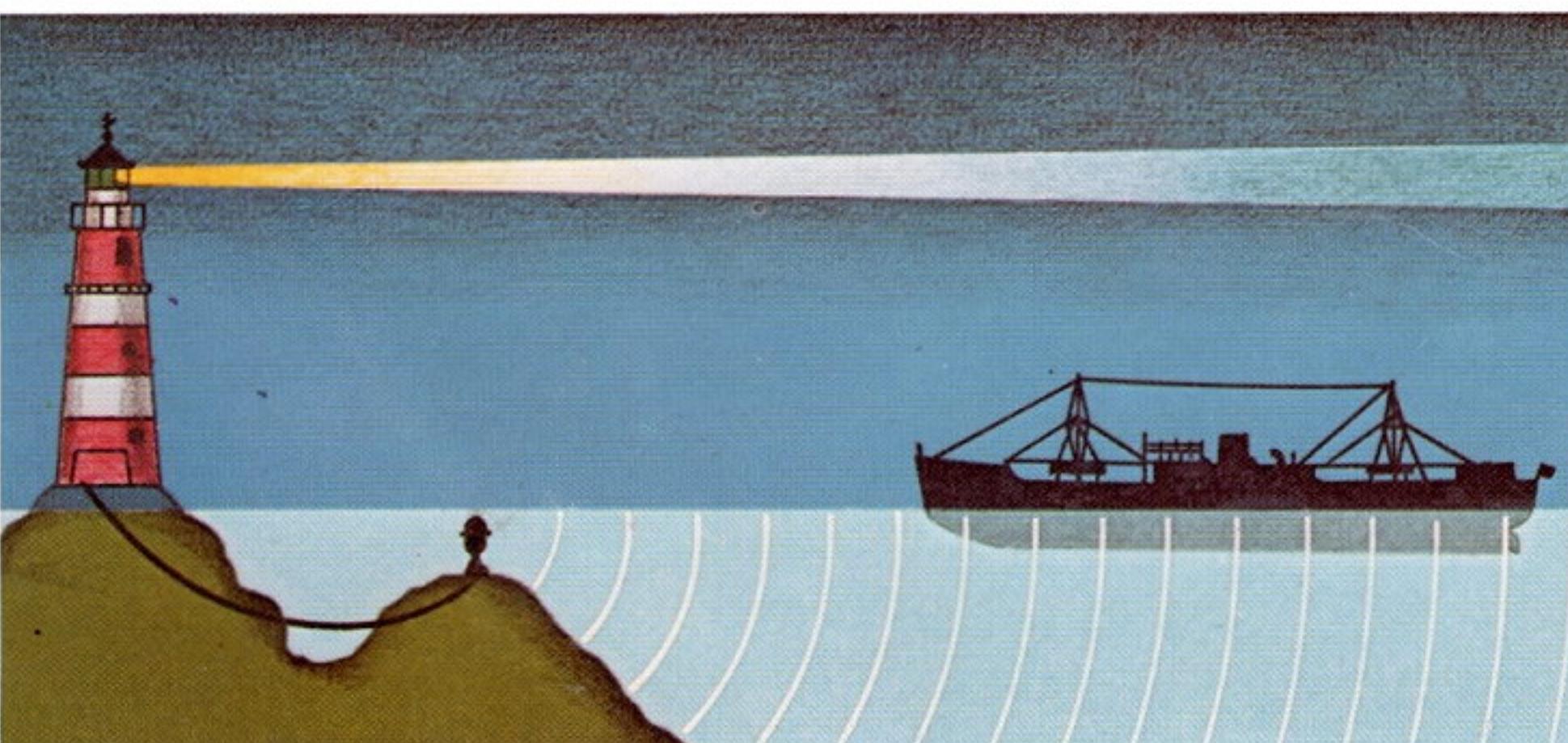
Außer Fledermäusen und Delphinen gibt es noch einige andere Tierarten, die sich mit Echopeilung orientieren:

Höhlenbewohnende Vögel und auch einige Spitzmäuse. Am höchsten entwickelt aber ist diese Fähigkeit bei den Fledermäusen.

Als im Ersten Weltkrieg die ersten Unterseeboote eingesetzt wurden, fiel den U-Boot-Zerstörern die schwierige Aufgabe zu, diese Boote

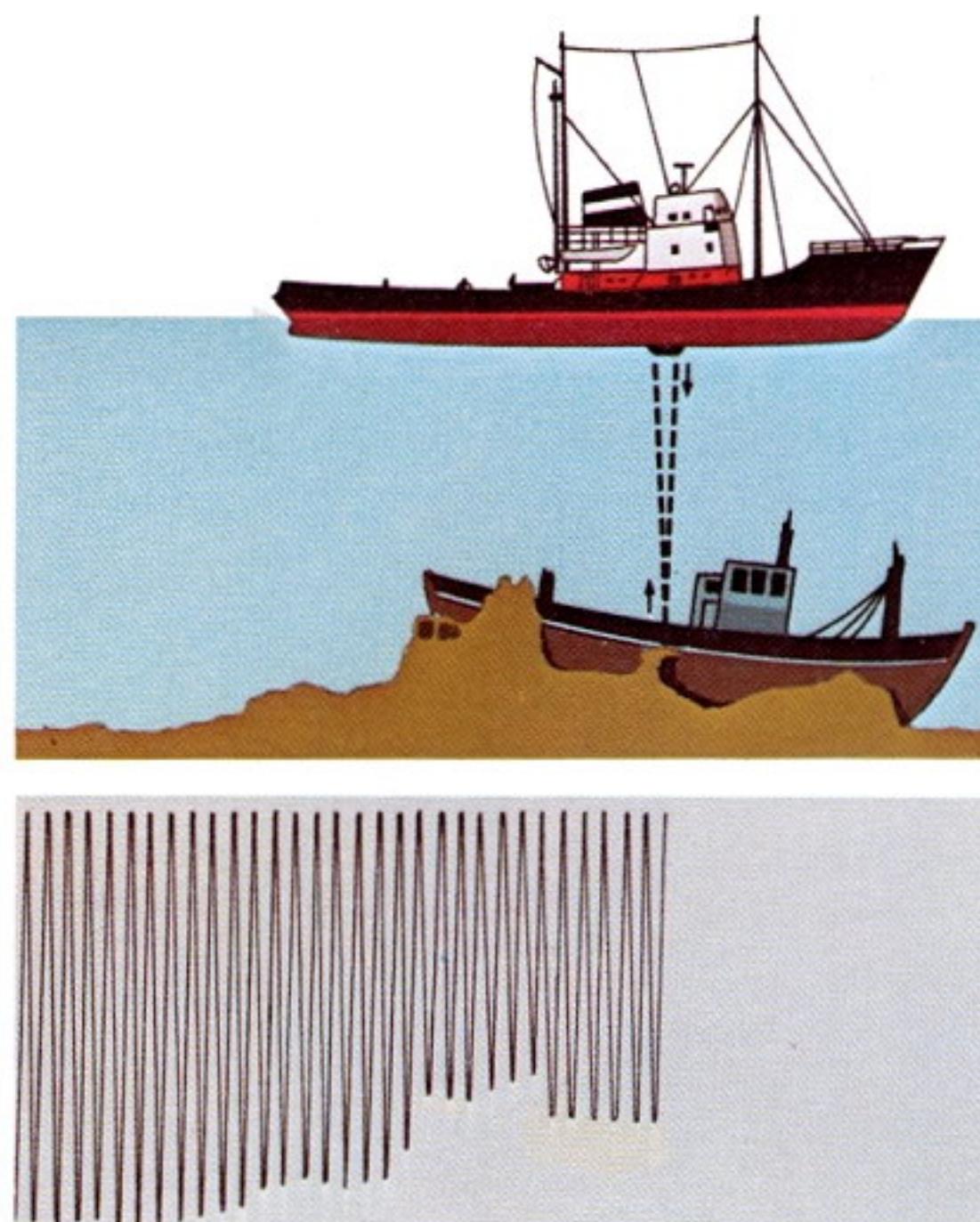
im Wasser ausfindig zu machen. Die Wissenschaftler lösten das Problem mit Hilfe der Schallortung.

Zuerst senkte man vom Schiff aus empfindliche Schallempfangsgeräte ins Meer. Man wollte damit die Geräusche des U-Boots auffangen. In flachen Gewässern fanden die verfolgten U-Bootfahrer eine wirksame Gegenmaßnahme: Sie manövrierten ihr Boot auf den Meeresgrund, stellten alle Maschinen ab – und waren „verschwunden“.



Unterwasserglocken waren die Vorläufer des heutigen Sonar. Sie waren auf gefährlichen Untiefen vor den Küsten angebracht und erzeugten Schallwellen, die sich 25 km weit ausbreiteten. Schiffe nahmen die Wellen mit Bordmikrofonen auf und konnten den Untiefen ausweichen.

Wie man mit dem Schall ein Wrack findet

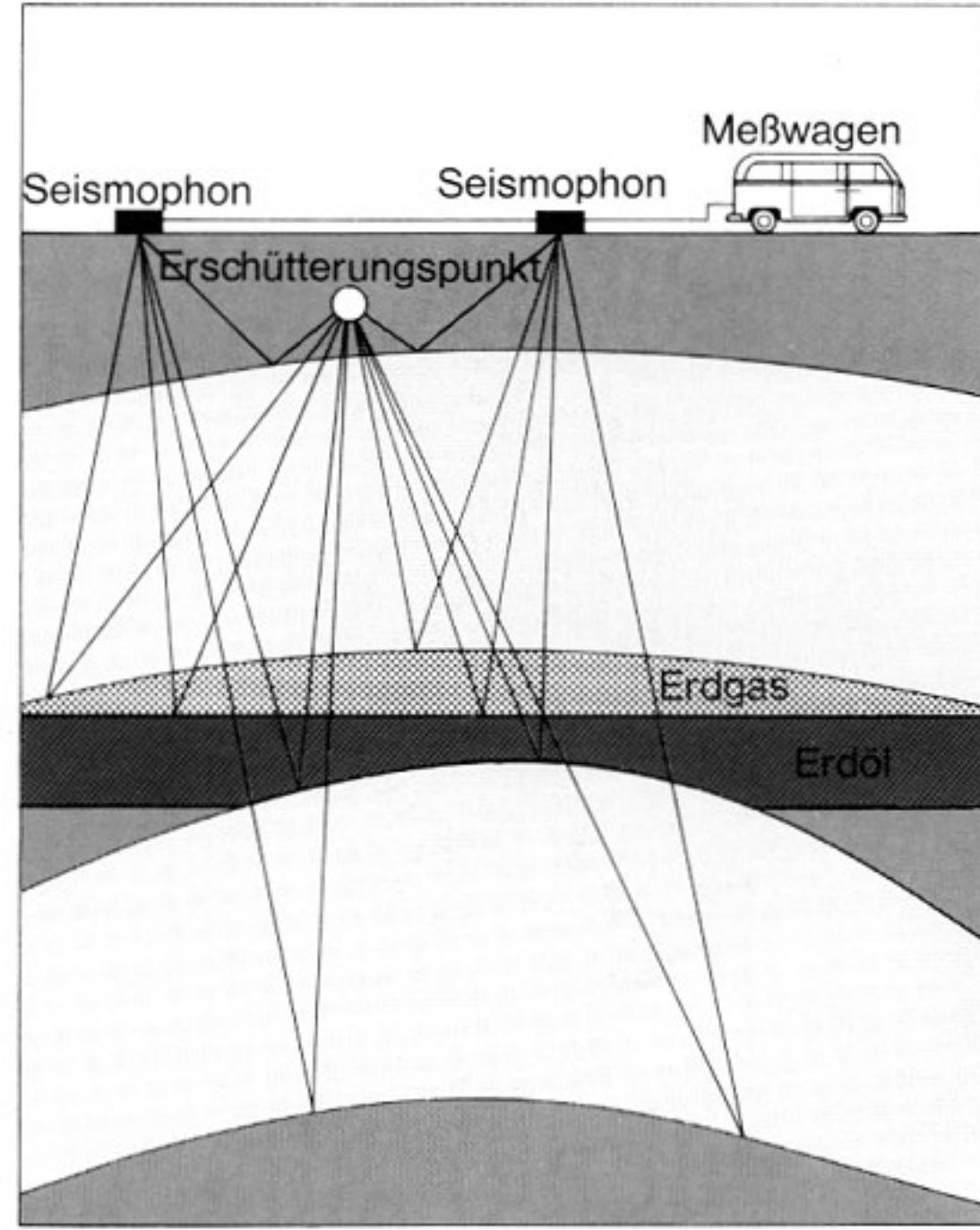


Die Gegend, in der man das gesunkene Schiff vermutet, wird von einem Suchfahrzeug abgefahren. Dabei vermisst ein Sonargerät dauernd die Meerestiefe. So entsteht auf einem Bildschirm und einem Streifenschreiber ein genaues Bild vom Verlauf des Meeresbodens. Wenn das Schiff über das Wrack hinwegfährt, zeichnet sich dessen Silhouette gegenüber dem Meeresgrund deutlich ab – das Wrack ist gefunden.

Später verbesserte man die Suchmethoden und erfand ein Gerät, das mächtige Schallwellen aussenden konnte und mit einem hochempfindlichen Empfänger gekoppelt war. Das erste Gerät sandte einen Strahl kurzer Laute aus, und der Empfänger nahm das Echo dieser Laute auf, das von einem Gegenstand unter Wasser zurückgeworfen wurde.

Moderne U-Jäger sind mit Sonar-Geräten ausgestattet. Das sind Suchgeräte, die die Umgebung mit dicht gebündelten Schallwellen von außerordentlich hoher Frequenz wie mit Scheinwerfern abtasten. Die vom U-Boot reflektierten Wellen werden von Unterwassermikrofonen aufgefangen und

Wie man mit dem Schall Erdöl findet



Um unterirdische Öllager zu finden, bedient man sich heute meist des Seismophons. Dicht unter der Erdoberfläche wird eine kleine Explosion ausgelöst. Ihre Schallwellen werden von den verschiedenen Erdschichten verschieden schnell weitergeleitet und reflektiert. Aus den Laufzeiten und Austrittsrichtungen der reflektierenden Schallwellen können Geologen die genaue Lage und Größe des Erdölfeldes erkennen.

ausgewertet. Sie zeigen nicht nur die Entfernung zum U-Boot an, sondern auch die Richtung, in der es liegt.

Sonar und andere Schallortungssysteme werden natürlich auch zu friedlichen Zwecken benutzt. Man verwendet sie zum Beispiel, um die Tiefe von Schiffahrtswegen auszuloten.

Dabei wird der Schall vom Schiffsbug senkrecht auf den Meeresgrund geschickt und von dort als Echo zum Schiff zurückgeworfen. Aus der Zeit, die der Schall hin und zurück braucht, kann man die Meerestiefe errechnen.

Wie misst man die Meerestiefe?

In der Hochseefischerei verwendet man die Fischlupe: Der von den Fischen reflektierte Impuls zeigt auf einem Leuchtschirm Größe und Standort eines Schwarmes an. Auch Schiffswracks, die unter der Wasseroberfläche liegen, werden mit dem Echolot geortet. Leider kann man das Echolot nicht verwenden, um die gefährlichen, unter Wasser befindlichen Teile eines treibenden Eisbergs zu orten: Eis unterscheidet sich nicht genügend von Wasser und reflektiert den Schall nicht, sondern leitet ihn weiter.

Den Geologen war bekannt, daß Schallwellen verschiedene Arten von Stein und Erde verschieden schnell durchdringen und daß die Schwingungen von festen Felsen gut, von lockerer Erde dagegen schlecht reflektiert werden. Auf diesem Wissen fußend, entwickelten Ingenieure das Seismophon, mit dem man Öllager und Torfvorkommen tief unter der Erdoberfläche feststellen kann: Man löst eine kleine Explosion aus, deren Schallwellen in die Erde eindringen und von den verschiedenen Erdschichten verschieden schnell und deutlich zurückgeworfen werden. Das Seismophon zeichnet die Echowellen auf. Aus ihnen können die Geologen errechnen, ob und wo sich Torf-, Öl- oder gar Erzlager befinden.

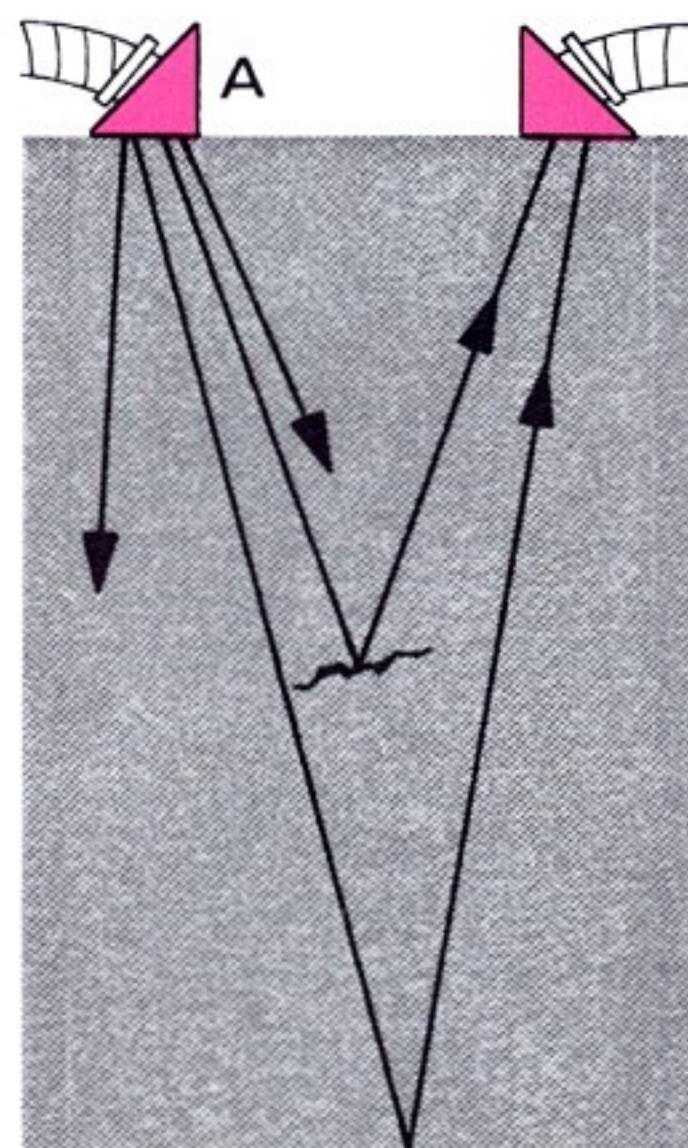
Die meisten der gerade genannten Geräte arbeiten mit *Ultraschallwellen*. Ultraschall ist ein Schall mit Frequenzen oberhalb der menschlichen Hörgrenze, also oberhalb 16 bis 20 kHz. Nur Kinder hören bis 30 kHz, also in den Ultraschallbereich hinein. Hunde

Wie hilft das Echolot den Geologen?

schwärmen bis 40 kHz, Fledermäuse bis 150 kHz.

Neben den bereits erwähnten Geräten gibt es noch eine große Anzahl weiterer Anwendungen von Ultraschall. Es gibt zum Beispiel Hundepfeifen, deren Schallwellen (30 bis 40 kHz) zwar der Hund, nicht aber der Mensch hören kann. Für blinde Menschen gibt es Blindenleitgeräte, die Ultraschallwellen ausstrahlen und Hindernisse anzeigen. Mit ihnen kann der Blinde selbst Hindernisse in Bindfadenstärke schon in 75 cm Entfernung bemerken.

Ultraschall leistet sogar Schwerarbeit: Die Ultraschallramme ist ein Gerät zum



Auch Materialfehler lassen sich mit Ultraschall entdecken: Der Schall tritt bei A in das Material, zum Beispiel eine Stahlplatte, ein und wird an einem Riß im Stahl vorzeitig zurückgeworfen. Aus Laufzeit und Richtung des reflektierten Schalls erkennt man, wo der Materialfehler ist.

Eintreiben von Pfählen in den Erdboden. Im Pfahl werden Längswellen erzeugt, die das Erdreich geräuschlos beiseiteschieben.

Neuerdings bedient sich auch die Medizin des Ultraschalls. Gebündelte Ultraschallwellen dringen in den Körper des Kranken ein und

werden von gewissen Organen, aber auch von Nerven, Muskeln, weichen Knochenteilen oder eingedrungenen Fremdkörpern reflektiert. Auf einem Leuchtschirm kann der Arzt nun die La-

Was ist Ultraschall?

Wie hilft Ultraschall den Kranken?



Mit einem Ultraschall-Untersuchungsgerät kann der Arzt die Lage einzelner Organe und etwaige Erkrankungen feststellen. Die hochfrequenten Wellen werden von den verschiedenen Gewebearten verschieden schnell reflektiert und erscheinen auf einem Leuchtsschirm als Abbild der untersuchten Körpergegend. Die Bilder links zeigen das Ultraschallbild eines Embryos im Mutterleib und seine Deutung.

ge einzelner Organe oder des Fremdkörpers erkennen.

Bei der Ultraschallbehandlung dienen die hochfrequenten Strahlen dagegen nicht der Diagnose (Krankheitserkennung), sondern der Therapie (Krankheitsbehandlung): Die Ultrawellen werden auf den erkrankten Körperteil, zum Beispiel auf entzündete Nerven, übertragen und erzeugen dort heilende Wärme.

Neben vielen weiteren Anwendungen wirkt Ultraschall auch reinigend. Seine Vibrationen lösen getrocknetes Blut und andere Stoffe von zahnärztlichen und chirurgischen Instrumenten. Die Moleküle des Wassers werden vom Ultraschall zu außerordentlich schnellen Schwingungen angeregt. Dabei lö-

sen sie die Schmutzpartikel von dem Instrument – sie „schrubben“ es sozusagen blank.

Schall mit weniger als 16 Hz nennen wir

**Was ist
Infraschall?**

Infraschall. Er kann ebenso wie Ultraschall von Menschen nicht gehört werden. Wenn er stark ge-

nug ist, können wir ihn aber fühlen. Infraschallwellen können zum Beispiel von Boden- oder Gebäudeschwankungen, durch Wind und Brandung, aber auch durch laufende Motoren verursacht werden. In der Technik werden sie zum Beispiel benutzt, um Löcher in halbhartes Material zu bohren.



