



Andrea Danani

DIE WELLEN UND WIR

Was wir über elektromagnetische
Wellen wissen





Andrea Danani

DIE WELLEN UND WIR

Was wir über elektromagnetische
Wellen wissen

© copyright 2021 by Carocci editore, Rom

Originalausgabe: *Le onde e noi. Cosa sappiamo sulle onde elettromagnetiche*
(Carocci, 2019)

Grafische Gestaltung von Ulderico Iorillo und Valentina Pochesci



INHALTSVERZEICHNIS

05 Vorwort

07 ERSTER TEIL DIE WELLEN UND WIR

08 Einleitung

10 Was ist eine Welle?

13 Schallwellen: Du hast ja Ohren wie ein Luchs!

15 Eigenschaften des Schalls

18 Der Doppler-Effekt: Sensoren und Angiografie

18 Elektromagnetische Wellen

26 Beispiele aus unserem Alltag: Mikrowellenherd und WLAN

36 Das Erdmagnetfeld: Der Magnetsinn

39 Der Geruchssinn: Geht es hier auch um Wellen?

42 Schlussfolgerungen

43 ZWEITER TEIL WELLE FÜR WELLE...

57 Glossar



VORWORT

Was wissen wir über die Auswirkungen der wissenschaftlichen Forschung und der medizinischen Praxis auf unser tägliches Leben? Von welcher «Leidenschaft» und von welchen Motivationen werden die Forscher und die Angehörigen der Gesundheitsberufe angetrieben? Was wissen wir über ihren Beruf?

Die Gesellschaft ist in vielerlei Hinsicht bemüht, der Allgemeinheit die Wissenschaft und ihre Auswirkungen näherzubringen. Denken wir beispielsweise nur an die zahlreichen Broschüren, welche die Bedeutung eines gesunden Lebensstils und ganz allgemein das Wohlbefinden anpreisen. Die Schule trägt natürlich auch ihren Teil dazu bei, indem sie die Grundsätze der wissenschaftlichen Alphabetisierung lehrt und zu einer Reihe von Themen sensibilisiert, die den Aufbau einer wissenschaftlichen Kultur für unsere jungen Menschen fördert.

Das Projekt *Let's Science!* – realisiert durch die IBSA Foundation for Scientific Research in Zusammenarbeit mit dem *Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport* des Kantons Tessin (DECS – Departement für Bildung, Kultur und Sport) – ist auf der Grundlage ebendieser Überlegungen entstanden. Durch die Partnerschaft konnten interessante Themenbereiche eruiert werden, die unter Einbeziehung der im Kanton tätigen Wissenschaftler in Angriff genommen wurden. Auf diese Weise begegneten sich zwei häufig weit voneinander entfernte Realitäten – die wissenschaftliche Forschung und die Schule –, wodurch der Dialog zwischen Fachkräften und Schülern, die an den thematischen Workshops teilnahmen, gefördert und die Sensibilität für dieses Thema und seine Kommunikation weiterentwickelt wurde.

Aber wie lautete der thematische Horizont des Projekts und welche Überlegungen führten zu bestimmten strategischen Entscheidungen? Die Wissenschaft und die Forschung, insbesondere in der Biomedizin und in den mit ihr verbundenen Fachbereichen, schreiten rasch voran und die kontinuierliche Erweiterung der Forschungsfelder verlangt ein ständiges Bestreben, immer auf dem neuesten Stand zu bleiben, um sowohl eine historische Perspektive zu wahren als auch um die nicht wenigen neuen Erkenntnisse zu begreifen. Über wissenschaftlich richtige Informationen in einer verständlichen Sprache zu

verfügen, eröffnet den Jungen und Mädchen die Möglichkeit, sich allgemein als «schwierig» eingestuften Themen zu nähern und dafür zu begeistern.

So entstand die Reihe *Let's Science!*, die das Panorama der wissenschaftlichen Themen, die in der Schule vertieft werden können, erweitern soll. Die fachübergreifenden und direkt mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen verbundenen Themenbereiche werden innovativ präsentiert. So erscheint der wissenschaftliche Text in Begleitung einer Geschichte, die auf den Erfahrungen von kantonalen Mittelschulklassen beruht, die, mit Unterstützung ihrer Lehrer, originelle Drehbücher geschrieben haben, die anschliessend von Fachleuten aus dem Bereich in Comics eingebettet wurden.