Musikinstrumente und ihre Töne

Was Musik ist, weiß jeder. Man versteht darunter eine angenehm klingende Folge von Tönen, wie sie die Instrumente eines Orchesters, eine

Was ist ein Ton?

Band oder die Singstimmen eines Chors hervorbringen. Auch das Blasen auf einem Kamm und selbst das melodische Klingen einer Ladenglocke kann Musik sein, kurz: Alle angenehmen Tonfolgen empfinden wir als musikalisch.

Aber was dem einen schön klingt, gefällt einem anderen oft nicht. Man kann jedoch physikalisch bestimmen, was ein *Ton* ist: Er ist ein Laut, dessen Schallwellen einen harmonischen Schwingungsverlauf haben; ihr Wellenmuster ist regelmäßig, die Grundfrequenz des Tons ist klar zu erkennen.

Betrachten wir dagegen die Schallaufzeichnung eines *Geräusches*, das wir als unangenehm oder störend empfinden. Sie zeigt ein unregelmäßiges Wellenmuster mit meist spitzen, ungleich langen Wellen, eine bestimmte Grundfrequenz ist nicht zu erkennen.

Eine Sonderform des Geräusches ist der *Knall*: Seine Kurve besteht im wesentlichen aus einem kräftigen Ausschlag, der rasch wieder in eine gerade Linie übergeht.

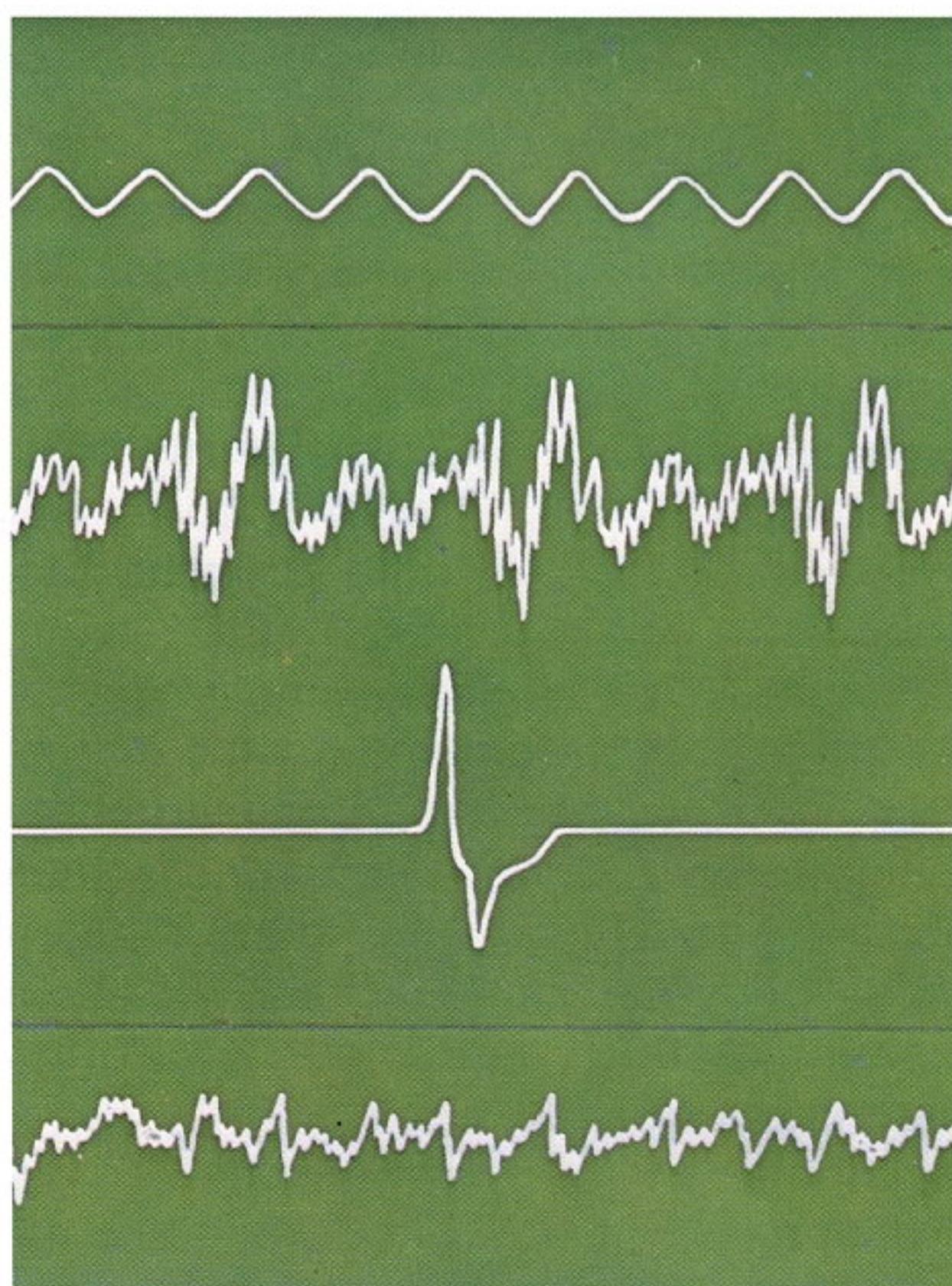
Starke oder länger anhaltende unangenehme Geräusche empfindet das menschliche Ohr als *Lärm*, wie zum Beispiel das Quietschen einer Autobremse, den Start eines Düsen-

Was ist Lärm?

Links: Verschiedene mittelalterliche Musikinstrumente auf einem spätgotischen Gemälde (Ausschnitt) des italienischen Malers Fra Angelico (1387—1455) am Altar von Fiesole (Italien).

flugzeugs oder den Knall einer Fehlzündung.

Die Bezeichnung *Lärm* ist allerdings ungenau. Geräusche werden von verschiedenen Menschen unterschiedlich beurteilt. Ältere Leute halten sich oft die Ohren zu, wenn eine Jazz-Band so richtig loslegt. Sie bezeichnen als Höllenlärm, was Jüngere als anfeuernde Musik lieben.



Mit einem Oszillographen (Schwingungsschreiber) aufgezeichnete Schallwellen: (von oben) Stimmgabel, menschliche Stimme (Vokal O), Knall, Geräusch.

Als *Lärm* empfinden wir manches Geräusch, wenn es uns stört. Nehmen wir an, wir führen ein Telefongespräch, während jemand im gleichen Zimmer singt. Der Gesang mag noch so schön und musikalisch rein sein, wir müssen uns auf das Telefongespräch konzentrieren, können den wohlklingenden Tonfolgen nicht lauschen und empfinden sie deshalb als störend — als Lärm.



Musiker auf einem etruskischen Grabgemälde, um 480 v. Chr. Der Mann in der Mitte bläst eine Doppelflöte, der Mann rechts spielt eine Leier. Der Mann links hält eine Opferschale in der Hand.

Der Mensch machte Musik, längst be-

Was ist eine Tonleiter?

vor er sich mit Noten, Tönen und Tonfolgen beschäftigte. Es war eine einfache Musik: Er sang, stampfte mit den Füßen und klatschte in die Hände. Irgendwann wird einmal ein Jäger der Urzeit auf den Gedanken gekommen sein, an der Sehne seines Bogens zu zupfen und dem Klingen oder Summen zu lauschen. Vielleicht spannte er noch eine zweite oder dritte Sehne auf seinen Bogen.

Archäologen – die Wissenschaftler, die Reste alter Kulturen ausgraben und erforschen – haben primitive Leiern gefunden, die aus gebogenen Zweigen bestanden, zwischen die man Sehnen verschiedener Länge gespannt hatte. Die alten Griechen, die die Leier und andere Musikinstrumente spielten, waren die ersten, die sich wissenschaftlich mit der Musik befaßten. Ihre Musiker zeichneten Reihen von Tönen in steigender und fallender Tonfolge auf – sie haben die Tonleiter erfunden. Griechische Musiker stellten auch fest, daß eine straff gespannte Sehne von bestimmter Länge einen Laut von ganz bestimmter Tonhöhe hervorbringt und

daß eine halb so lange Sehne einen Ton erzeugt, der um eine Oktave – das sind einschließlich des Grundtons acht Töne – in der Tonleiter höher liegt. Eine Sehne, die wiederum halb so lang ist wie letztere, bringt einen Ton hervor, der nochmals um eine Oktave höher liegt. Sie erkannten also, daß sich die Tonhöhe verdoppelt, wenn man die Länge der vibrierenden Sehne halbiert. Die Griechen fanden auch heraus, daß eine straff gespannte Sehne einen höheren Ton hervorbringt als eine locker gespannte und daß eine dünne Sehne einen höheren Ton erzeugt als eine dicke. Sie konnten sich aber nicht erklären, warum es so war.

Inzwischen sind einige tausend Jahre vergangen, und die moderne Physik hat viele Rätsel gelöst. Wir wissen heute, daß die Tonhöhe von der Frequenz abhängt. Jeder musikalische Laut entsteht durch Schwingungen; jeder Ton hat doppelt so viele Schwingungen wie der um eine Oktave tiefere Ton und halb so viele wie der um eine Oktave höhere Ton. Das mittlere C hat eine Frequenz von 264 Hz, das tiefe C eine Frequenz von 132 und das hohe C eine von 528. Eine Oktave ist der Tonraum von sieben Ganzton- oder 12 Halbtonschritten. Die weißen Tasten des Klaviers

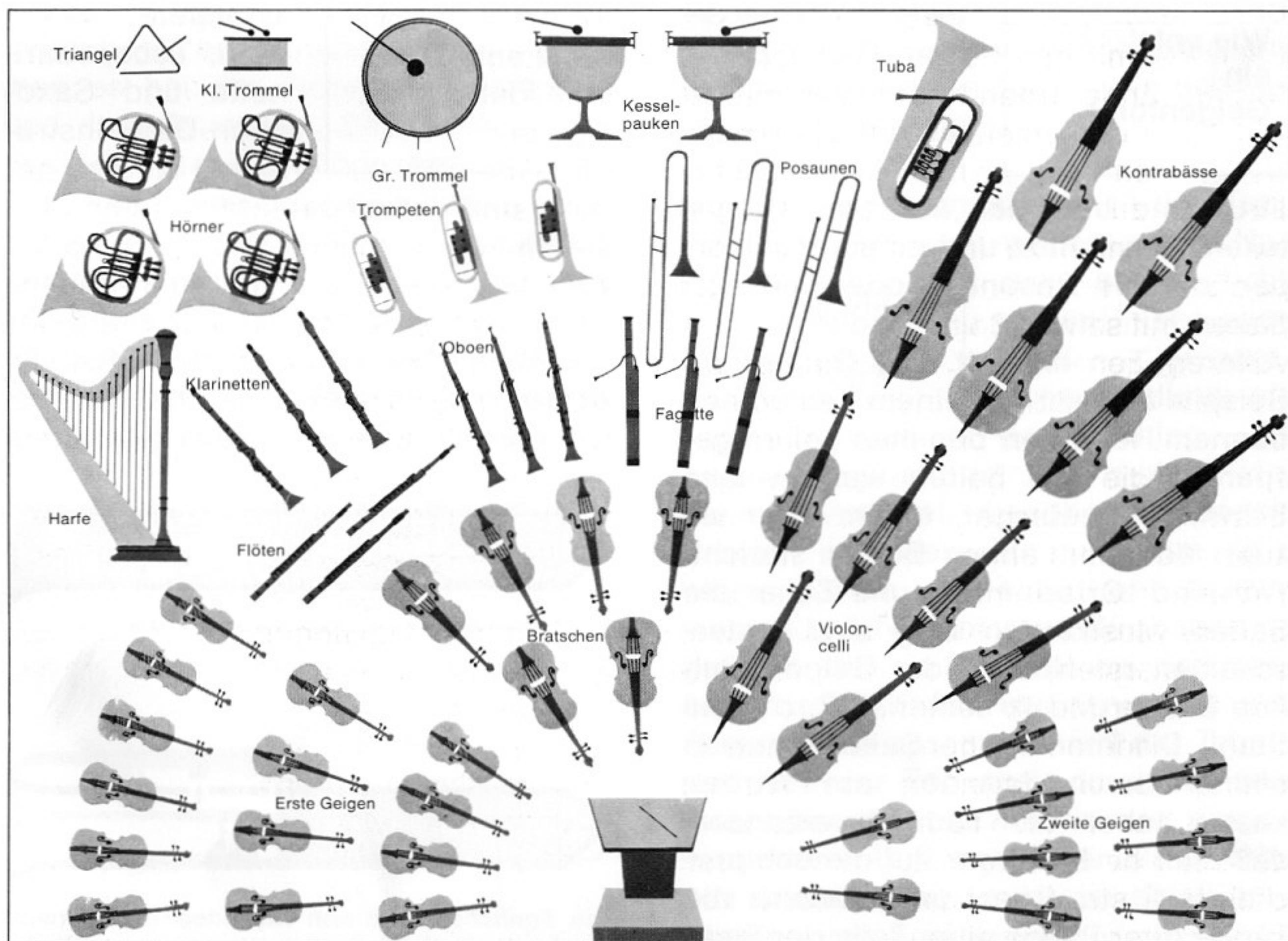
entsprechen den Tönen der C-Dur-Tonleiter, die schwarzen jeweils den um einen halben Schritt erhöhten Tönen. Wenn wir nach dem g (weiß) ein a (weiß) anschlagen, sind wir um einen *ganzen Ton* weitergegangen. Spielen wir nach dem g die schwarze Taste rechts neben ihm (gis), sind wir um einen *halben Ton* weitergegangen.

Wenn wir zwei oder mehrere Töne gleichzeitig her vorbringen und dadurch einen angenehmen Klang erzielen, sprechen wir von einer *Harmonie*.

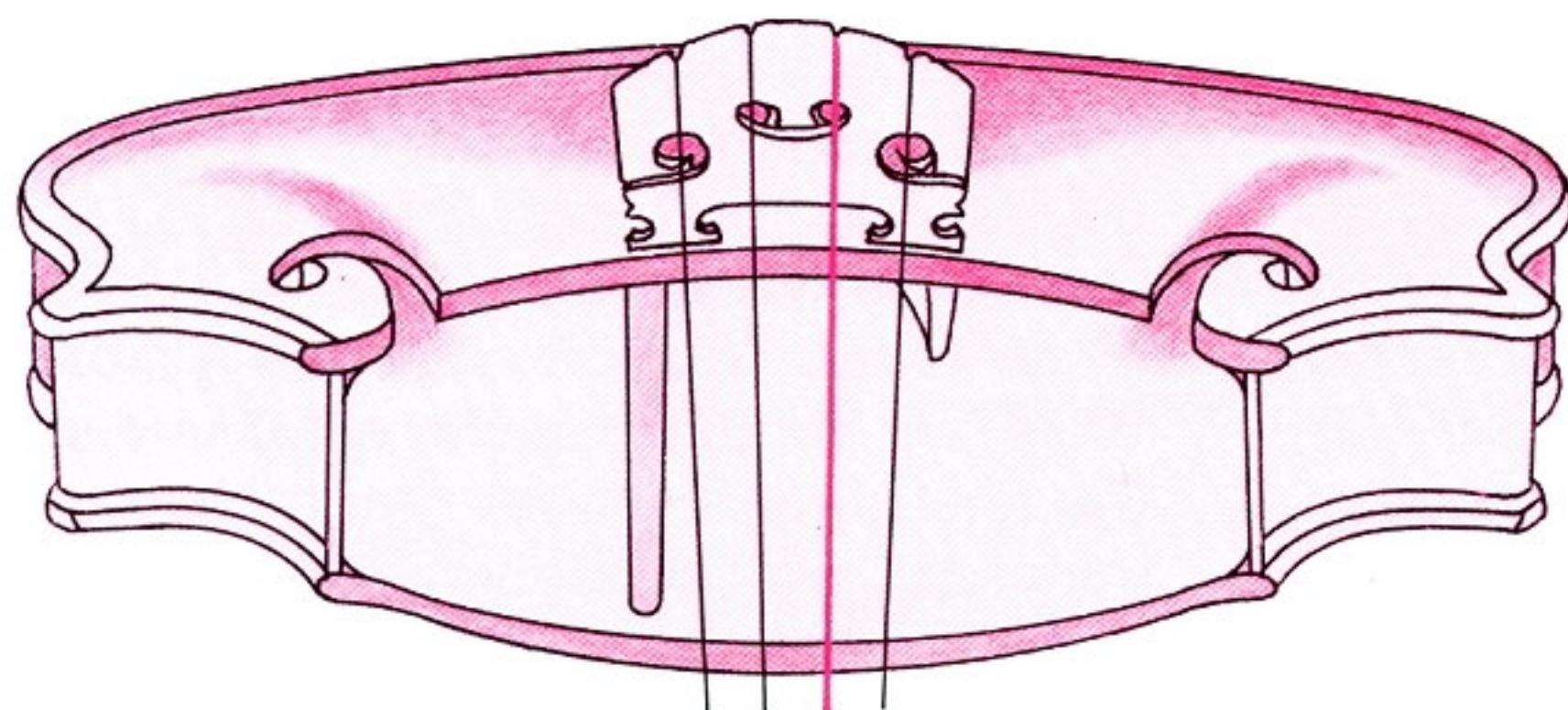
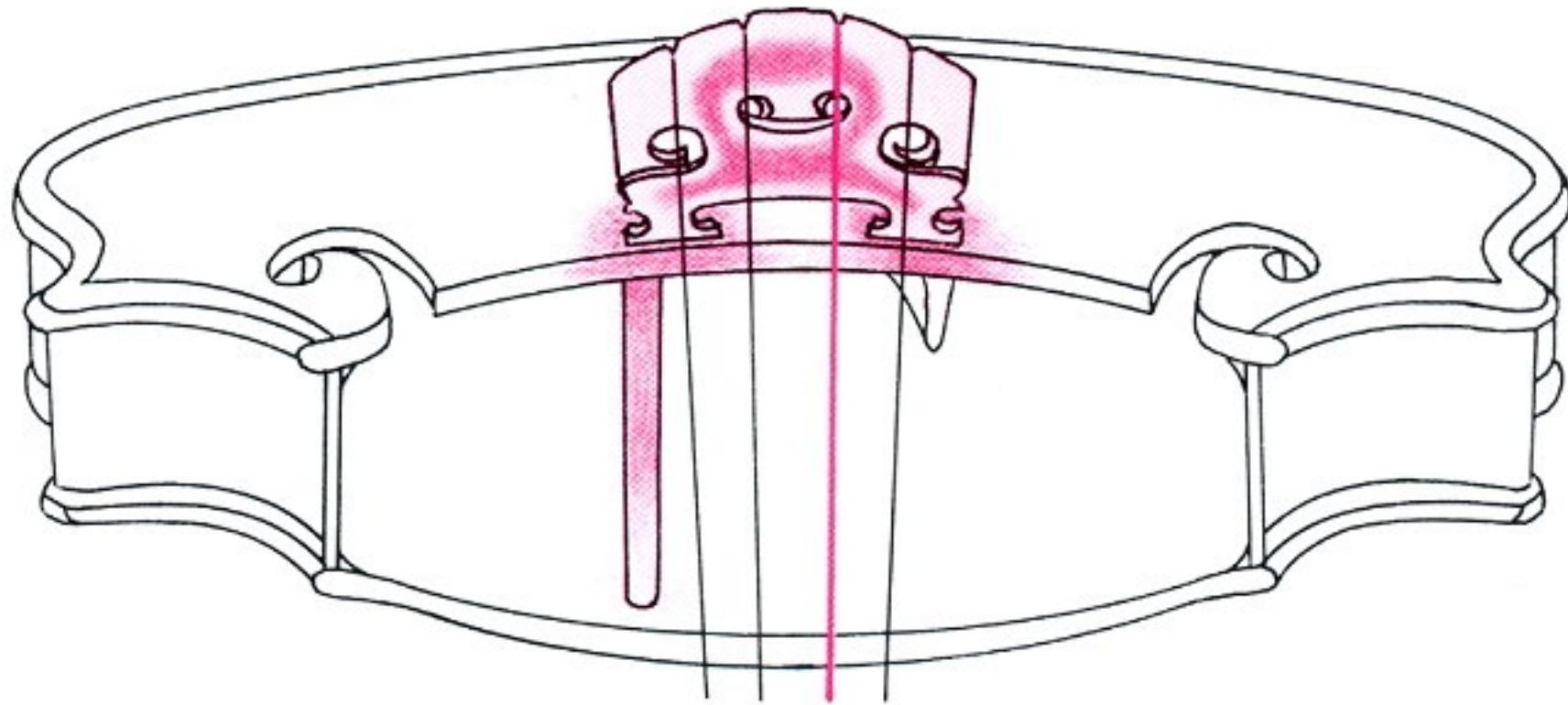
Was ist Harmonie?

Ist der Klang uns unangenehm, bezeichnen wir ihn als Mißklang, als *Dissonanz*. Wissenschaftler haben festgestellt, daß die Harmonie auf den Frequenzen der gleichzeitig erklingenden

Töne beruht. Zum Beispiel bilden die Töne C, E und G eine Harmonie; ihre Frequenzen sind 264, 330 und 396. Wenn man diese Frequenzen durch den gemeinsamen Divisor 66 teilt, erhält man die Zahlen 4, 5 und 6. So harmonieren immer drei beliebige Noten miteinander, deren Frequenzen im Verhältnis 4 : 5 : 6 stehen – zum Beispiel A, Cis und E. Aber außer dem 4 : 5 : 6-Verhältnis harmonieren auch andere Frequenzen miteinander. Die Regel lautet: Alle Töne, deren Frequenzen sich verhalten wie die ganzen Zahlen 1:2:3:4 usw., harmonieren miteinander. Harmonierende Töne bilden einen *Akkord*. Wenn wir auf dem Klavier ein C und ein Cis anschlagen, ist der Klang nicht angenehm. Wir verstehen nun, warum diese Töne einen Mißklang bilden. Ihre Frequenzen sind 264 und 279, sie stehen also im Verhältnis 4 : 4^{1/5}.



Sitzordnung eines Sinfonieorchesters, das 100 und mehr Mitglieder haben kann.



Die wichtigsten Teile der Geige sind die Saiten und der Resonanzkörper. Die Saiten bestehen aus Darm. Der Resonanzkörper setzt sich aus der oberen Decke (Tannenholz) und dem unteren Boden (Ahornholz) zusammen. Decke und Boden werden von den Zargen zusammengehalten. Wenn der Geiger eine Saite streicht oder zupft, schwingt die Saite. Die Schwingungen werden auf den Steg, von dort auf die Decke und über den Stimmstock auf den Boden übertragen. Nun beginnt auch die im Resonanzkörper eingeschlossene Luft zu vibrieren — ein Geigenton erklingt.

Es gibt eine ganze Anzahl von Saiteninstrumenten:

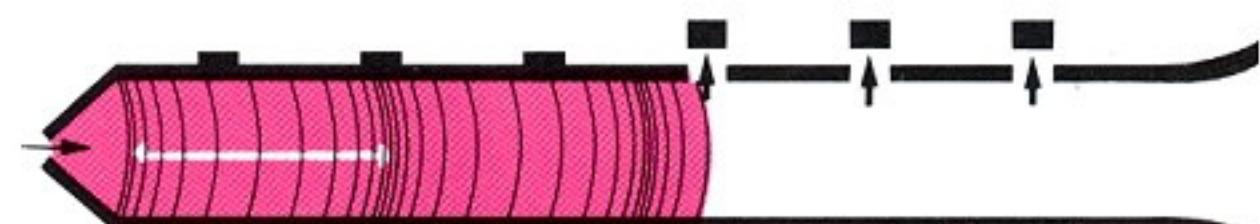
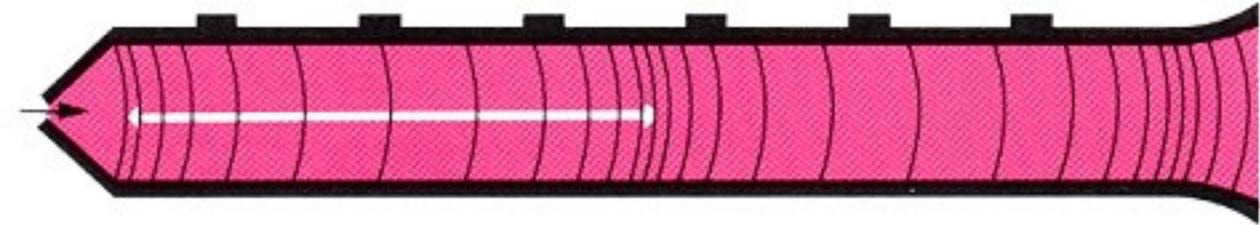
Wie entsteht ein Geigenton?

Geige, Cello, Gitarre, Banjo, Zither und Harfe – um nur einige zu nennen. Alle diese Instrumente bestehen aus zwei Hauptteilen: den Saiten und einem Hohlkörper, der als Resonanzboden mit den Saiten mitschwingt und dadurch einen volleren Ton erzeugt. Die Geige zum Beispiel besteht aus einem Kasten aus dünnem Holz, über den man Saiten gespannt hat. Die Saiten werden zum Schwingen gebracht, indem man sie zupft oder mit einem Bogen streicht. Während bei der Harfe und Zither die Saiten verschieden lang sind, unterscheiden sie sich bei der Geige durch ihre Stärke und ihr Material (Darm und Stahl). Die Tonhöhe der Saite kann man einmal durch Spannen am Wirbelkasten, zum andern dadurch verändern, daß man einen Finger auf die entsprechende Saite drückt und dadurch die Länge des vibrierenden Teils der Saite verändert.

Die Flöte ist ein Blasinstrument wie

Wie entsteht ein Flötenton?

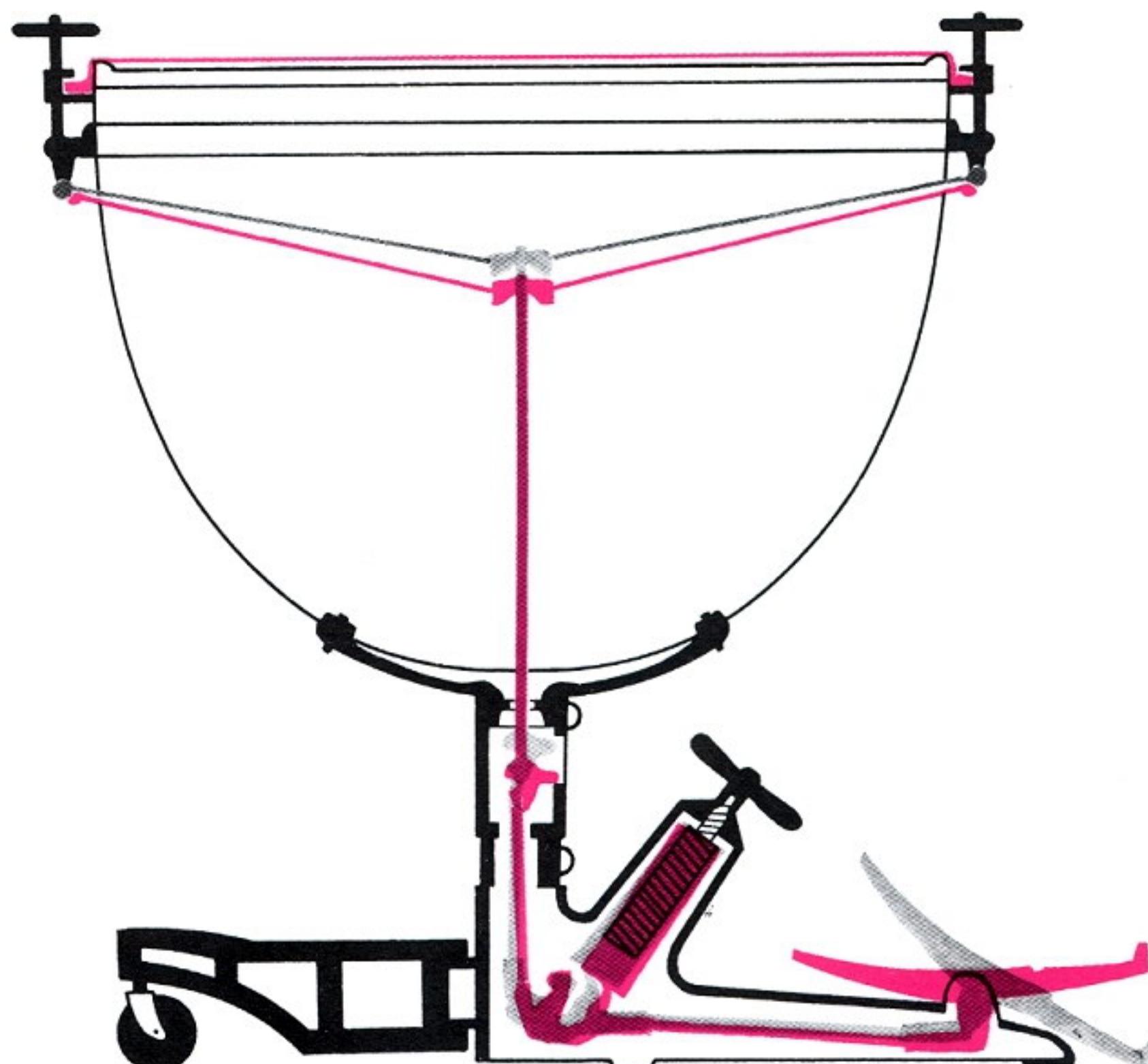
auch Posaune, Trompete, Waldhorn, Tuba, Klarinette und Saxophon. Diese Instrumente sind so gebaut, daß der eingeklauten Atem eine Luftsäule im Innern des Instruments zum Schwingen bringt. Die Frequenz der Vibration hängt von der Höhe der Luftsäule ab. Je kürzer die Luftsäule, desto höher ist der Ton des Instruments. Um die Tonhöhe und damit die Länge



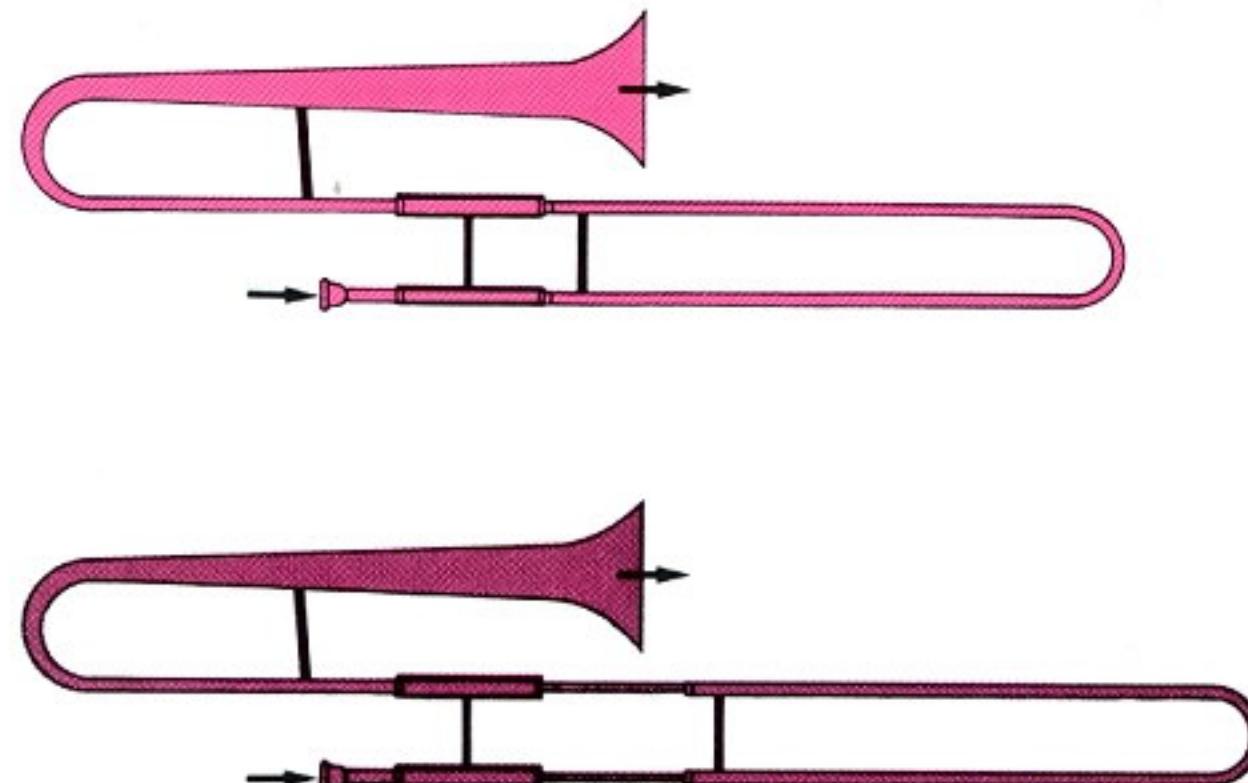
Die Tonhöhe hängt von der Länge der schwingenden Luftröhre ab. Bei Klarinetten wird die Länge durch Ventile verändert.

Eine Pauke besteht aus einem hakenförmigen Messing- oder Kupferkessel, über das ein Esels- oder Kalbfell gespannt ist. Wenn der Paukist mit dem Schlegel auf das Fell schlägt, vibriert es.

Die dadurch entstehenden Schallwellen werden im Innern des Kessels reflektiert und verstärken den Ton. Im Gegensatz zur Trommel lässt sich der Paukenton verändern: Tritt der Paukist das Stimmpedal, wird der Metallring, der das Fell spannt, nach unten gezogen. Das Fell strafft sich, es schwingt schneller — der Ton wird höher.



der schwingenden Luftsäule im Instrument zu verändern, schließt oder öffnet man die Löcher, die an den Seiten des Instruments angebracht sind. So macht man es bei der Flöte, der Klarinette und dem Saxophon. Bei der Posaune verändert man die Länge der Luftsäule, indem man eine U-förmige hohle Röhre vorwärts und rückwärts bewegt. Bei der Trompete und dem Horn kann man mit Fingerklappen Teile der Luftsäule blockieren und so ihre Länge verändern. Die Tonhöhe der Blasinstrumente hängt aber auch von der Stärke der vibrieren-



Die Posaune hat keine Ventile. Die Länge der schwingenden Luftsäule und damit der Tonhöhe werden mit dem Posaunenzug verändert.

den Luftsäule ab. Hier gibt es große Unterschiede. Bei der Orgel kann man es am deutlichsten sehen. Ihre tiefen Töne werden von den langen, dicken, die hohen Töne von den kurzen, schmalen Pfeifen erzeugt.

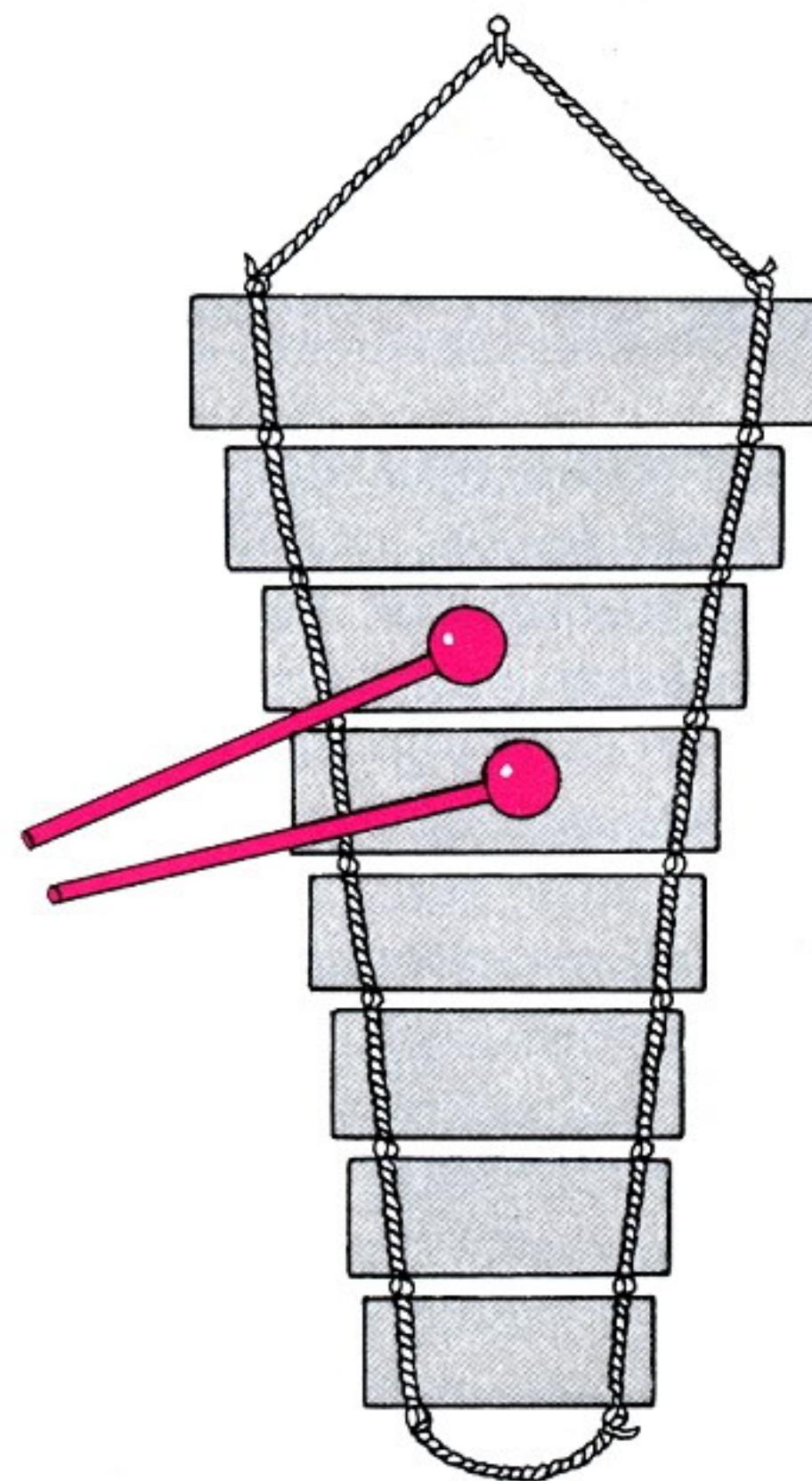
Bei Schlaginstrumenten wird der Ton, wie schon der Name sagt, nicht durch Blasen oder Zupfen erzeugt, sondern durch einen Schlag. Zu

den Schlaginstrumenten zählen wir: Pauke, Trommel, Xylophon, Triangel, Becken und den Schellenbaum. Wir wissen schon, wie auf diesen Instrumenten ein Ton entsteht. Wir haben ja gelesen, daß ein Gegenstand, den man anschlägt, in Schwingungen gerät und Schallwellen aussendet. Bei der Trommel wird der Ton noch durch die wie ein Resonanzboden wirkende eingeschlossene Luft verstärkt. Zu erwähnen ist noch das Klavier, das eine Kombination von Schlag- und Saiteninstrument darstellt.

Wie entsteht ein Paukenton?

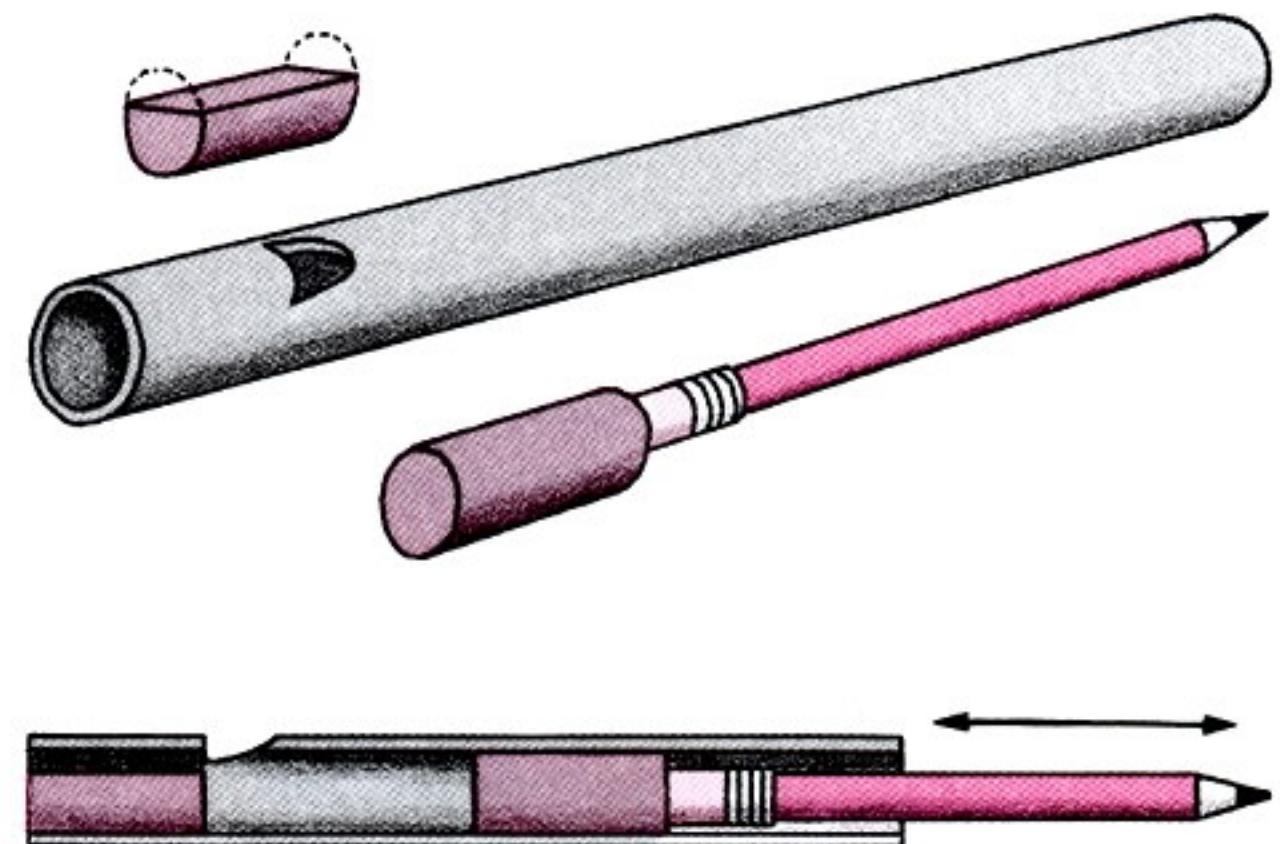
Wir bauen uns ein Orchester

Um mit einigen Freunden ein richtiges kleines Orchester bilden zu können, müßt Ihr nicht gleich teure Musikinstrumente kaufen. Bei etwas Geduld und Ausdauer werdet Ihr staunen, welche hübschen Melodien Ihr auf diesen Instrumenten spielen könnt!



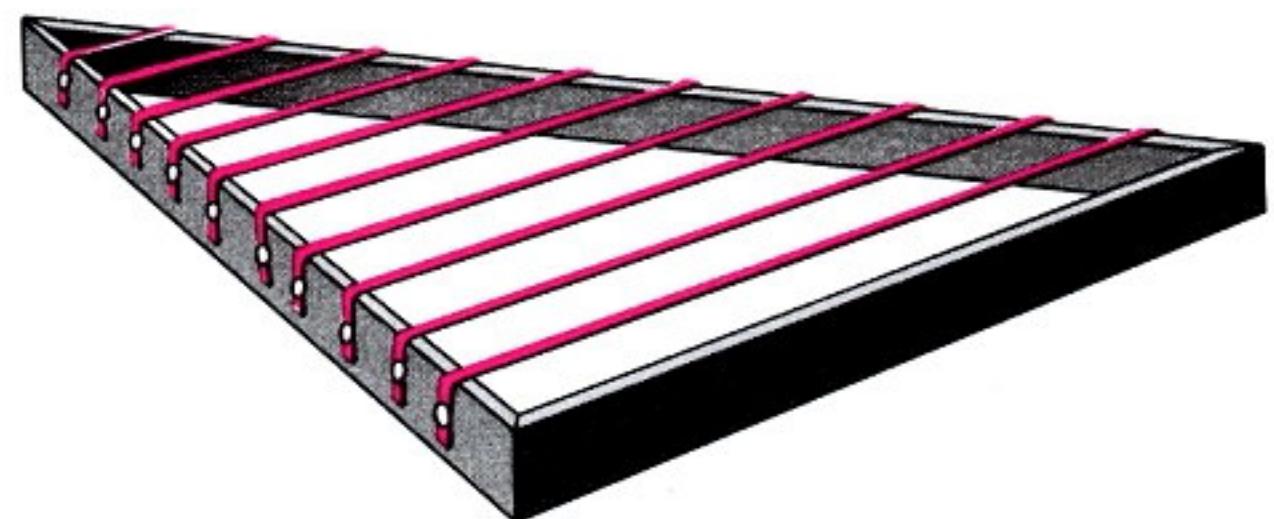
Xylophon

Dafür brauchen wir acht Stücke Hartholz von folgender Länge: 25 cm, 23 $\frac{1}{2}$ cm, 22 cm, 21, 20, 19 $\frac{1}{2}$, 18 $\frac{1}{2}$ und 17 $\frac{1}{2}$ cm. Die Holzstücke binden wir mit Schnüren so zusammen, wie es die Abbildung zeigt. Wenn man die Hölzer mit einem Klöppel oder einem Holzscheit anschlägt, kann man auf diesem Xylophon Melodien spielen. Um unser Xylophon richtig zu stimmen, können wir einen Ton erhöhen, indem wir das Holz ein wenig verkürzen; wenn wir etwas aus der Mitte des Holzes herausschälen, klingt der Ton tiefer.