Jetzt bleibt uns nur noch, den jungen Leser einzuladen, sich von den sicherlich begeisternden Forschungsfeldern von *Let's Science!*, die ihrerseits Gelegenheit für weitere Fragen und Einblicke bieten, überraschen zu lassen. Und wer weiss, vielleicht wird ja eine oder einer dieser Leserinnen und Leser eines Tages selbst einen grossen Beitrag dazu leisten, die Komplexität des Lebens und das empfindliche Gleichgewicht zu verstehen, das ein gesundes und glückliches Leben ermöglicht. Viel Spass beim Lesen!

SILVIA MISITI

Direktorin der IBSA Foundation for scientific research

NICOLÒ OSTERWALDER

Pädagogischer Berater der *Divisione scuola per le scienze naturali* (DECS)

Die Wellen
und wir

ERSTER TEIL



EINLEITUNG

In unserer modernen Welt ermöglichen es uns Kommunikationsmittel wie das Radio, Fernsehen, Telefon und Internet, Informationen ganz einfach und schnell zu empfangen oder zu übermitteln. Wir sind so sehr an diese Medien gewöhnt, dass wir uns schon ärgern, sobald es kleinere Probleme mit der Übertragung gibt.

Aber wie kommt es, dass diese Informationsübermittlung für uns so wichtig geworden ist? Die Antwort steckt bereits im Titel dieses Bandes: Sie hat mit Wellen zu tun.

Sehen wir uns einmal an einem Beispiel an, wie früher Nachrichten übermittelt wurden, als es noch keine modernen Kommunikationsmittel gab. Um 1742 die Nachricht von der Krönung der Kaiserin Elisabeth von Moskau nach St. Petersburg zu tragen, wurde entlang der Strecke zwischen den beiden Städten eine Kette von Soldaten mit Fahnen errichtet. Im Moment der Krönung schwenkte der erste seine Fahne, nach ihm der zweite und so weiter. Auf diese Weise kam die Nachricht schliesslich in St. Petersburg an, wo auf das Schwenken der letzten Fahne hin eine Kanone abgefeuert wurde. Dies ist ein Beispiel für eine Wellenübertragung.

Der Begriff **Welle** ist weniger ein wissenschaftlicher Begriff als ein sehr häufig vorkommendes Wort mit einer sehr langen Geschichte. Es kommt von dem lateinischen Wort *unda*, das die Kräuselungen auf der Wasseroberfläche beschreibt. Die Verbindung zum Wasser geht jedoch noch viel weiter. Der lateinische Begriff ist wiederum vom griechischen Wortstamm *hyd-* abgeleitet, der im Wort *hydor* vorkommt, was so viel wie «Wasser» bedeutet, und der im Italienischen in allen Wörtern auftaucht, die mit «idr-» beginnen, wie *idraulico* (Klempner), *idrico* (Wasser-) usw. Der Wortstamm ist jedoch noch viel älter und geht auf das Indoeuropäische zurück, d. h. auf eine Zeit, in der fast alle europäischen (und einige asiatische) Sprachen eine einzige Sprache bildeten. Der indoeuropäische Wortstamm *vud-*, oder *vad-*, ist in vielen Sprachen anzutreffen und weist auf Wasser oder eng damit verwandte Begriffe hin. Obwohl die Wellen im Wasser, wie wir noch sehen werden, eigentlich nur eine von vielen Arten von Wellen sind, ist mit diesem

uralten Wort ein viel umfassenderer und bedeutsamerer physikalischer Begriff verbunden.

Ganz allgemein können wir sagen, dass wir Energie transportieren müssen, wenn wir Informationen übermitteln wollen. Dieser Transport erfolgt von einer Quelle zu einem Empfänger. Um mit jemandem zu kommunizieren, können wir zum Beispiel direkt miteinander sprechen, telefonieren, einen Brief verschicken oder eine E-Mail schreiben. Oder wir benutzen die Hupe, um vor einer Gefahr zu warnen.

In all diesen Beispielen gibt es eine **Quelle** (Stimmbänder, Telefon, Brief, Computer, Hupe), ein **Übertragungsmedium** (Luft, Telefonkabel, Postdienst, Glasfaser) und einen **Empfänger** (Ohren, Telefon, Augen, Computer) [Abbildung 1 

Ohne dass wir dies bemerken, leben wir in einer Welt voller Wellen: Es gibt **natürliche** Wellen wie die oben erwähnten Wellen auf dem Wasser oder bei einem Erdbeben, aber auch Licht, Radiowellen und Infrarotstrahlung, die von der Erdatmosphäre durchgelassen werden. Und es gibt **künstliche**, vom Menschen erzeugte Wellen (Telekommunikation, WLAN, Röntgenstrahlen, Mikrowellen usw.). Wir nehmen unsere Umwelt in erster Linie durch unsere Sinnesorgane wahr, die Reize sammeln und sie zur Verarbeitung an unser Gehirn weiterleiten. Auf diese Weise werden verschiedene Arten von Wellen (zu Signalen) verarbeitet.