Gleitflöte

Aus einem Stück Bambus kann jeder diese Flöte leicht herstellen. Zuerst schneiden wir eine Kerbe etwa drei Zentimeter vom Rand entfernt in den Bambus. Dann schnitzen wir ein 3 cm langes Stückchen Holz in Zylinderform, so daß es genau in das Bambusrohr paßt, schneiden aber dann das zylindrische Stück auf einer Seite flach. Nun wird es ins Rohr vor die Kerbe gesteckt. Wenn wir jetzt ins Rohr blasen, hören wir einen Pfeifton. Um diesen verändern zu können, schnitzen wir einen etwas längeren Holzzyylinder, der locker in das Bambusrohr paßt. Wir befestigen daran einen Bleistift oder irgend ein anderes Stäbchen, so daß wir mit ihm den Zylinder hin- und herschieben können. Damit verändern wir nun beim Blasen die Länge der vibrierenden Luftsäule im Rohr und dementsprechend auch den Ton.



Harfe

Zuerst nageln wir drei Bretter in Dreiecksform zusammen. Dann schneiden wir zehn Gummiringe durch, ziehen die Gummibänder straff und befestigen sie mit Heftzwecken auf dem Holzrahmen, wie die Abbildung oben zeigt. Durch Zupfen der Bänder können wir auf dieser Harfe einige einfache Melodien spielen. Man kann auch noch auf andere Weise eine Harfe bauen: Gummibänder werden straff über eine Zigarrenkiste gezogen; dann schiebt man von der Seite ein hölzernes Dreieck darunter. Bei dieser Harfe wirkt die Zigarrenkiste als Resonanzboden.

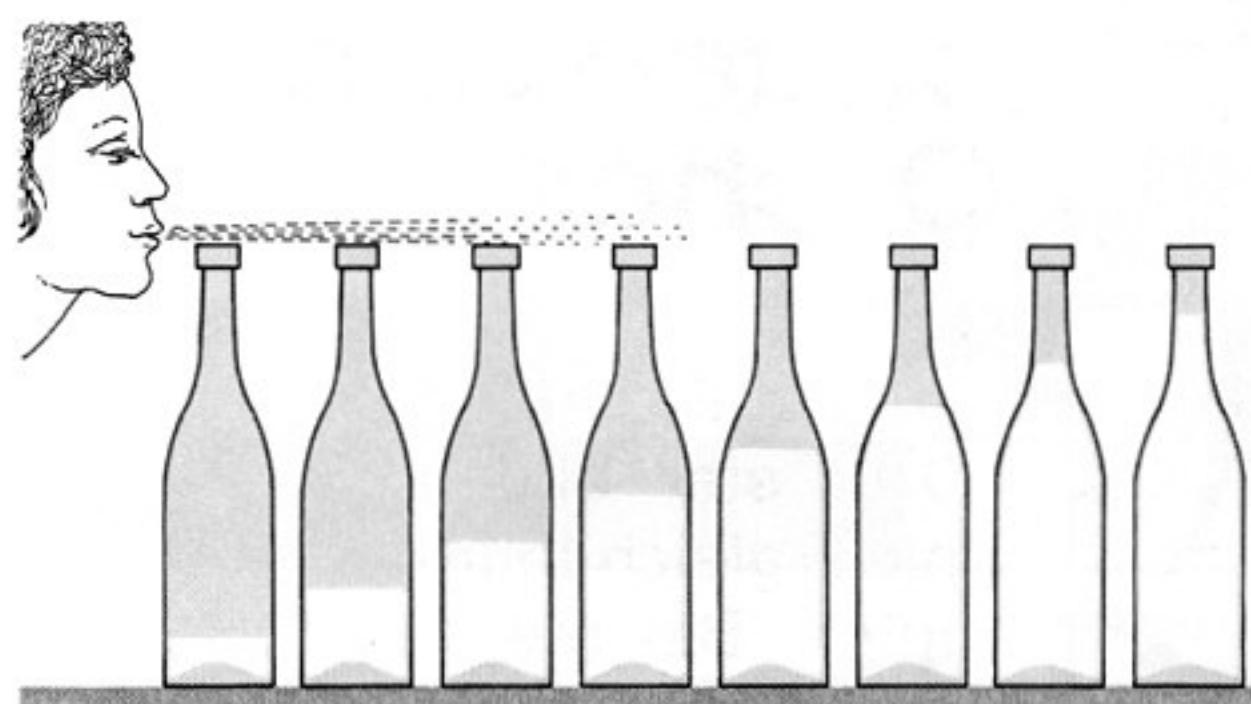
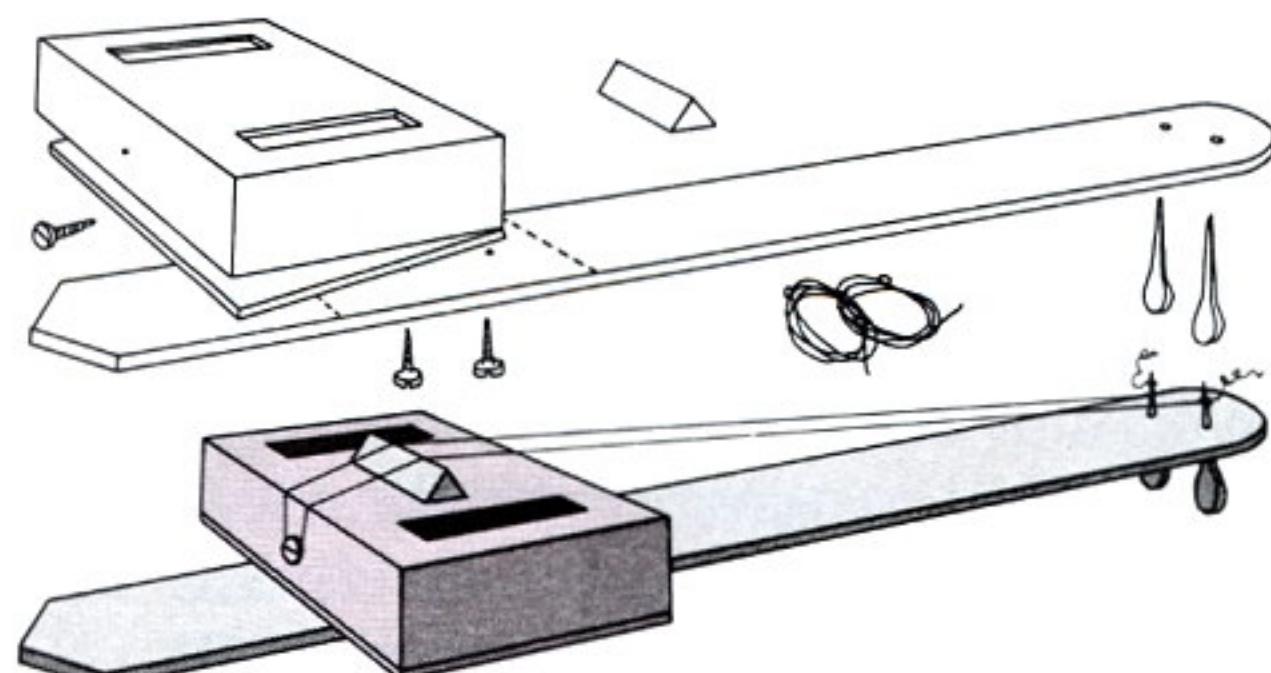
Wasserposaune

Wir füllen eine Flasche mit Wasser, bis etwa 5 cm unterm Rand. Dann stecken wir einen Trinkhalm in den Flaschenhals, halten ihn mit der einen Hand fest und bewegen mit der anderen Hand die Flasche auf und ab. Dabei blasen wir kräftig über das Ende des Trinkhalms hinweg. Die Höhe des Tons, den man erzeugt, ändert sich je nachdem, wie weit der Halm im Wasser steckt, weil die Wassermenge im Trinkhalm die Länge der vibrierenden Luftsäule im Halm bestimmt.



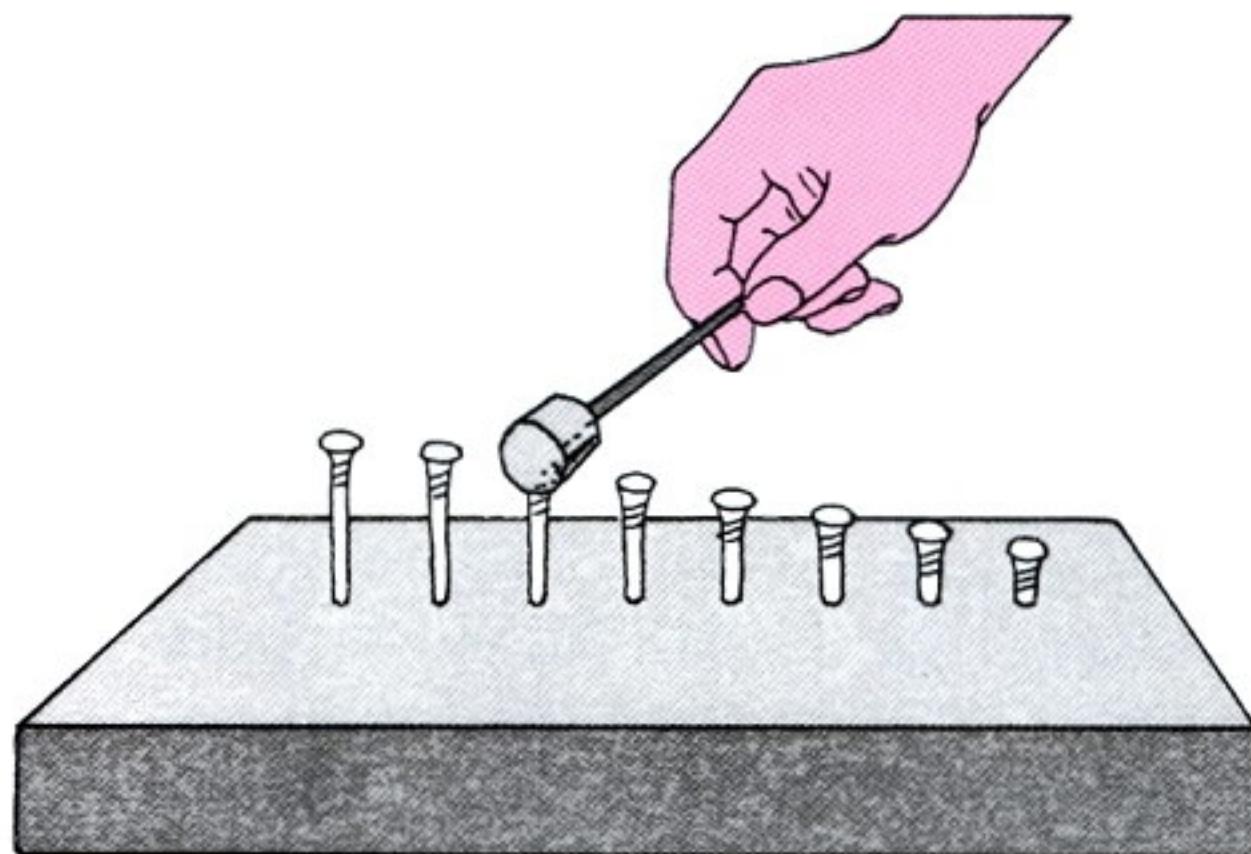
Gitarre

Mit einem Taschenmesser schneiden wir zwei lange Rechtecke in den Boden einer Zigarrenkiste. Dann befestigen wir mit Schrauben an der Kiste ein Brett von etwa 50 cm Länge, 5 cm Breite und 1,5 cm Dicke. Nun schließen wir den Kastendeckel und schnitzen uns zwei Violinschrauben oder kaufen sie in einem Musikaliengeschäft. Am Ende des Brettes werden zwei Löcher gebohrt und die Schrauben hindurchgesteckt. Wir nehmen zwei Gitarrensaiten, befestigen sie am Zigarrenkasten und oben an den Holzschrauben und schieben ein dreieckiges Hölzchen als Brücke darunter. Durch Drehen der Schrauben können wir jetzt die Saiten spannen, und wenn wir sie zupfen, erklingt ein kräftiger Ton.



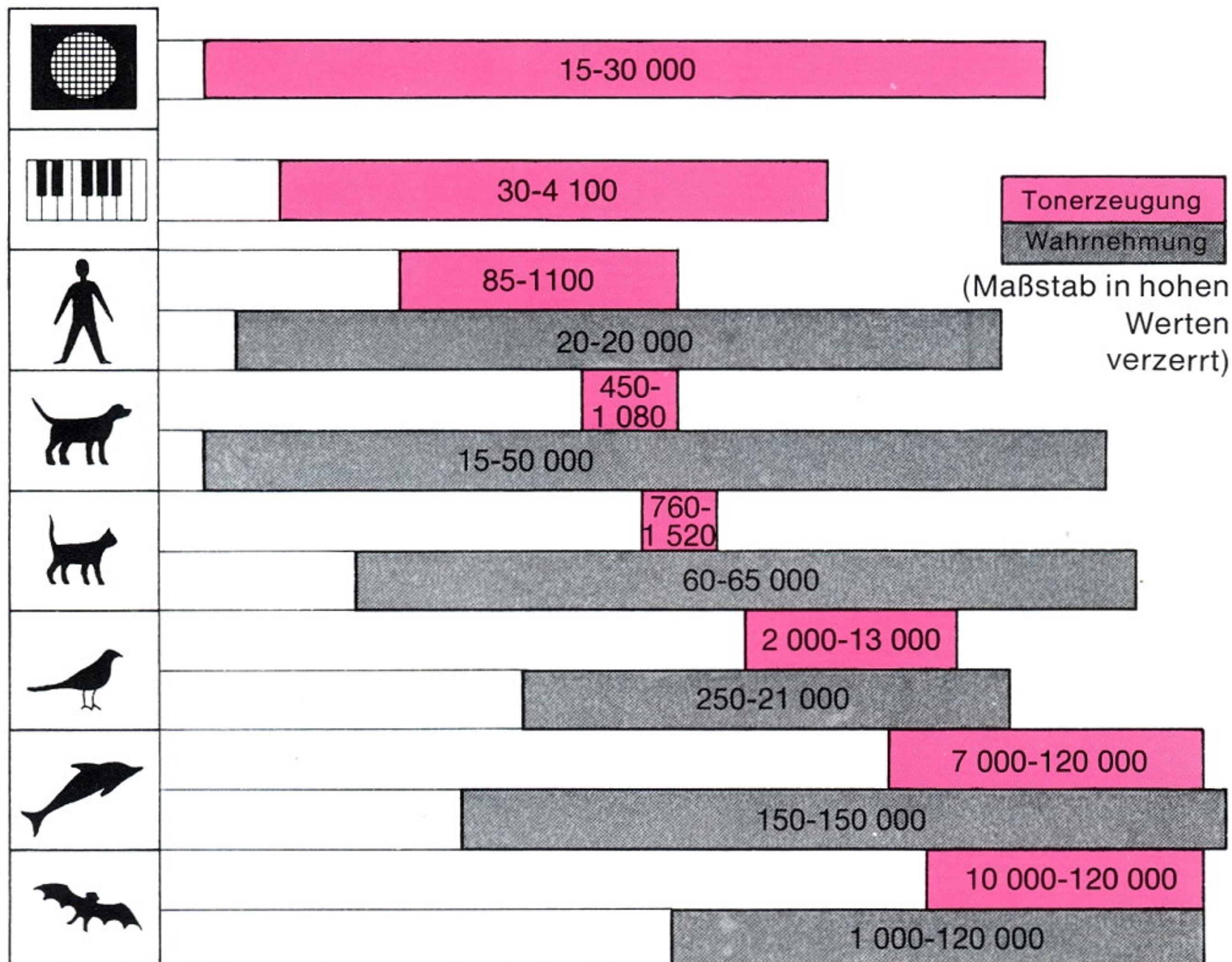
Milchflaschenorgel

Orgelpfeifen müssen nicht immer aus Holz oder Metall sein; auch Milchflaschen könnten gute Dienste tun. Wir beschaffen uns acht Flaschen und stellen sie in einer Reihe auf. Nun gießen wir Wasser in die Flaschen, in die erste nur ein wenig, in die zweite etwas mehr und so fort. Die letzte Flasche ist fast ganz mit Wasser gefüllt. Jetzt pusten wir waagerecht über die Flaschenhälse hinweg. (Wem das zu mühsam ist, der kann auch eine Staubsaugerdüse benutzen.) Je mehr Wasser in der Flasche ist, desto höher ist der Ton, den wir hören. Wenn wir das Wasser richtig verteilt haben, können wir auch die Tonleiter spielen und bei einiger Übung sogar einfache Melodien.



Nagelklavier

Acht dünne Nägel schlagen wir in einem Abstand von 1,5 cm in einer Reihe in ein Brett. Den ersten Nagel schlagen wir nur eben fest, treiben den nächsten ein wenig tiefer ins Holz und so fort, bis der letzte Nagel nur zu einem Drittel herausschaut. Nun drücken wir einen anderen Nagel oder einen Holzspan in ein Stückchen Kork und schlagen damit die Nagelreihe an. Auch die Nägel bringen hohe und tiefe Töne hervor. Wenn man sie richtig eingeschlagen hat, kann man auf dem Nagelklavier Musik machen.



Der Hörbereich aller Lebewesen ist weitaus größer als der Bereich der Töne, die sie selbst erzeugen.

Lebende Schallorgane

Eines der großartigsten Toninstrumente

Welches ist die wandlungs-fähigste Schallquelle?

ist das menschliche Stimmorgan. Es übertrifft alle Instrumente in der Vielfalt seiner Töne. Die menschlichen Stimmlaute werden durch die Vibration zweier Sehnen, der *Stimmbänder*, erzeugt. Sie spannen sich so durch den Kehlkopf, daß nur ein schmaler Spalt, die *Stimmritze*, freibleibt, die die Luft durchläßt. Beim Ausatmen strömt die Luft aus den Lungen durch diesen Spalt und bringt die Stimmbänder zum Schwingen. Verschiedene, kompliziert wirkende Muskeln regeln die Spannung der Stimmbänder; sie können sie fester und dünner machen, aber auch lok-

kern und verdicken und auf diese Weise entspannen.

Wir wissen, daß eine straff gespannte dünne Saite einen höheren Ton erzeugt als eine lockere, dicke Saite. Das gilt auch für unsere Stimmbänder. Wenn sie straff und dünn sind, klingt unsere Stimme hoch; sind die Bänder locker und dick, klingt die Stimme tief. Außerdem wissen wir, daß eine schwingende kurze Saite einen höheren Ton erzeugt als eine lange Saite. Männer haben eine tieferen Stimme als Frauen, weil die Stimmbänder bei Frauen nur etwa 1,25 cm, bei Männern aber ungefähr 1,875 cm lang sind. Die Stimmen der Kleinkinder sind so hoch, weil sie noch sehr kurze Stimmbänder haben. Die Spanne zwischen dem tiefsten und dem höch-

sten Ton der menschlichen Stimme reicht etwa über zweieinhalb Oktaven. Die Lautstärke unserer Stimme hängt hauptsächlich davon ab, wie kräftig wir die Luft aus den Lungen durch die Stimmbänder strömen lassen. Aber auch die Form der Mundhöhle, besonders des Gaumens, spielt eine Rolle. Wir alle kennen Menschen, deren Stimme mühelos „weit trägt“, und andere, deren Stimme wir als unklar oder gequetscht empfinden.

Die Stimmbänder allein erzeugen noch keine Sprechlaute. Mit Hilfe verschiedener Muskeln im Kehlkopf können wir den Luftstrom beeinflussen, der in die Mundhöhle gelangt.