Ziel dieses Heftes ist es, das Prinzip der Welle zu erklären und die Beziehung zwischen Lebewesen, also Menschen und Tieren, und sehr wichtigen Wellenphänomenen zu veranschaulichen. Ausgehend von den Sinnesorganen und den verschiedenen Arten von Wellen werden mehrere Beispiele für diese

 **Abbildung 1** Grundprinzip der Übertragung

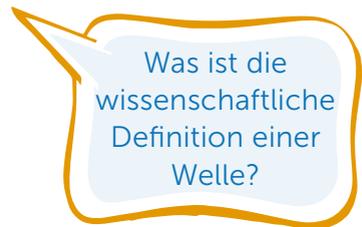


Interaktion sowohl aus der Perspektive der Quelle als auch des Empfängers erläutert. Darüber hinaus werden einige Beispiele für technologische Anwendungen von Wellen präsentiert, bei denen es dem Menschen gelungen ist, bestimmte Arten von Wellen zu «zähmen» und kontrolliert zu nutzen.

WAS IST EINE WELLE?

In der Physik wird die Welle als eine **Störung** definiert, die sich im Raum ausbreitet und Energie von einem Ort zu einem anderen transportieren kann. Damit dies geschehen kann, muss es ein Medium geben, das sich beim Durchgang der Welle durch eine lokale Schwingung verformt. Es bewegen sich also

nicht die Teilchen des Mediums zusammen mit der Welle, sondern nur die Störung, der sie ausgesetzt sind. Dies geschieht bei den sogenannten mechanischen Wellen. Diese Vorstellung vom Ausbreitungsmedium hielt sich bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Dann wurde nachgewiesen, dass elektromagnetische Wellen die ungewöhnliche Eigenschaft haben, sich im Vakuum, das als Abwesenheit von Materie verstanden wurde, auszubreiten. In diesem Fall «schwingt» ein immaterielles und etwas mysteriöses Phänomen, das als **elektromagnetisches Feld** bezeichnet wird und das, wie wir später sehen werden, eine Vielzahl von bekannten Auswirkungen auf die Materie hat.



Am Anfang der Welle gibt es immer eine Reihe von oszillierenden Impulsen. Sie bringen die Stimmbänder oder die Lautsprechermembran zum Schwingen oder die Elektronen in einer Radioantenne oder einer Glühbirne zum Oszillieren.

Wellen können in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: mechanische Wellen und elektromagnetische Wellen.

Um die Ausbreitung von Energie in mechanischen Wellen zu ermöglichen, sind drei Elemente erforderlich:

- ⊙ eine Störquelle;

- ⊙ ein Medium, das gestört wird;
- ⊙ eine elastische Verbindung zwischen der gestörten Materie und der angrenzenden Materie.

Mechanische Wellen wiederum werden in drei Arten unterschieden, je nachdem, wie das Ausbreitungsmedium lokal schwingt: Longitudinal-, Transversal- oder gemischte Wellen.

Bei den **Longitudinalwellen** schwingen die Teilchen des Mediums, in dem sich die Welle ausbreitet, in der Ausbreitungsrichtung. Der Schall, eine Feder, die hin- und hergezogen wird, oder eine Stahlstange, die man mit einem Hammer einschlägt, sind Beispiele für die Ausbreitung einer Longitudinalwelle [**Abbildung 2** ].

Bei den **Transversalwellen** schwingen die Teilchen des Mediums senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Eine Transversalwelle breitet sich zum Beispiel in einer nach oben und unten gezogenen Feder oder in der Saite eines Instruments aus. Die berühmte Stadionwelle ist ein makroskopisches Beispiel für eine Transversalwelle, denn hier stehen die Zuschauer an ihrem Platz auf und setzen sich wieder hin [**Abbildung 3** ].