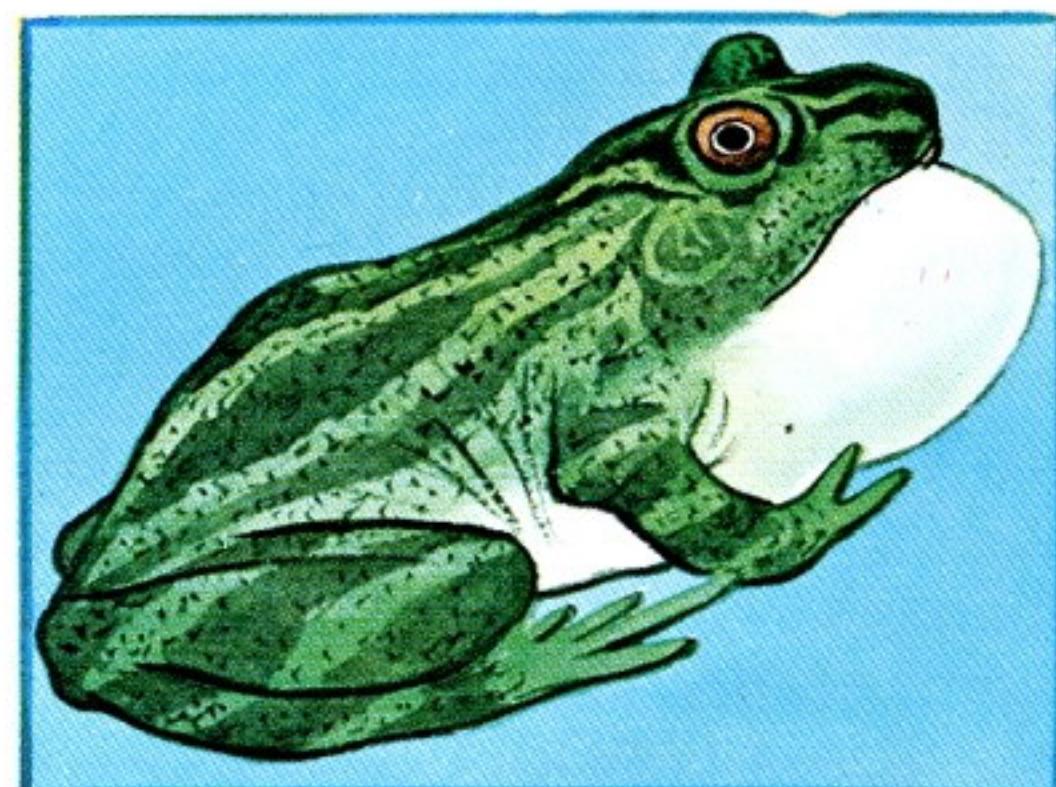
Der Klang unserer Stimme hängt davon ab, wie die Töne in der Mund- und Nasenhöhle widerhallen. Wenn wir uns beim Sprechen die Nasenlöcher zuhalten, merken wir, daß unsere Stimme dünner und näseldnd klingt. Lassen wir unsere Nase los – gleich klingt unsere Stimme voller.

Nicht alle Laute werden von der Nasenhöhle beeinflußt. Einen wesentlichen Anteil am Sprechen haben Mundhöhle, Zunge und Lippen. Wenn wir zum Beispiel ein Wort sagen wollen, das mit einem T beginnt, erzeugen wir einen kurzen Klicklaut, indem wir die Zunge jäh vom Gaumen gleich hinter den Vorderzähnen abschnellen. Die Laute B und P bilden wir nur mit den Lippen, die den kleinen, kurz ausgestoßenen Luftstrom formen. Diese Laute können wir nur einen kurzen Moment lang hören lassen, im Gegensatz zu einem Dauerlaut, zum Beispiel U, den wir so lange halten können, bis uns die Luft ausgeht.

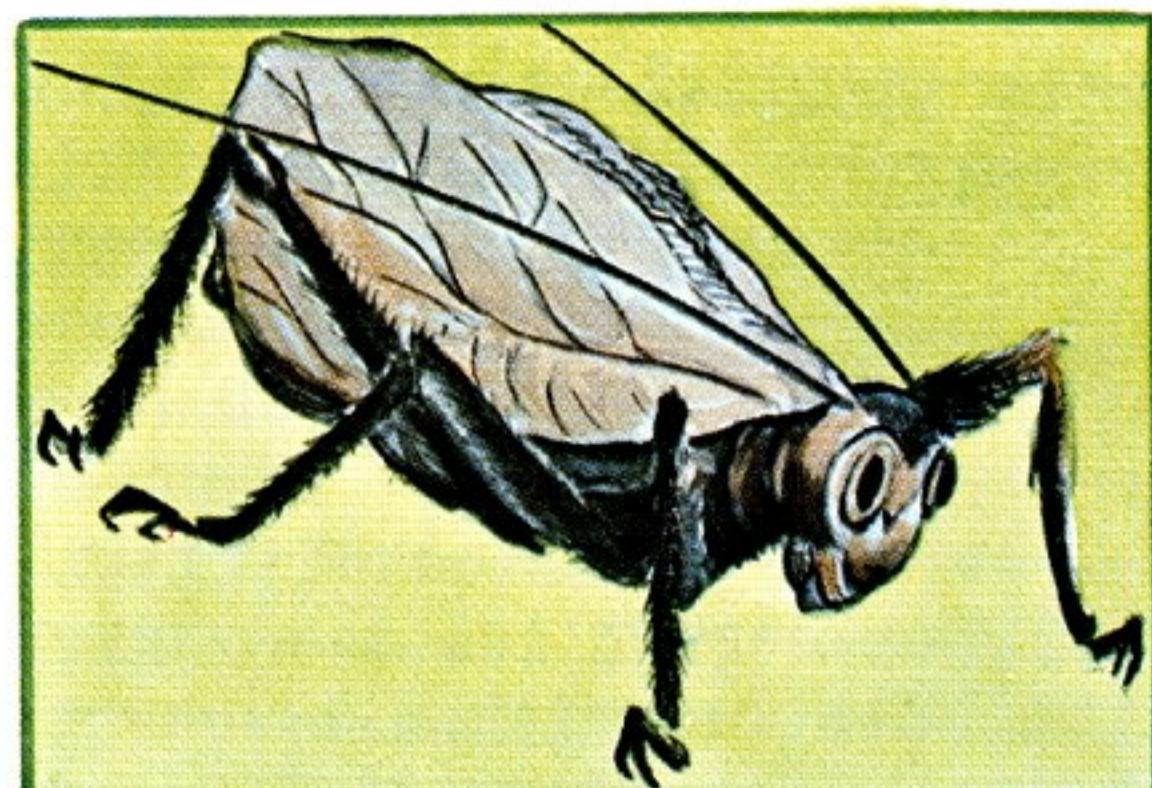
Wenn auch Musikinstrumente eine größere Tonskala besitzen, bleibt doch die Ausdrucksmöglichkeit der menschli-



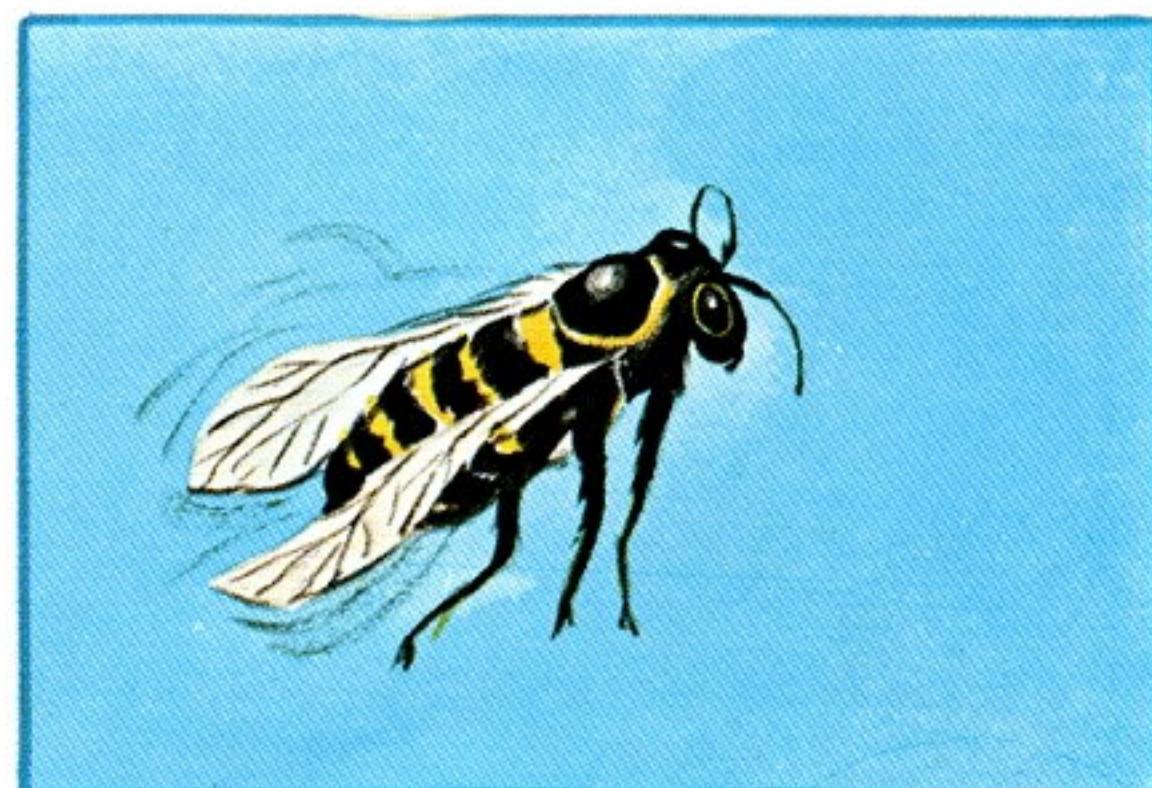
Vögel singen, pfeifen und piepsen mit Hilfe eines Knorpelrings im Hals.



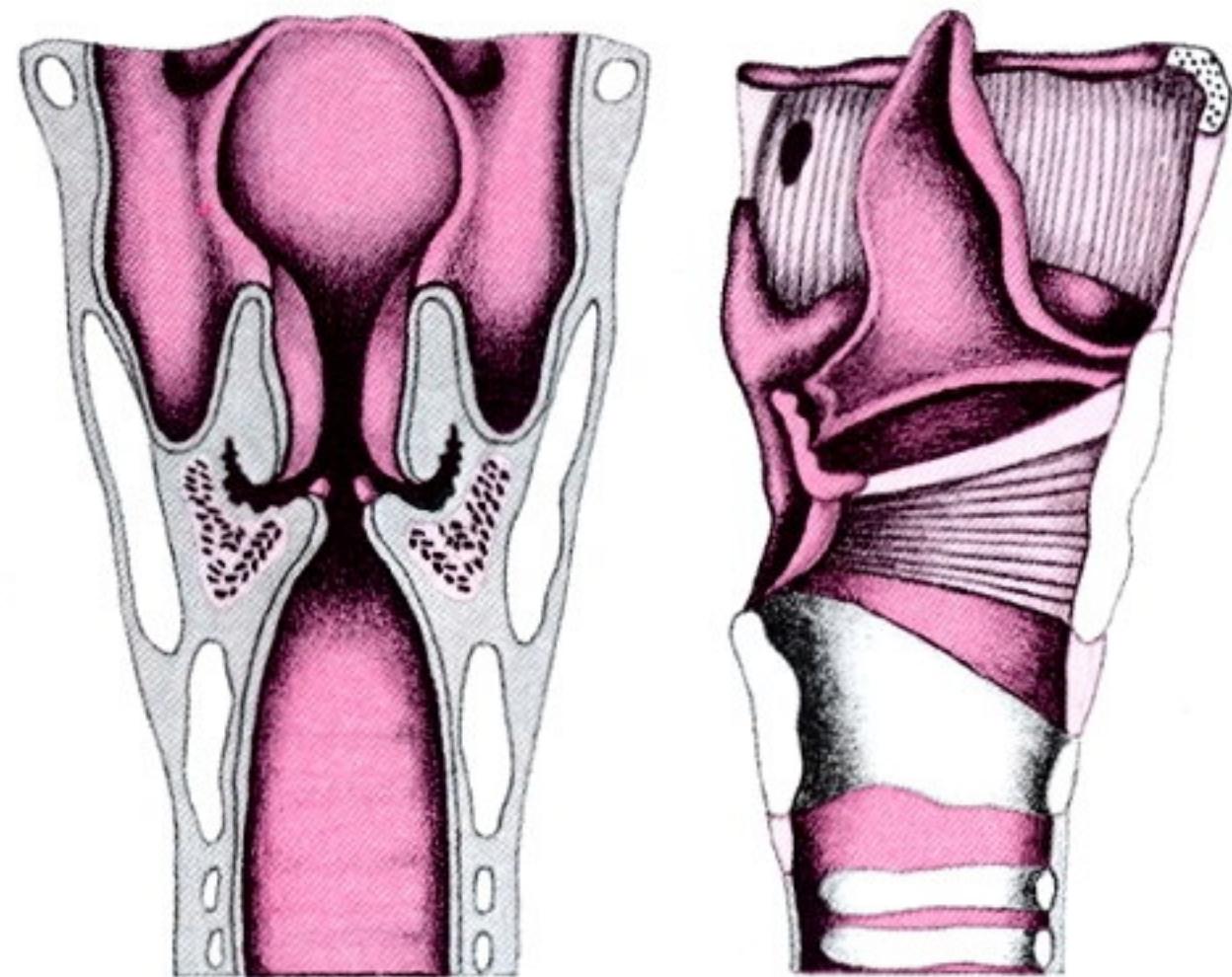
Der Ochsenfrosch hat am Hals eine Schallblase, die er beim Quaken ausstülpt.



Das Zirpen der Heuschrecken entsteht, wenn sie ihre gerillten Flügel aneinanderreiben.



Das Summen der Bienen entsteht durch ihren Flügelschlag, der die Luft vibrieren läßt.



Menschlicher Kehlkopf von vorn und im Seitenschnitt. Beim Schlucken verschließt der Kehldeckel den Kehlkopf, so daß die Speisen an ihm vorbei in die Speiseröhre gleiten.

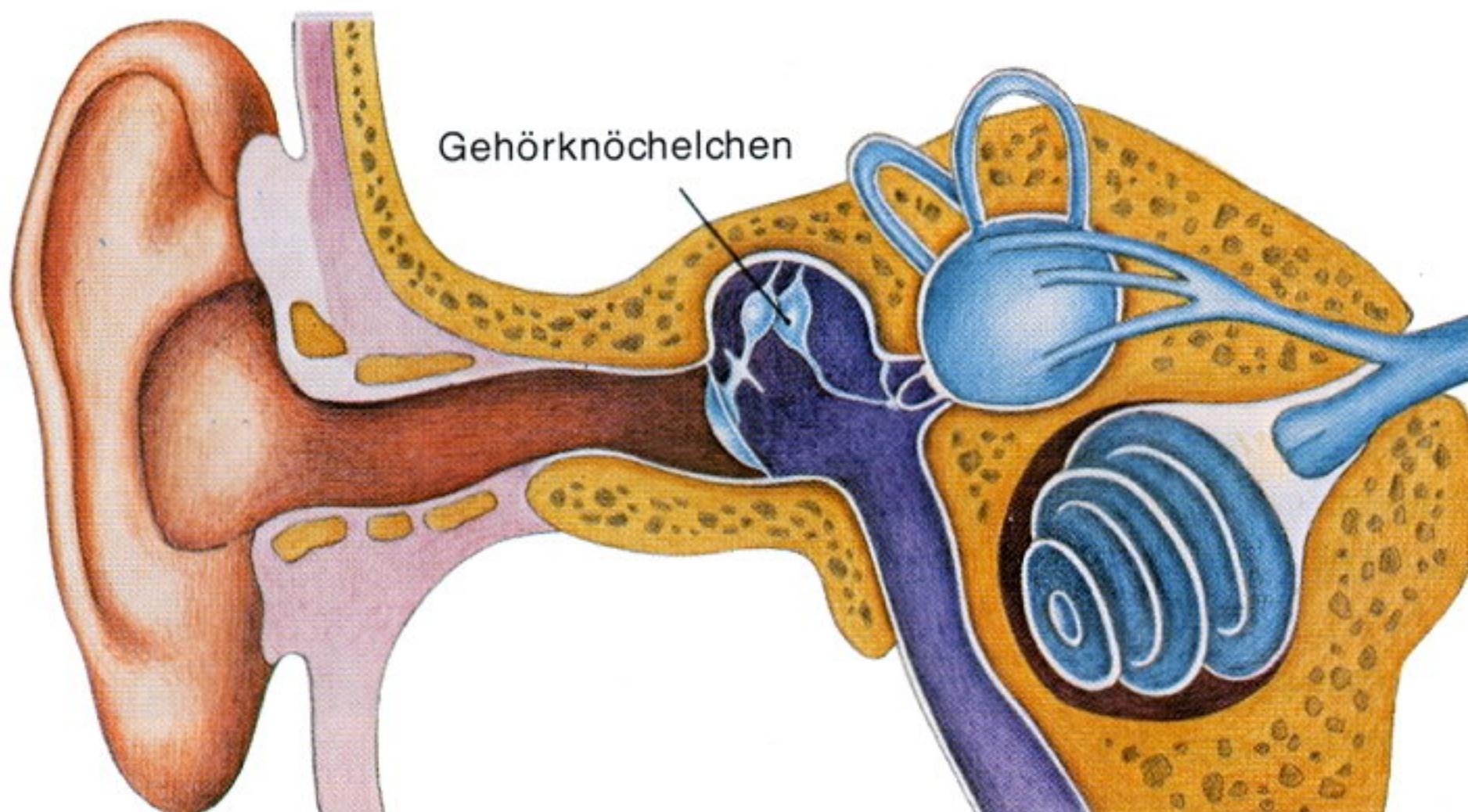
chen Stimme unübertroffen. Sie kann freundlich, böse oder befehlerisch sein, schmeichelnd, fröhlich oder weinerlich klingen. Eine Stimme kann weich, scharf, nasal oder kehlig sein und hundert andere Färbungen annehmen und zahllose Bedeutungen ausdrücken.

Jeder weiß, daß wir mit den Ohren hören, aber nur wenige sind sich darüber klar, wie dieses wunderbare Organ eigentlich arbeitet. Unser Hörorgan besteht aus dem Außenohr, dem Mittelohr und dem Innenohr. Das Außenohr besteht aus der Ohrmuschel,

Wie hören wir?

einem knorpeligen Gebilde außerhalb des Kopfes, und dem äußeren Gehörgang. Die Ohrmuschel fängt den Schall auf und leitet die Schallwellen in den Gehörgang und weiter zum *Trommelfell*, dem kreisförmigen Häutchen, hinter dem sich das komplizierte, hochempfindliche Mittelohr befindet. Die innere Fläche des Trommelfells wird von einem winzigen Knochen, dem *Hammer*, berührt. Dieser Hammer ist mit einem anderen kleinen Knochen, dem *Amboß*, verbunden. Und der Amboß ist wieder an einen dritten kleinen Knochen, den *Steigbügel*, angeschlossen. Diese drei Knochen nehmen fast die ganze Mittelohrhöhlung ein. Der untere Teil des Mittelohrs läuft in die *Eustachische Röhre* oder *Ohrtrumpe* aus, die zur Mundhöhle führt. Durch diese Röhre wird der Luftdruck auf beiden Seiten des Trommelfells ausgeglichen. Wenn wir schlucken oder gähnen, öffnet sich die Röhre – wir spüren es in den Ohren.

Nun das innere Ohr oder *Labyrinth*. Dem Steigbügel schließt sich eine schneckenförmige Röhre an, die sogenannte *Schnecke*. Über der Schnecke befinden sich die drei *Bogengänge*. Sie dienen dem Gleichgewichtsempfinden. Schnecke und Bogengänge sind mit einer Flüssigkeit gefüllt. Von der Schnecke führt der Gehörnerv ins Gehirn. Alle diese hochempfindlichen Tei-



Das menschliche Ohr fängt die Schallwellen mit der Ohrmuschel auf und leitet sie durch den Gehörgang zum Trommelfell. Dessen Schwingungen werden über die Gehörknöchelchen Hammer, Amboß und Steigbügel an das Innenohr weitergeleitet, die Gehörnerven schließlich geben die Reize an das zentrale Nervensystem weiter.

Das Topophon (griech. = Orthörer), erfunden 1880, sollte Seeleuten erleichtern, auch bei dichtem Nebel festzustellen, aus welcher Richtung ein Warnsignal, zum Beispiel der Ton einer Heulboje, kam. An beiden Enden des Topophons saß je ein Mikrophon; dadurch wurde die Zeitdifferenz, mit der die beiden Ohren das Signal wahrnahmen, erheblich vergrößert.



te des Gehörorgans sind durch einen dicken Schädelknochen geschützt. Wie geht nun das eigentliche Hören vor sich? Wenn Schallwellen auf das Trommelfell stoßen und es zum Schwingen bringen, wird durch diese Vibration auch der Hammer in Bewegung versetzt. Er schlägt bei jeder Schwingung gegen den Amboß, der wiederum die Schwingungen auf den Steigbügel überträgt. Diese drei winzigen Knochen verstärken die Vibrationsstärke des Trommelfells um mehr als das Zwanzigfache.

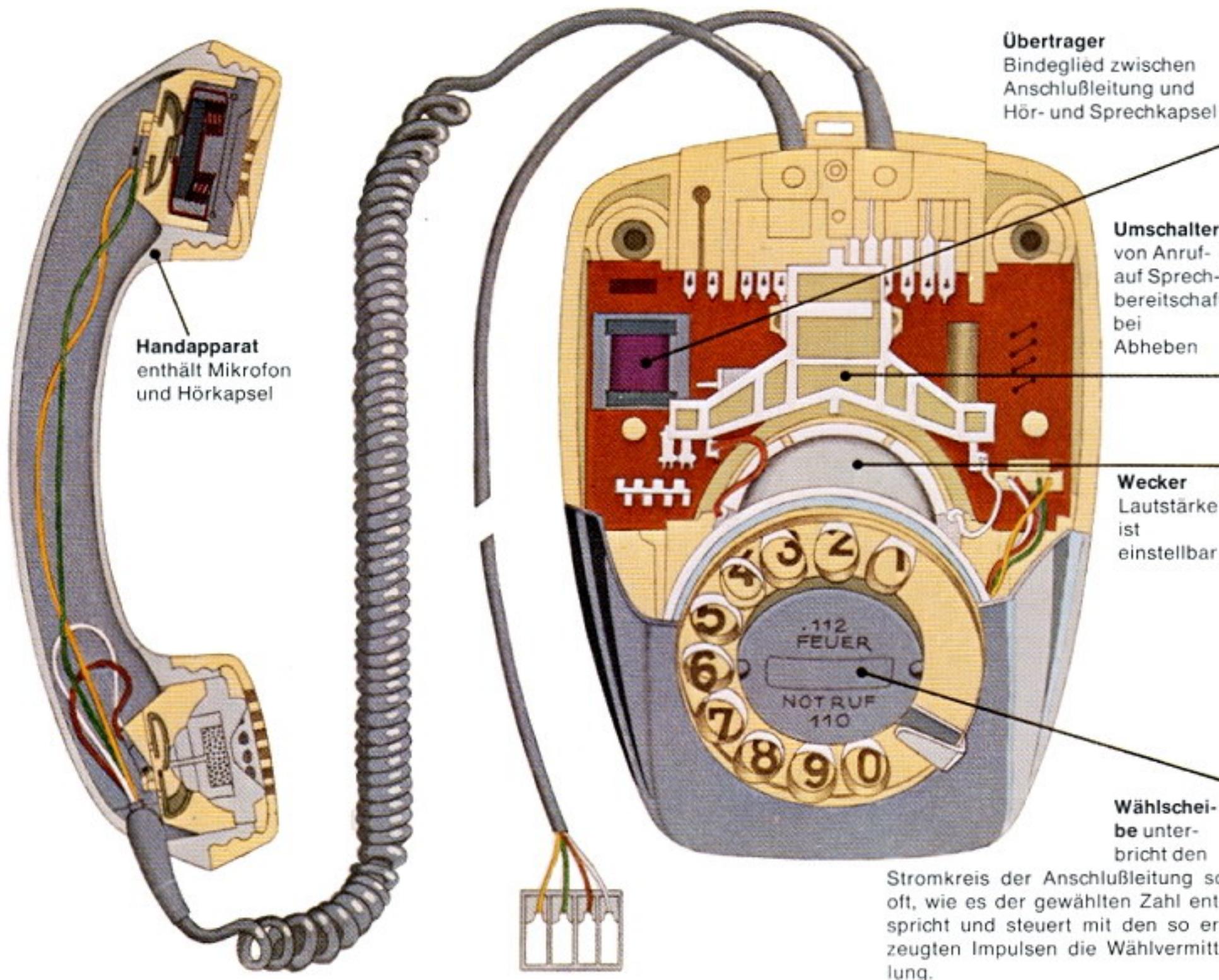
Der Steigbügel überträgt die Schwingungen auf die Flüssigkeit im inneren Ohr. Hier üben die Vibrationen einen Reiz auf das *Cortische Organ* aus, das den Nervenreiz ins Zentralnervensystem weiterleitet.

So einfach das Ohr von außen aussieht, so ungeheuer kompliziert ist es im Innern. Der Gehörnerv allein besteht aus 30 000 Nervenfasern, die durch die Spiralwindungen der Schnecke laufen, und wo der Gehörnerv in der Hirnrinde mündet, ist die Zahl der Nervenfasern noch dreißigmal größer. Unser Ohr kann dem Gehirn Schwingungen von 20 bis

zu 20 000 Hz vermitteln. Es hört noch das Summen einer Mücke in 6–7 m Entfernung. Es kann sogar noch Laute vernehmen, deren Amplitude weniger als der zweihundertmillionste Teil eines Zentimeters beträgt – das ist der halbe Durchmesser eines Wasserstoffatoms, des kleinsten Atoms überhaupt.

Eine weitere unglaubliche Leistung des Ohrs ist das *Richtungshören*: Ein Ton, zum Beispiel der Ruf eines Freundes, der von der Seite kommt, trifft das der Schallquelle nähere Ohr etwas früher als das andere. Da die Ohren beim Menschen etwa 16 cm weit auseinandersitzen, beträgt die Zeitdifferenz knapp $\frac{1}{2000}$ s. Kommt der Ton nicht direkt von links oder rechts, sondern schräg von vorn oder hinten, ist die Differenz noch wesentlich knapper. Aus diesen Sekundenbruchteilen erkennt das Hörzentrum, aus welcher Richtung der Ton gekommen ist.

Unter Wasser, zum Beispiel, wenn man taucht, ist das Richtungshörvermögen sehr viel geringer. Da der Schall sich im Wasser schneller als in Luft ausbreitet, ist die Schall-Zeitdifferenz dort noch geringer.



Links: Beim Telefonieren treffen die Schallwellen auf die Membran des Mikrofons und versetzen sie in Schwingungen. Im Mikrofon wird elektrischer Strom im Rhythmus der Sprachschwingungen verändert. Am anderen Ende der Verbindung werden die Stromschwankungen über einen Elektromagneten und die Membran in der Hörkapsel wieder in Schallschwingungen umgesetzt.

Der Schall als Nachrichtenübermittler

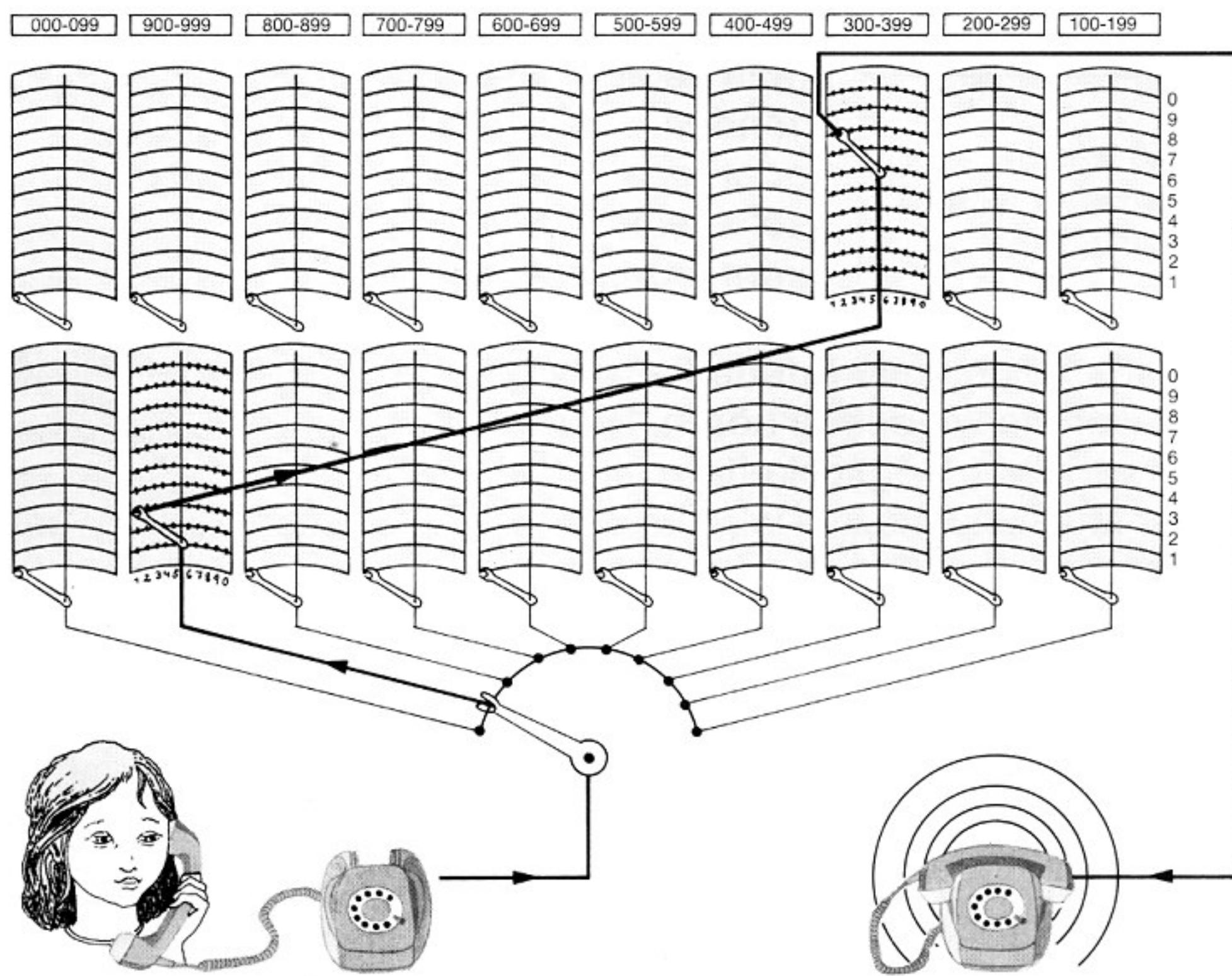
Das Telefon überträgt den Schall nicht direkt. Dennoch hören wir an einem Ende der Leitung, was am andern Ende der Leitung, oft viele hundert Kilometer entfernt, gesprochen wird. Wie kommt das?

Eine Fernsprechanlage besteht – außer der Leitung – aus zwei Mikrofonen und zwei Lautsprechern. Jeder der beiden Gesprächsteilnehmer spricht in ein Mikrofon und hat einen Lautsprecher zum Hören.

Im Mikrofon befindet sich eine kleine runde Schachtel, die mit Kohlekörnchen gefüllt ist. Den Deckel der Schachtel bildet eine dünne Metallscheibe, die *Membran*. Wenn wir in das Mikrofon sprechen, setzen die Schallwellen un-

Wie funktioniert das Telefon?

serer Stimme die Membran in Schwingungen. Jede Vibration der Membran drückt die Kohlekörnchen für einen kurzen Augenblick zusammen. Die Telefondrähte, die unseren Fernsprecher mit dem Apparat unseres Gesprächspartners verbinden, bilden einen geschlossenen Stromkreis. Jedesmal, wenn die Membran die Kohlekörnchen zusammendrückt, verringert sich der elektrische Widerstand der Kohlekörnchen und es fließt mehr Strom in den Stromkreis. Wenn die Körnchen lockerer liegen, fließt weniger Strom. Auf diese Weise ändert sich die Stärke des elektrischen Stroms im Stromkreis des Telefons von Augenblick zu Augenblick, je nach den Schwingungen der Membran. Im Lautsprecher unseres Gesprächsteilnehmers befindet sich ebenfalls eine Membran, die auf einem



Mitte: Durch das Drehen der Wähl scheibe stellt der Wäh lende einen geschlos senen Stromkreis zwischen seinem und dem Appar at des gewüns chten Gesprächspartners her. — Rechts: Im Netz des Selbstwähl ferndienstes der Bundespost gibt es acht Zentralvermittlungen. An jede Zentralvermittlung sind mehrere Hauptvermittlungen, daran Knotenvermittlungen und an diese die Endvermittlungen der zugehörigen Orts netze angeschlossen. Hebt ein Teilnehmer den Hörer ab, ist er mit einer Ortsvermittlung verbunden. Nach den Ziffern, die er nun wählt, steuern die Vermittlungseinrichtungen sein Gespräch zu dem gewünschten Anschluß. Die Kennzahlen ausländischer Orts netze beginnen mit zwei Nullen. Wählt der Anrufer diese beiden Ziffern, ist die Leitung zur Auslandsvermittlung geschaltet.

Magneten gelagert ist. Die Kraft, die der Magnet auf die Mem bran ausübt, än dert sich je nach der Stromstärke. Ist die Anziehungskraft groß, bewegt sich die Mem bran auf den Magneten zu; lässt die Anziehung nach, schwingt die Mem bran vom Magneten fort. Diese Hin- und Herbewegung der Mem bran erzeugt Luftwellen, die als Laute gehört werden. Weil die Schwingungen der Mem bran im Mikrophon den Fluß des elektri schen Stroms bestimmen, verursachen sie die gleichen Schwingungen bei der Mem brane des Lautsprechers. Deshalb sind die Schallwellen, die den Lautspre cher verlassen, die gleichen, die das Mikrophon eingefangen hat. Darum hö ren wir und unser Gesprächsteilnehmer die Laute aus der Hörmuschel so, als ob der Schall direkt durch den Draht gegangen wäre.

Das Mikrophon eines Rundfunk senders

Wie empfängt das Radio den Schall?

ist in seiner Kon struktion dem Mi krophon des Fern sprechers sehr ähnlich. Die Schallwellen, die

vom Mikrophon eingefangen werden, erzeugen verschiedene elektrische Impulse. Diese Stromstöße fließen nun durch Drähte, aber nicht direkt in die Radiogeräte, sondern zu einer Sende anlage, die die elektrischen Impulse in Radiowellen verwandelt und dann aus strahlt.

Diese Wellen wandern durch den Äther, und wenn sie über eine Antenne einen Radioempfänger erreichen, wer den sie wieder in Schallwellen zurück verwandelt, ähnlich wie die Stromstöße im Lautsprecher eines Telefonhörers.

Noch vor nicht allzulanger Zeit konnte

Wie kann man den Schall festhalten?

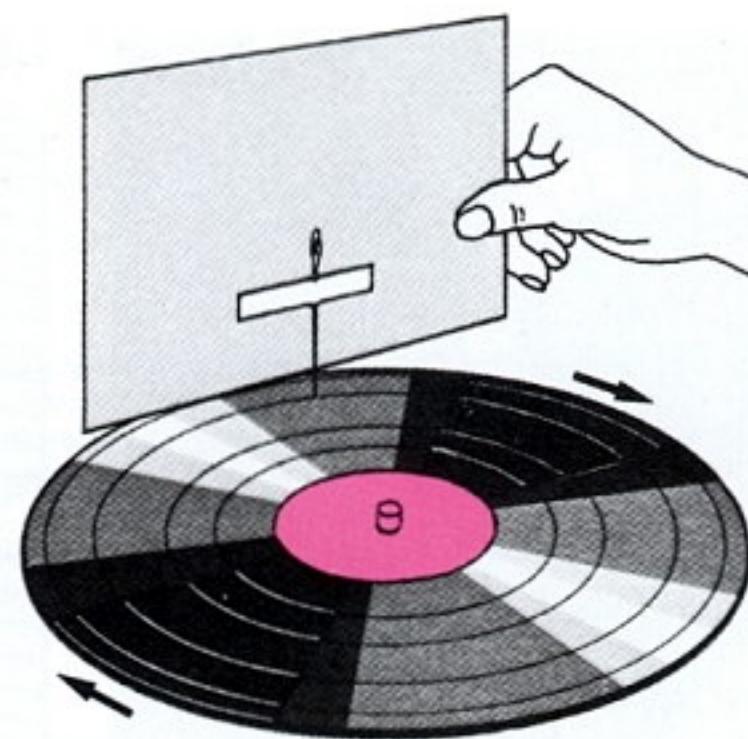
man einen glänzenden Vortrag oder das Geigen-solo eines Musi-kers oder die ersten Worte eines

Kindes nur einmal erleben – das gleiche war nie wieder zu hören. Heute haben wir zwei Möglichkeiten, alle Worte oder Musikstücke, die wir hören wollen, jederzeit vorzuführen: die Schallplatte und das Tonband. Wann gelang es zum erstenmal, einen Ton festzuhalten? Im Jahre 1877 umwickelte der amerikanische Erfinder Thomas Alva Edison eine hölzerne Walze mit einer Zinnfolie. Die Walze konnte mit Hilfe einer Kurbel, die an einem Ende befestigt war, gedreht werden.

Dann verschloß Edison einen Trichter an seiner engsten Stelle mit einer Metallmembran. An ihr befestigte er eine Nadel, deren Spitze genau auf der Zinnfolie auflag. Nun drehte Edison die Walze mit der Kurbel und sang vor dem Trichter das englische Kinderlied: „Maria hatte ein Lämmchen ...“

Seine Stimme, genauer gesagt, die

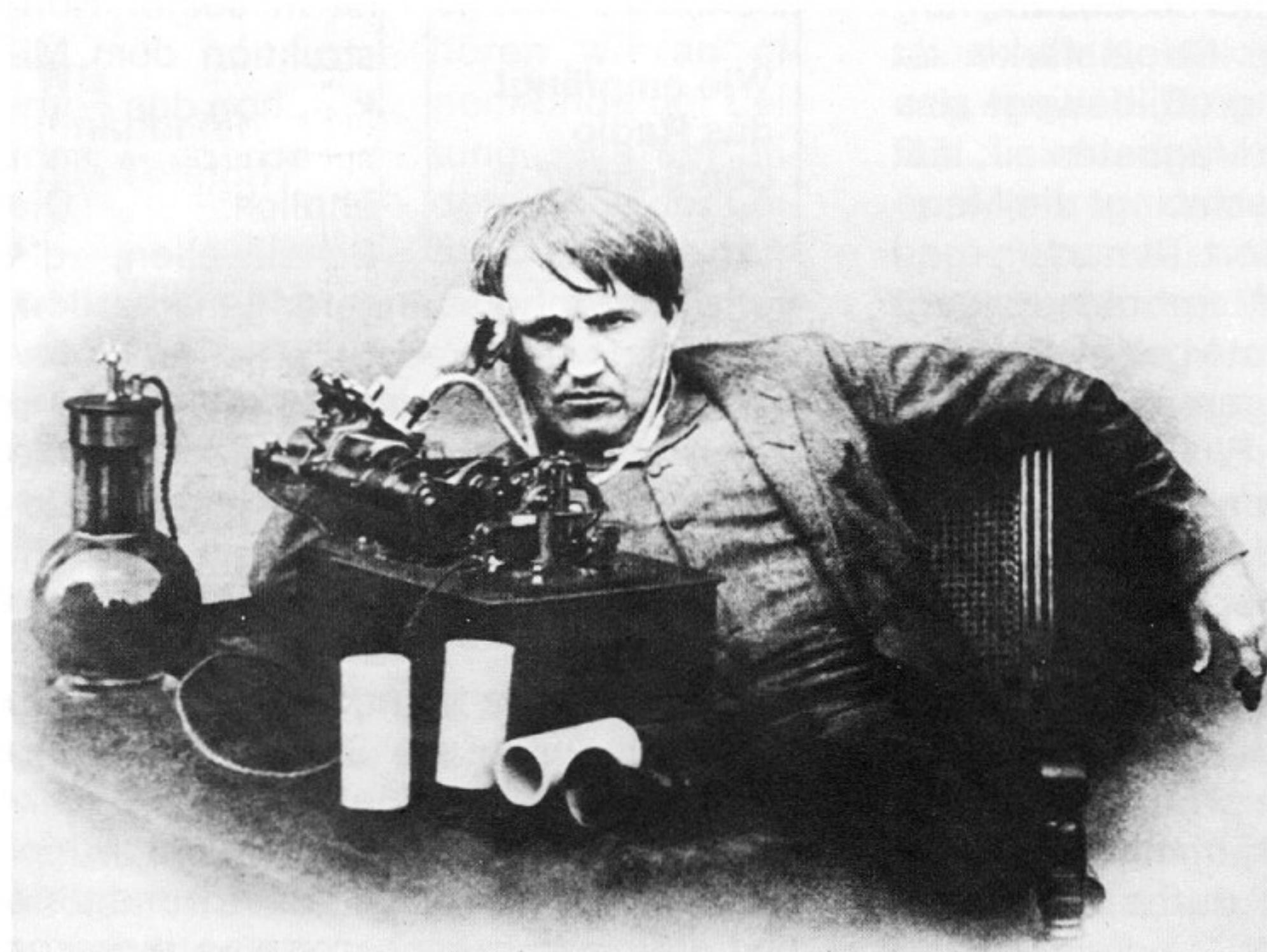
Wir kleben eine Nähnadel auf einen dünnen Karton und setzen die Nadelspitze leicht in die Rille einer Schallplatte. Wenn die Platte sich dreht, strahlt der Karton die Musik hörbar ab.



Schallwellen seiner Stimme brachten die Membran zum Schwingen, die Membran wiederum bewegte die Nadel auf und ab, diese ritzte die Schwingungsmuster der Töne in die Folie. Als Edison mit dem Lied zu Ende war, setzte er die Nadel wieder dort auf die Folie, wo die geritzte Linie begann und drehte erneut die Kurbel. Die Nadel fuhr die Linien entlang, die Membran vibrierte, und aus dem Trichter tönte es mit schwacher, blecherner Stimme: „Maria hatte ein Lämmchen ...“ Der *Phonograph* war erfunden.

Später wurde die Zinnfolie durch eine Wachsfolie und der Zylinder durch eine flache Scheibe ersetzt.

Seit den Zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts macht man es anders:



Dieses weit über 100 Jahre alte Foto zeigt den amerikanischen Ingenieur Thomas Alva Edison (1847 bis 1931) mit seinem ersten Phonographen, dem Vorläufer unseres Grammophons. Vorher hatte Edison bereits das Kohle-körnchenmikrofon erfunden. Neben dem Kinematographen, der Kohlenfadenlampe und dem Eisen-Nickel-Akku verdankt die Technik dem genialen Erfinder noch eine große Anzahl weiterer Ideen.

Der Schall wird in einem Mikrofon in elektrische Impulse umgewandelt. Diese wirken auf die Anziehungskraft eines Magneten ein, der eine Nadel führt. Die Nadel ritzt Furchen in die Kunstharzlackschicht einer Schallplatte. Die Folie wird mit einem Metallüberzug versehen, der zunächst verstärkt und dann abgenommen wird. Dieser Überzug bildet die *Matrize*, aus der wiederum die *Preßmatrize* hergestellt wird. Die Preßmatrize schließlich ist die Negativform der späteren Schallplatten. Sie werden aus Schellack gepreßt.

Die Nadel, mit der eine Platte abgespielt wird, ist an einen Apparat angeschlossen, der wie ein Mikrofon wirkt; er setzt die Nadelbewegung in Impulse um, gibt diese an einen Magneten weiter und erzeugt damit Töne im Lautsprecher.

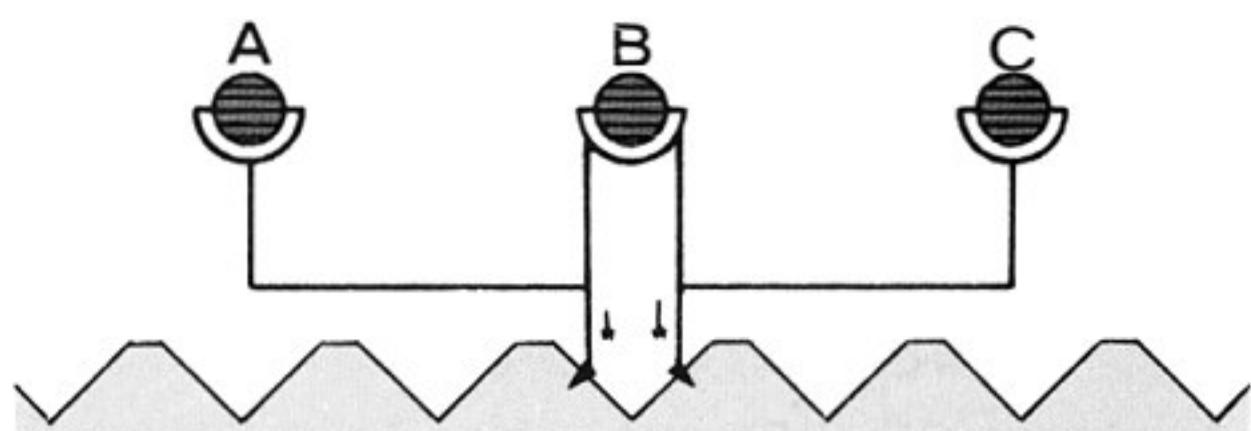
Wer sich in einem Konzert schon einmal für kurze Zeit ein Ohr zugehalten hat, wird es bemerkt haben: Mit zwei Ohren hören wir Töne voller als

Was ist Stereo-Klang?