Bei **gemischten** Wellen kommt es zu einer Überlagerung der beiden Bewegungen. Das bekannteste Beispiel ist das der Wellen, die sich in einer Flüssigkeit ausbreiten. Schaut man sich eine Boje auf der Wasseroberfläche genau an,

 **Abbildung 2** Longitudinalwelle

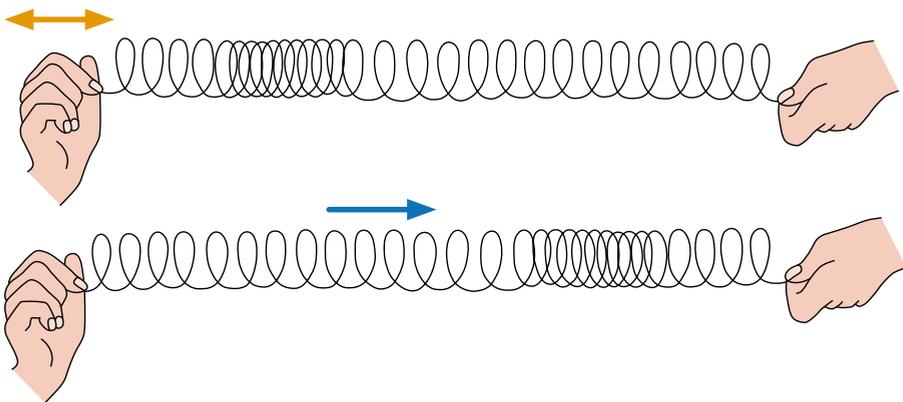
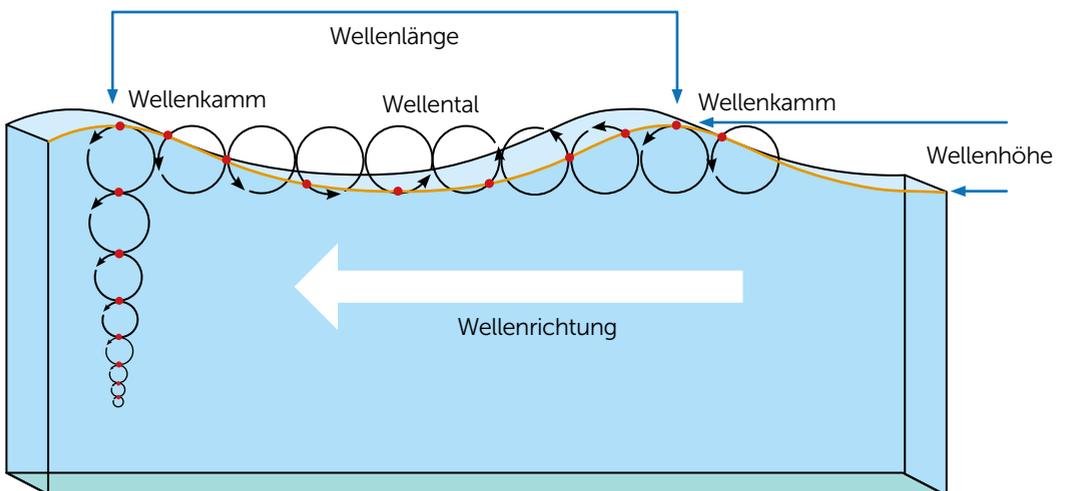


Abbildung 3 Transversalwelle



stellt man fest, dass sie sich nicht nur auf und ab, sondern auch vor und zurück bewegt. Die Folge ist eine Rotationsbewegung der Wasserteilchen um einen Punkt herum. Dies ist auf die Inkompressibilität des Wassers zurückzuführen, das kein wirklich elastisches Medium ist, und erschwert die Analyse der Wellenbewegung im Inneren des Wassers [Abbildung 4].

Abbildung 4 Gemischte Welle



Wie wir später noch sehen werden, ist das, was sich in elektromagnetischen Wellen oszillierend ausbreitet, die Intensität eines elektromagnetischen Feldes, das aus der Kombination eines elektrischen Feldes und eines magnetischen Feldes besteht. Solche Wellen werden durch die Verteilung unbewegter oder bewegter Ladungen erzeugt und können sich auch im Vakuum ausbreiten.

Wellen kommen in praktisch allen Bereichen der modernen Wissenschaft vor. Auf den folgenden Seiten schauen wir uns an, wie wir unsere Umgebung durch Wellen wahrnehmen. Es werden verschiedene Arten von Wellen vorgestellt und deren enge **Verbindung zu unseren sensorischen Fähigkeiten** erläutert.

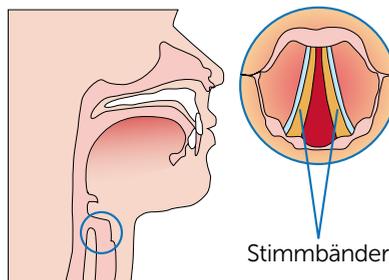
👉 SCHALLWELLEN: DU HAST JA OHREN WIE EIN LUCHS!