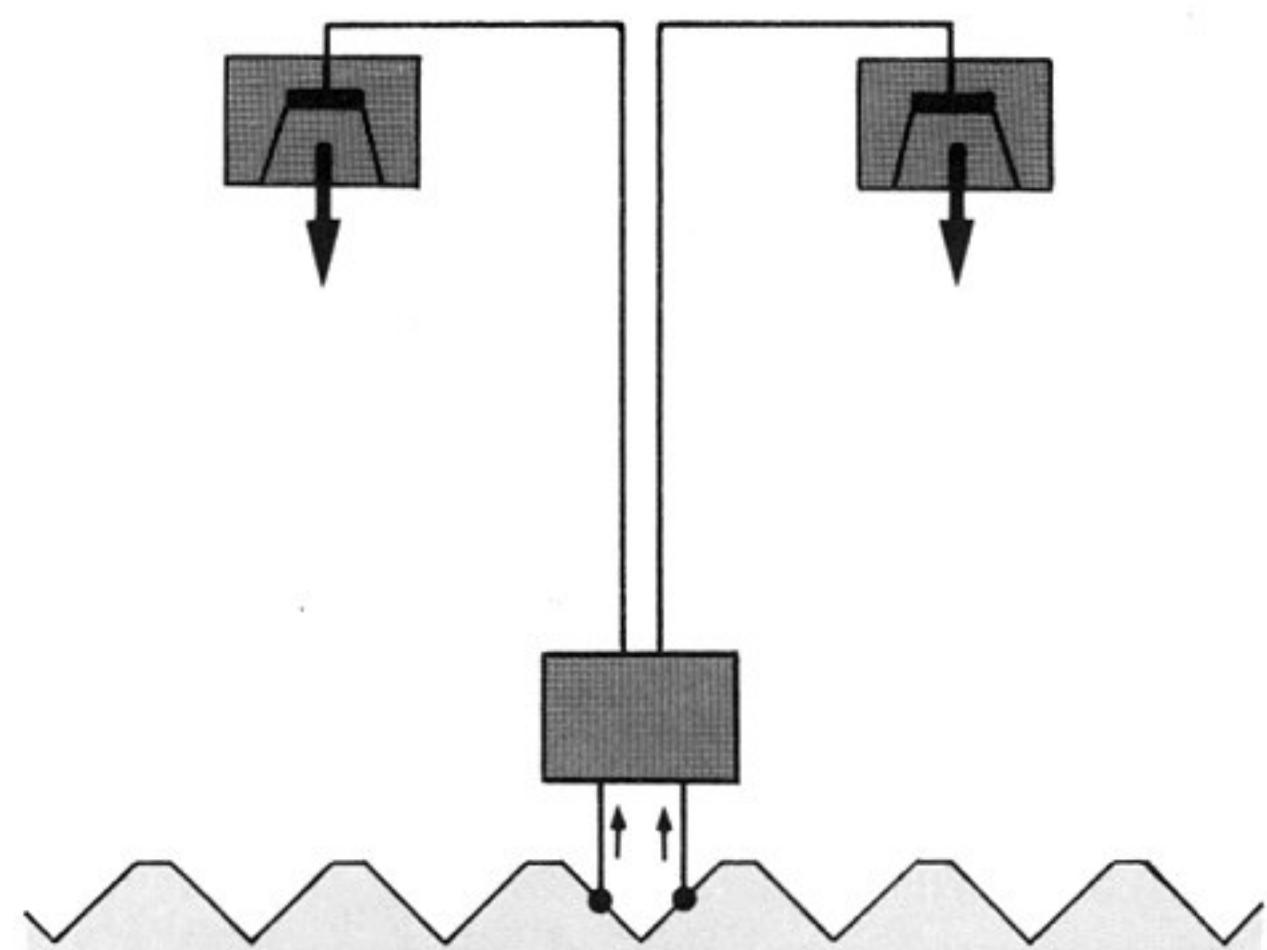
mit einem Ohr. Der Musik fehlt die Tiefe und Ausdruckskraft, wenn man sie nur mit einem Ohr hört.

Wenn man bei einer Plattenaufnahme nur ein Mikrofon benutzt, erzielt man keinen räumlichen Eindruck. Benutzt man aber zwei oder mehr, um die von rechts und links kommenden Töne aufzunehmen, bewirkt man einen *räumlichen* oder *Stereo-Effekt*, wie beim direkten Hören in einem Konzertsaal.

Bei diesem Verfahren schneidet die Nadel je eine Zickzacklinie in den linken und den rechten Schenkel der V-förmigen Plattenrinne. Beim Abspielen einer solchen Platte wird der Ton jeder Linie getrennt wiedergegeben. Die so erzeugten elektrischen Impulse fließen zu zwei Lautsprechern. Sie bilden zusammen einen Klang von großer Tiefe



Aufnahme einer Stereo-Platte: Die vom Orchester gespielte Musik wird von drei verschiedenen Mikrofonen aufgenommen. Der Schall der Mikrofone A und B wird auf die linke, der von B und C auf die rechte Rillenseite der Aufnahmeplatte übertragen.

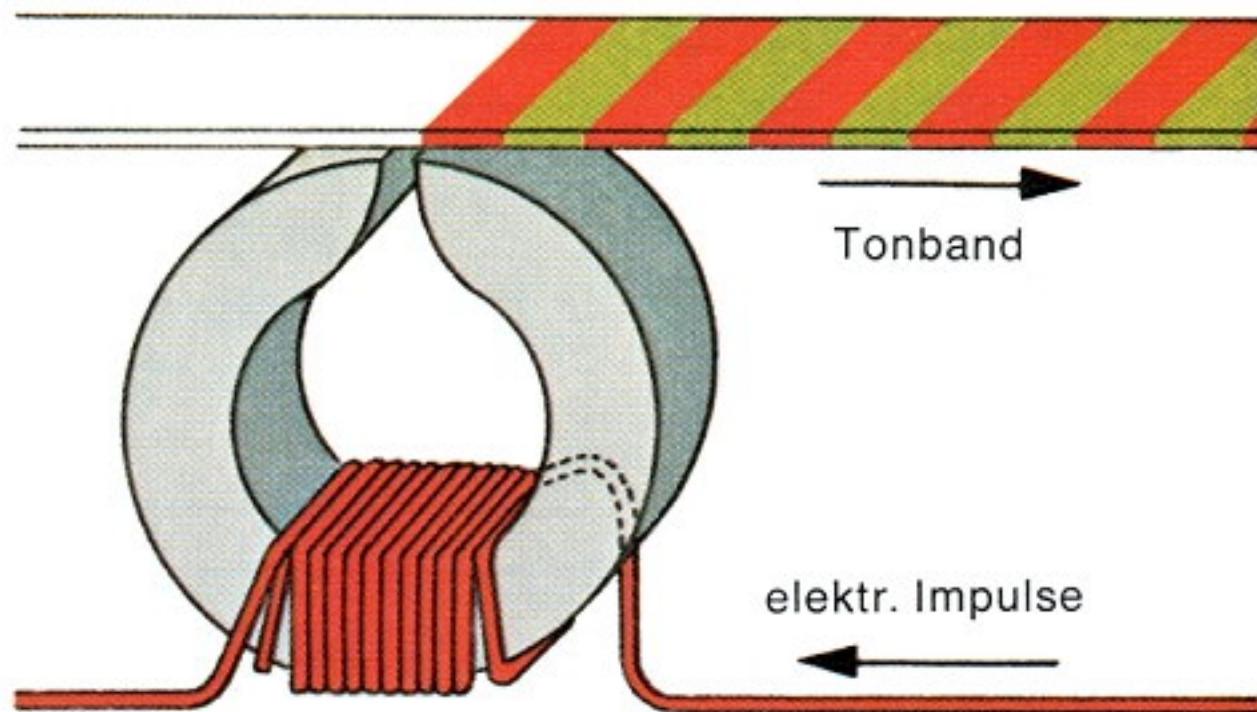


Wiedergabe: Die Stereo-Nadel tastet beide Spuren gleichzeitig ab. Die Impulse werden verstärkt und über zwei Lautsprecher abgestrahlt. Wenn die Lautsprecher so aufgestellt werden, daß ihre Töne von den Wänden reflektiert werden, ist die Stereo-Wirkung am besten.

und Dimension – man hat das Empfinden, im gleichen Raum zu sitzen, in dem die Tonaufnahme gemacht wurde.

Auch bei einem Tonbandgerät wird ein Mikrofon benutzt, um die Schallwellen in elektrische Impulse umzuwandeln. Hierbei wirken die Impulse auf einen Magneten ein. Vor

Wie funktioniert ein Tonbandgerät?



Beim Tonbandgerät läuft ein Kunststoffband mit einer Eisenoxyd-Beschichtung am Tonkopf vorbei. Der Sprechstrom, der sich im Rhythmus der aufgenommenen Laute ändert, magnetisiert das Eisenoxyd dem Rhythmus entsprechend.

dem Magneten wird ein Band von einer Spule auf eine andere umgespult; die Spulen werden von einem Elektromotor gedreht. Das Band besteht aus Kunststoff mit einer Auflage von magnetisierbaren Eisenoxydstäubchen. Das vorüberziehende Band wird nun magnetisiert, und je kräftiger der Magnet auf den Teil des Bandes einwirkt, der gerade vor ihm liegt, desto stärker wird die Schallwelle auf dem Band fixiert.

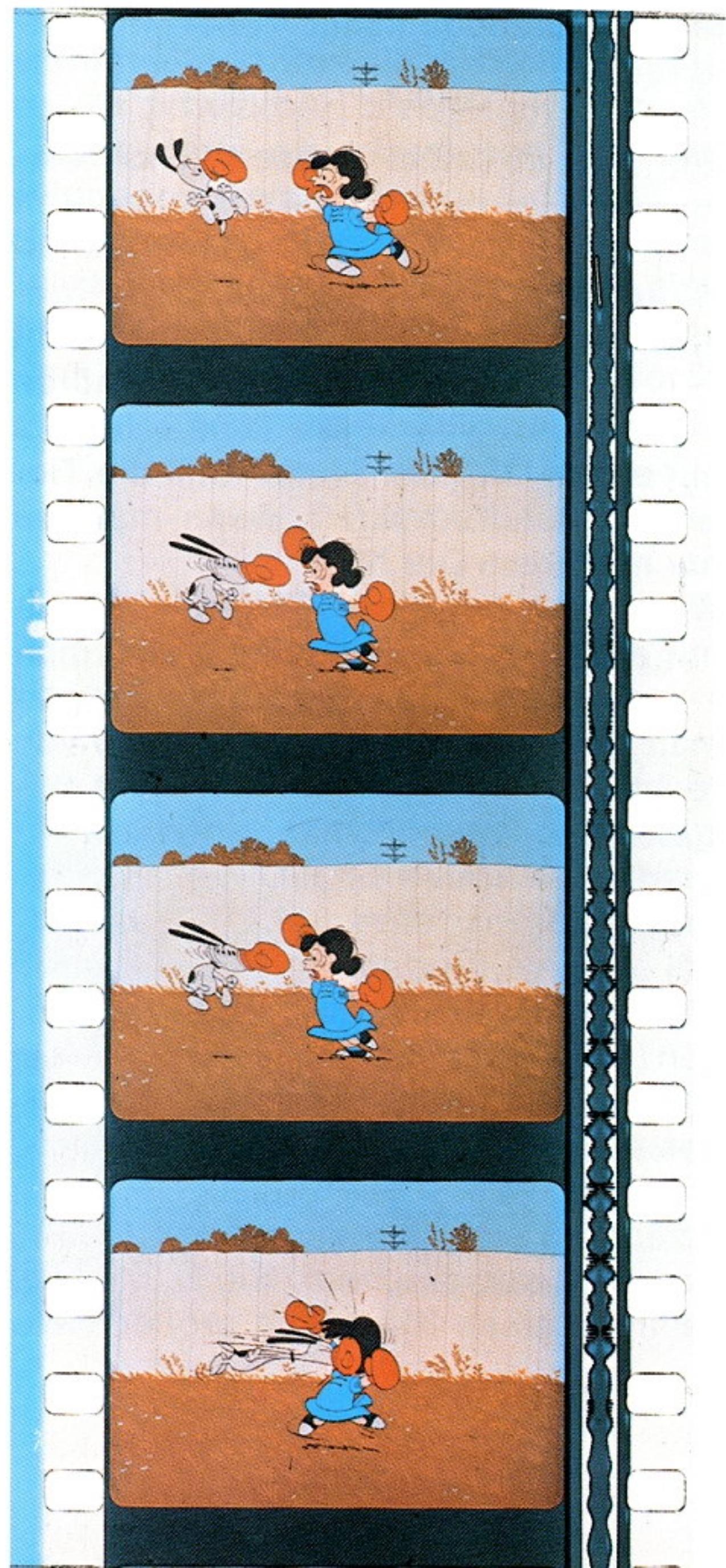
Wenn man die Töne des magnetisierten Bandes abhören will, lässt man es wieder von einer Spule auf die andere laufen. Wenn jetzt das Band am Magneten vorbeizieht, verändern die verschiedenen stark magnetisierten Abschnitte des Bandes die Kraft des Magneten. Der Lautsprecher verwandelt die unterschiedliche Kraft des Magneten in Töne, genau wie es beim Telefonhörer, beim Radio- oder Plattenlautsprecher geschieht.

Tonbandgeräte dienen auch medizinischen Zwecken. Ärzte können mit ihrer Hilfe Herzschläge festhalten und sie später wieder abhören. Solche Tonbänder können zusammen mit der Krankengeschichte aufbewahrt werden.

Neben der rechten Lochung eines Filmstreifens läuft die sog. „Tonspur“, das ist ein schmales Magnetband, auf dem die zu der Szene passenden Worte, Töne und Geräusche aufgezeichnet sind.

Dieses *Magnettonverfahren* wird auch

bei der Tonaufnahme eines Filmes verwendet. Der Außenrand des Films besteht aus einem Magnetband, das den Ton aufnimmt und bei der Filmvorführung wieder über den Lautsprecher abstrahlt. Durch das gleichzeitige Festhalten von Bild und Ton auf einem Filmstreifen stimmt jedes Geräusch im Film exakt mit dem Bildgeschehen überein. Die Mundbewegung des Schauspielers entspricht genau den gehörten Worten, und wenn der Cowboy seinen Colt abdrückt, knallt im rechten Moment der Schuß.





Das britisch-französische Überschall-Passagierflugzeug „Concorde“ fliegt im Linienverkehr 2385 km/h.

Schneller als der Schall

Wenn eine Boeing 747 „Jumbo“ mit 900 km/h ihrem Ziel entgegenfliegt, staut sich die Luft vor ihrem Bug. Die so entstandene Druckwelle eilt dem Flugzeug mit Schallgeschwindigkeit voraus.

Ganz anders bei Überschallflugzeugen, das sind Flugzeuge, die schneller fliegen können, als der Schall sich ausbreitet: Wenn zum Beispiel die britisch-französische Passagiermaschine „Concorde“ oder das Jagdflugzeug der Bundesluftwaffe „Phantom“ die Schallgeschwindigkeit (in Meereshöhe etwa

Was ist eine Schallmauer?

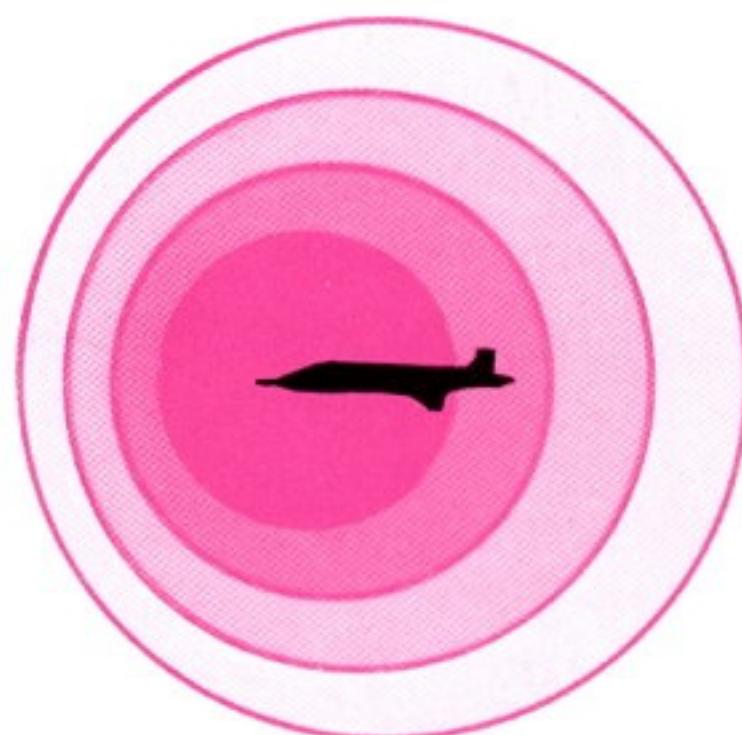
1220 km/h) erreichen, sind sie genauso schnell wie die Druckwelle, die sie erzeugten. Sie schieben die zusammengedrückte Luftmasse gewissermaßen vor sich her. Dazu brauchen die Flugzeuge gewaltige Energien. Diese Luftstauung nennt man *Schallmauer*.

Wenn nun ein Flugzeug die Schallmauer durchbricht, wenn es also schneller als der Schall fliegt, überholt es den Luftstau. Die Maschine muß ihn durchfliegen – und dazu braucht sie noch mehr Energie. Die Druckwellen, die sich dabei von ihrem Rumpf kegelförmig nach hinten ausbreiten, werden von uns als Knall empfunden – das ist dann der berüchtigte *Überschallknall*.

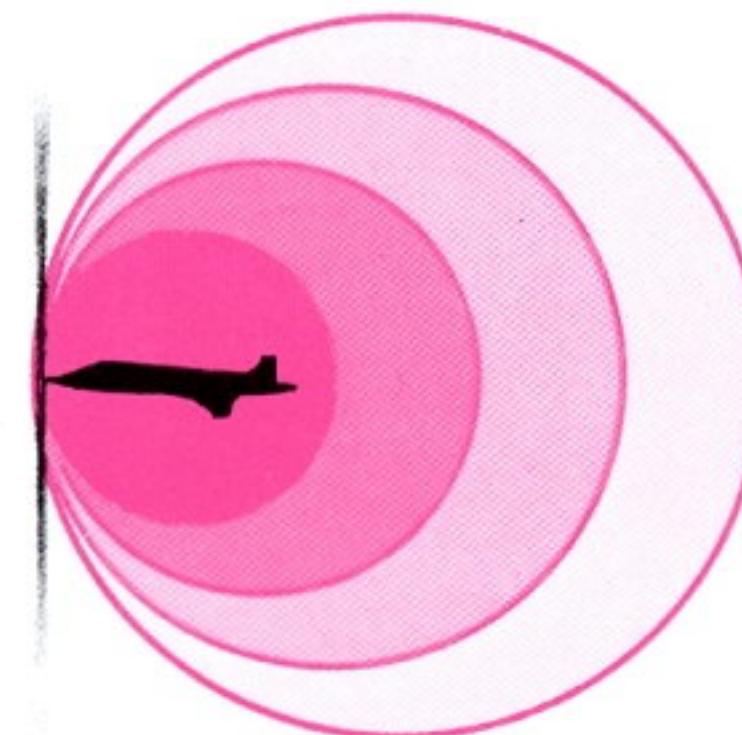
Diesen Überschallknall zieht das Flugzeug wie einen Lärmteppich hinter sich her; an jeder Stelle, die es auf seiner Route in Überschallgeschwindigkeit überfliegt, ist der Knall einen Augenblick lang zu hören.

Unter der Druckwelle des Überschallknalls können Fensterscheiben zerbrechen, Ziegeldächer können abgedeckt werden, und leicht gebaute Häuser können sogar einstürzen. Daher dürfen

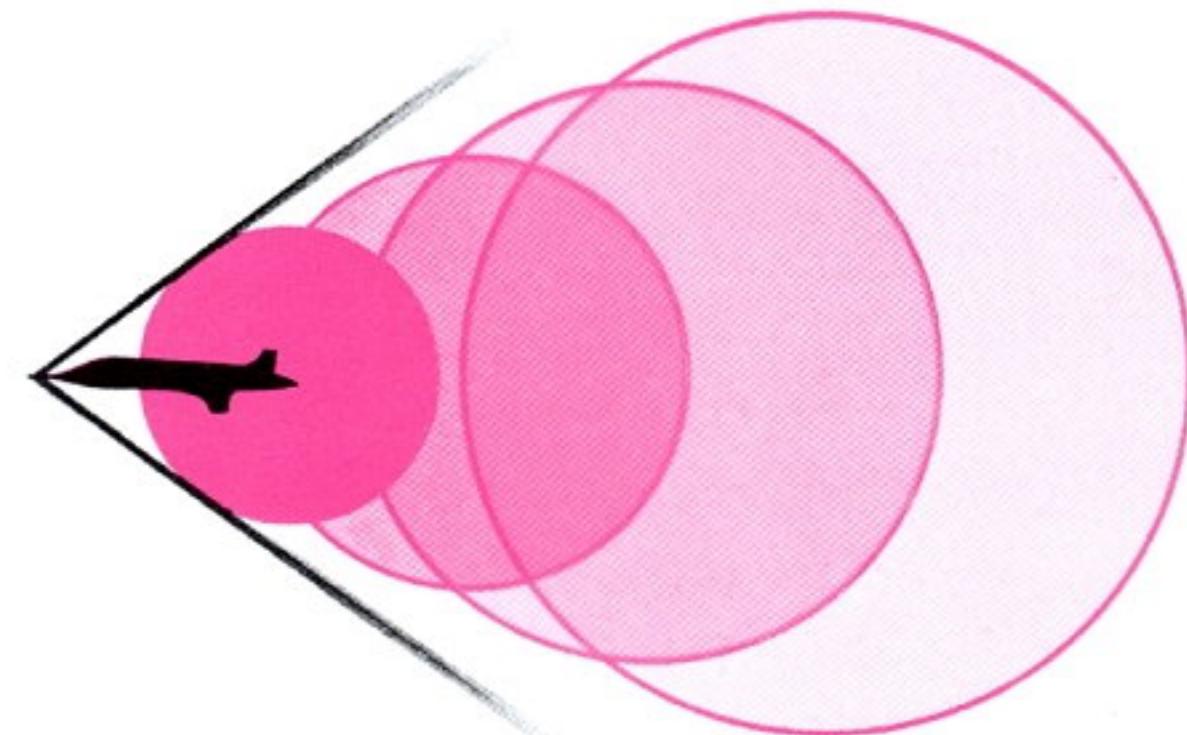
Flugzeuge bewohnte Gebiete nicht mit Überschallgeschwindigkeit überfliegen. Auch Geschosse aus Gewehren und Kanonen können Überschallgeschwindigkeiten bis 6000 km/h erreichen. Aber selbst im täglichen Leben bewegen sich manche Dinge so schnell, daß sie die Schallmauer durchbrechen. Der Knall einer Peitsche zum Beispiel entsteht dadurch, daß die Peitschenspitze sich in dem Moment, wenn man den Peitschenstiel ruckartig auf- und dann wieder abwärts schlägt, mit Überschallgeschwindigkeit bewegt.



Wenn ein Flugzeug langsamer als der Schall fliegt, bleibt es innerhalb der Druckwellen, die von ihm ausgehen. Die Schallwellen eilen also dem Flugzeug voraus.



Fliegt das Flugzeug mit Schallgeschwindigkeit, bleiben die nach vorn gerichteten Schallwellen mit dem Flugzeug in gleicher Höhe. Sie stauen sich zu einer Schockwelle, die senkrecht zur Flugrichtung steht.



Bei Überschallgeschwindigkeit durchstößt das Flugzeug die Schockwelle, die sich nun kegelförmig nach hinten ausbreitet. Die Schockwelle wird auf der Erde als Überschallknall wahrgenommen.

Vier Fragen aus der Welt des Schalls

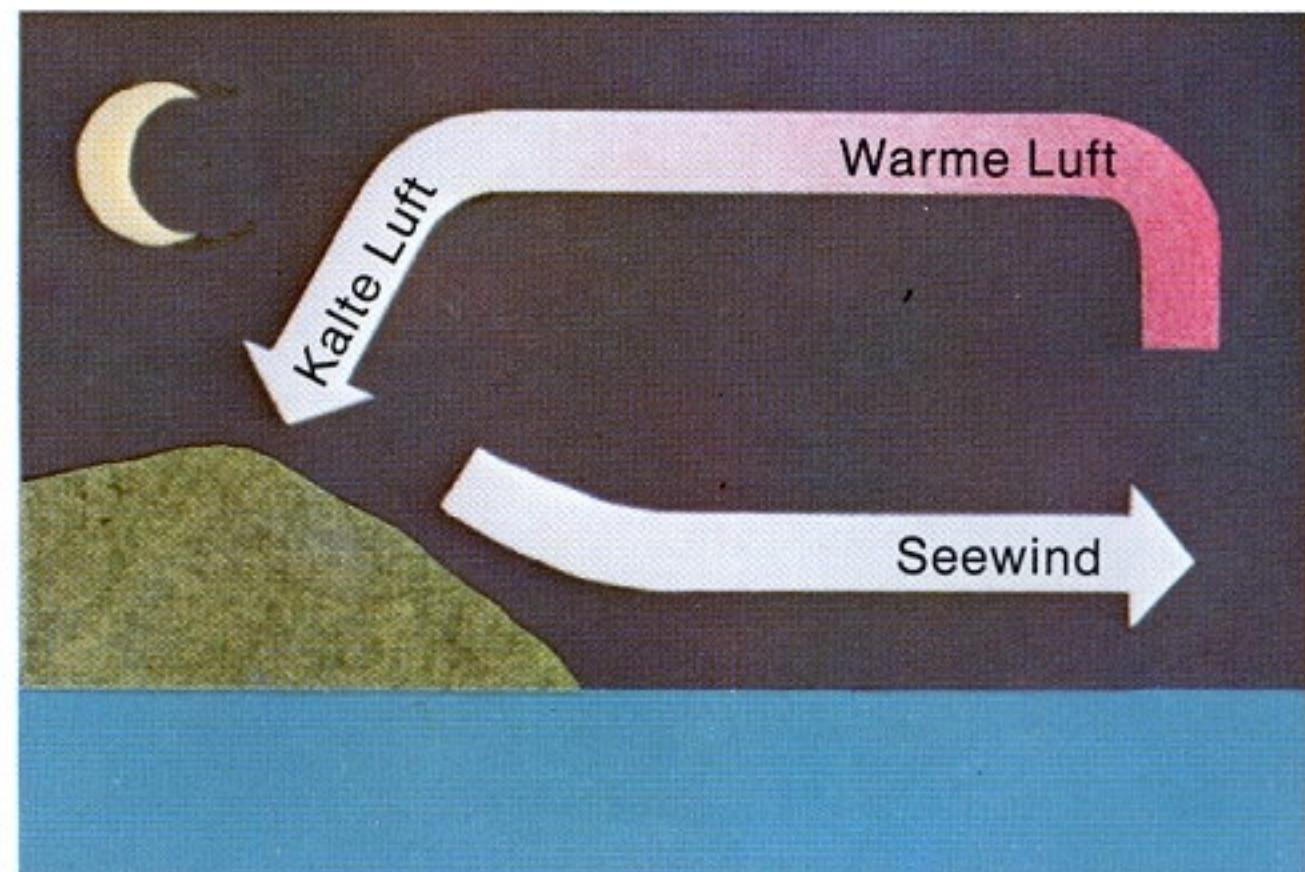
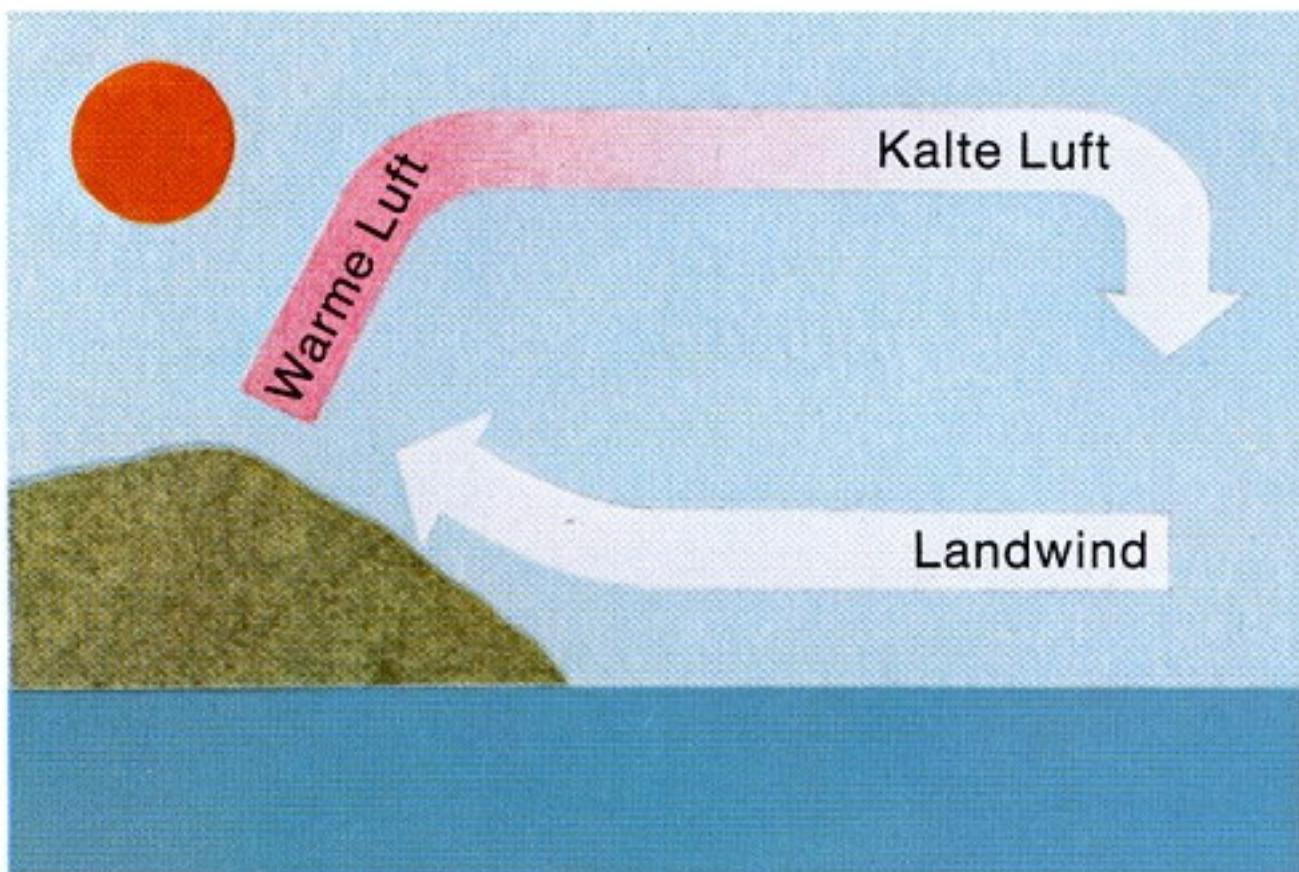
Wir wissen jetzt so viel über den Schall, daß wir die folgenden Fragen leicht beantworten können. Jeder soll versuchen, selbst eine Antwort zu finden, bevor er im Text die Lösung nachliest.

Im Sommer an der Küste wundert man sich manchmal, wie gut die Laute von Booten zu hören sind, die nicht weit vom Ufer auf dem Wasser liegen. Und in der Nacht kann man drau-

Hören wir am Tage besser als in der Nacht?

ßen in den Booten überraschend deutlich alles hören, was vom Lande herübertönt. Woher kommt das?

An einem sonnigen Tag erwärmt die Sonne die Erdoberfläche schneller als die Wasserfläche. Die Luft über der Erde steigt hoch. In den luftverdünnten Raum über dem Erdboden strömt die kühlere Luft der Wasseroberfläche. Diese Luft trägt nun die Laute, die auf dem Wasser erzeugt werden, ans Land. Nachts kühlt die Erde schneller ab als das Wasser. Die warme Luft über dem Wasser steigt nach oben, kühlere Luft



An Küsten wechseln die Windrichtungen mit den Tageszeiten: Tags gibt es Landwind, nachts Seewind.

vom Lande fließt nach. Der Luftstrom zieht jetzt in umgekehrter Richtung – vom Lande zum Wasser. Und die Laute am Ufer werden zu den Menschen draußen auf den Booten hinausgetragen.

Wenn Soldaten in einer langen Kolonne hinter einer Kapelle hermarschieren, geraten die Männer der letzten Reihe leicht aus dem Gleichschritt.

Warum kommen Soldaten aus dem Gleichschritt?

Wie kommt das?

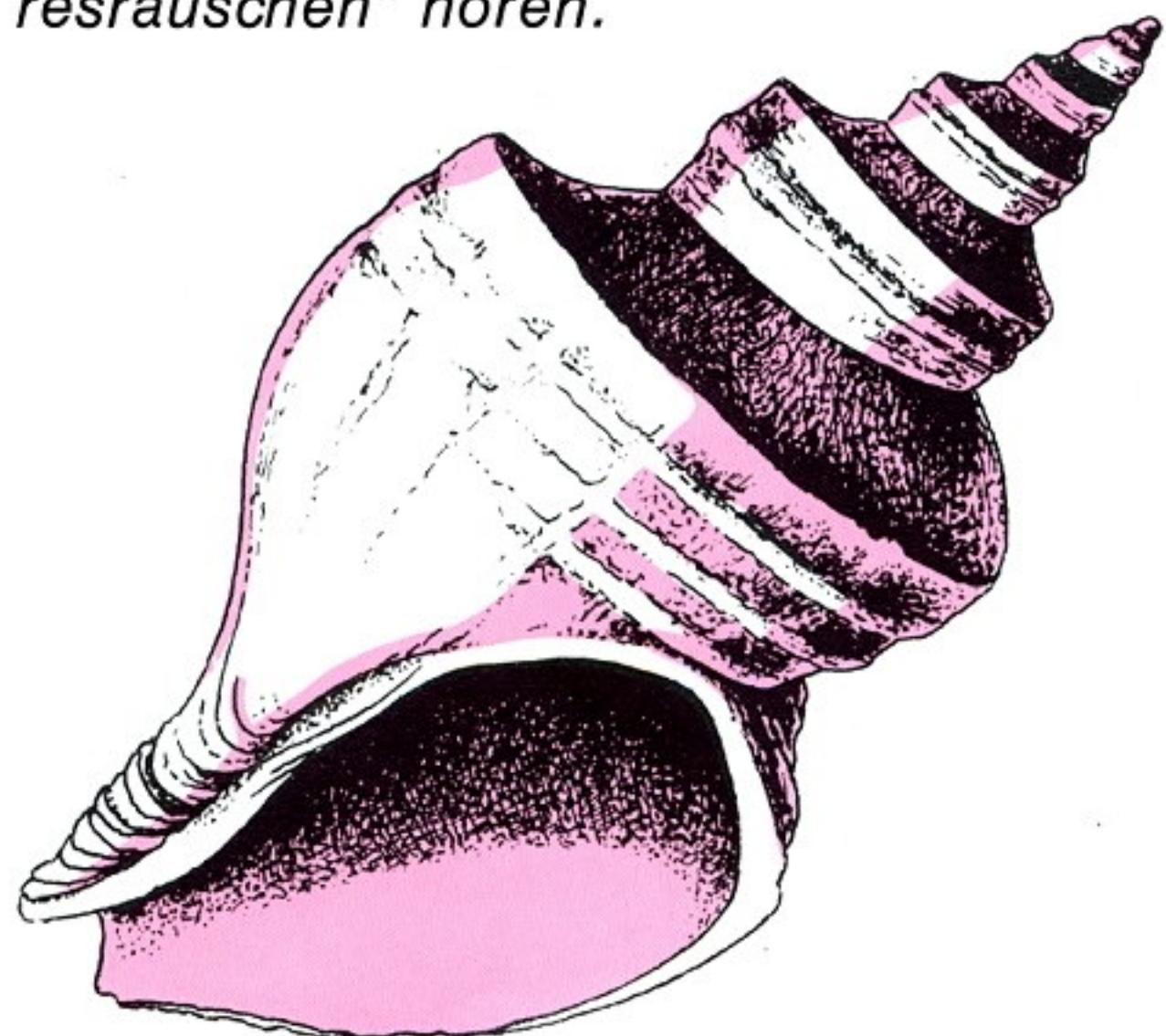
Wir wissen, daß der Schall eine gewisse Zeit braucht, um eine Strecke durch die Luft zurückzulegen. Ist die Kolonne nun 200 Meter lang, hören die Soldaten am Schluß die Musiktöne um $\frac{2}{3}$ Sekunde später, und ihre Schritte verzögern sich entsprechend.

Ein Junge fand am Strand eine große Muschel. Er hielt sie ans Ohr und hörte ein Geräusch, das wie Meeresrauschen klang. Der Junge nahm die Muschel mit nach Hause und freute sich darauf, sie seinen Freunden vorzuführen. Auf dem Heimweg fuhr er mit dem Bus, und immer wieder hielt er sich die Muschel ans Ohr: Trotz des Verkehrslärms konnte er deutlich das

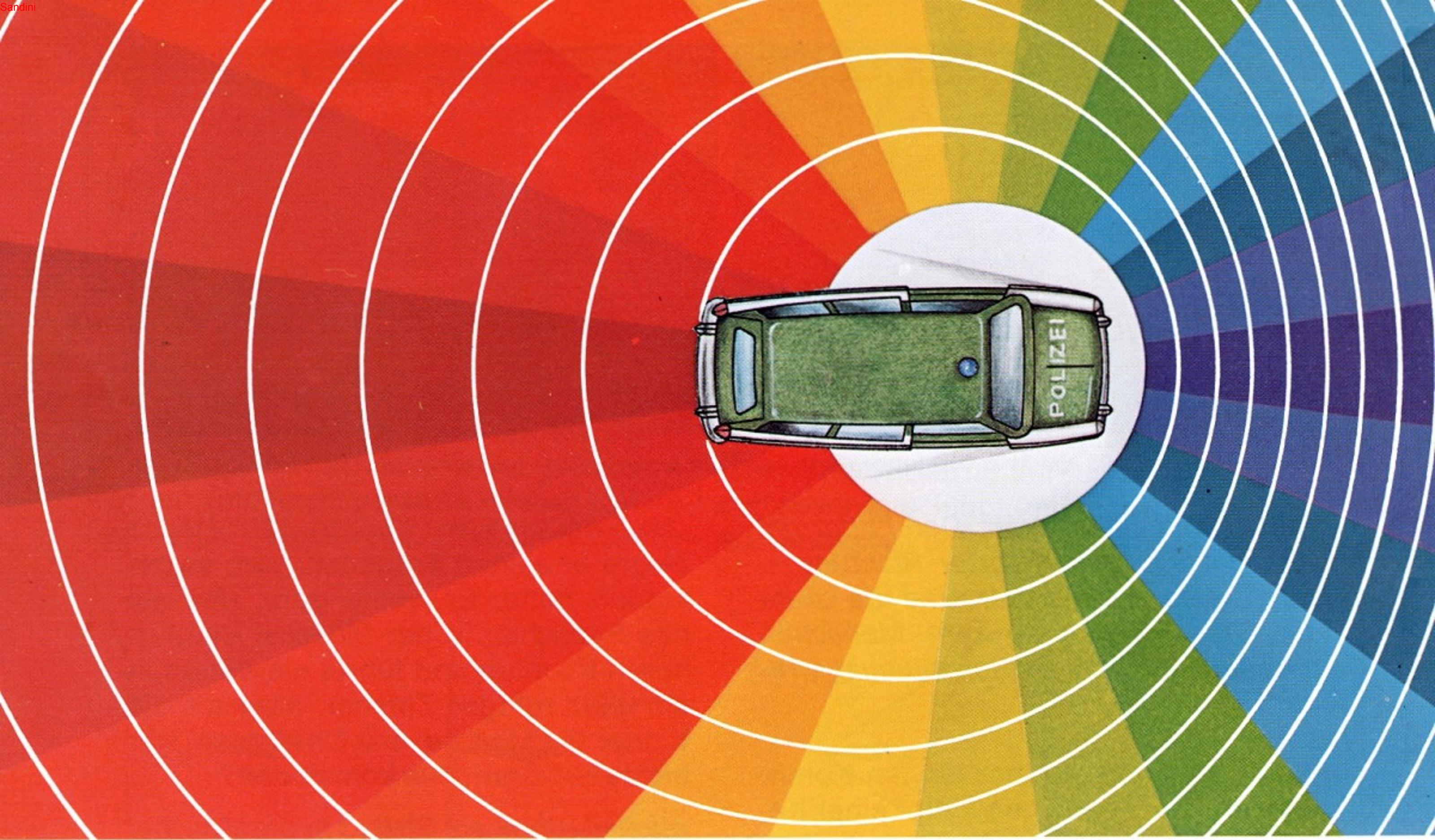
Warum rauscht das Meer in der Muschel?

„Meeresrauschen“ hören. Zu Hause zeigte er seinen Freunden, was er gefunden hatte. Er wollte gern, daß sie das Rauschen in der Muschel deutlich hören konnten und führte sie darum in ein ganz ruhiges Zimmer. Aber als die Kinder die Muschel ans Ohr legten, war nichts zu hören. Wie kommt das?

Als der Junge am Strand in die Muschel hineinhörchte, wirkte sie wie ein Resonanzboden für die Wellengeräusche. Der Verkehrslärm brachte die Muschel ebenfalls zum Rauschen. In dem ruhigen Zimmer jedoch gab es zunächst keine Geräusche, die die Luft in der Muschel zum Vibrieren brachte. Erst als die Kinder zu lachen, zu reden und zu lärmten begannen, konnte der Junge zu seiner Überraschung wieder das „Meeresrauschen“ hören.



Die größte Schnecke in Nord- und Ostsee ist das bis 20 cm große Neptunshorn.



Wenn ein Streifenwagen der Polizei mit eingeschalteter Sirene fährt, liegt der Entstehungspunkt jeder Schallwelle ein wenig vor dem der vorigen Schallwelle. Die Wellenlänge des Sirenentons scheint einem Beobachter, auf den der Wagen zufährt, kürzer, die Frequenz und damit der Ton scheint höher. Ist der Wagen an dem Beobachter vorbei, sinkt die Frequenz und damit der Ton. Nur der Fahrer des Wagens hört die tatsächliche Tonhöhe der Sirene.

Wir stehen an einer Straßenkreuzung.

Warum ändert die Sirene des Streifenwagens ihren Ton?

Wagen an uns vorbeifährt und sich in der anderen Richtung entfernt, klingt der Heulton plötzlich tiefer. Warum?

Die Schallquelle, nämlich die Sirene des Polizeifahrzeugs, bewegt sich auf uns zu. Dadurch treffen pro Sekunde mehr Schallwellen an unser Ohr, als wenn der Wagen stillstünde. Die Frequenz des Sirenentons ist also höher, und wir hören den Ton höher als zum Beispiel die Polizisten, die in den Wagen sitzen.

Ist das Auto an uns vorbeigefahren, erreichen uns weniger Schallwellen pro Sekunde, die Frequenz und damit der

Ton der Sirene sind tiefer geworden. Diese scheinbare Veränderung der Tonhöhe wird *Doppler-Effekt* genannt. Der österreichische Physiker Christian Johann Doppler hat ihn im Jahre 1842 entdeckt. Bei einem Spaziergang mit seiner kleinen Tochter beobachtete er das Herannahen eines Eisenbahnzuges. Aus der Ferne hörte sich der Dampfpfeifenton der Lokomotive bedeutend höher an als beim Weiterfahren. Doppler machte sich hierüber Gedanken und entdeckte die Gesetzmäßigkeit des später nach ihm benannten Effektes. Er gilt nicht nur für den Schall, sondern auch für Licht- und sonstige Wellen. Der Doppler-Effekt und seine Berechnungsmöglichkeiten werden nicht nur in der Akustik und Optik angewendet, sondern auch in der Astronomie benutzt, um die Bewegungen der Himmelskörper zu messen.