Der Schall ist ein Beispiel für eine mechanische Welle. Tatsächlich ist der Schall eine Welle, deren Quelle ein schwingender Körper ist, zum Beispiel die Saiten einer Gitarre, unsere Stimmbänder oder ein Metallblech. Das Ausbreitungsmedium ist normalerweise ein Gas, oft Luft [Abbildung 5 

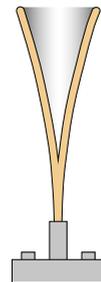
Durch die Schwingung eines Bleches beispielsweise entstehen Kompressions- und Verdünnungszonen in der Luft, die sich ausbreiten: Die physikalische Grösse, die in diesem Fall schwingt, ist der Luftdruck (oder die Luftdichte).

Der resultierende Schall ist eine Longitudinalwelle, die durch die aufeinanderfolgenden Kompressionen und Verdünnungen des Mediums entsteht, und

 **Abbildung 5** Schallwellen



Stimmbänder

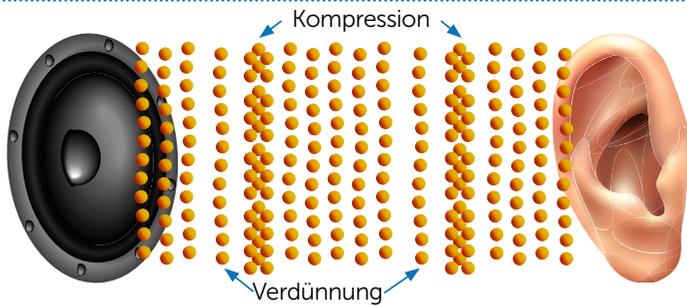


wird aus diesem Grund als **Druckwelle** oder Dichtewelle bezeichnet. Wir hören den Schall, weil die Schallwelle unser Trommelfell zum Schwingen bringt [Abbildung 6 ].

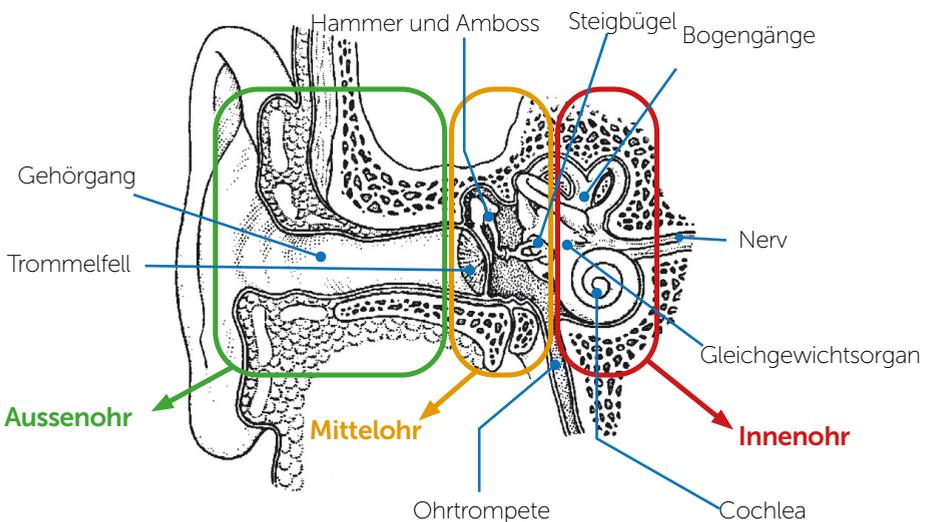
Schauen wir uns nun etwas genauer den Aufbau des menschlichen Ohres und vor allem seine drei Bereiche an: Aussen-, Mittel- und Innenohr [Abbildung 7 ].

- ⊙ **Aussenohr** (Hörmuschel und Gehörgang): Der Gehörgang (L ~ 25 mm) wirkt bei einer Frequenz von etwa 3.500 Hz als Resonanzkörper.
- ⊙ **Mittelohr** (Trommelfell, Gehörknöchelchen und rundes Fenster):

 **Abbildung 6** Die Wahrnehmung des Schalls



 **Abbildung 7** Aufbau des menschlichen Ohres



Das Hebelsystem der Gehörknöchelchen (Hebeltyp I) überträgt die Schwingungen des Trommelfells über das runde Fenster auf das Innenohr.

- ⊙ **Innenohr** (Cochlea und Hörnerv/Bogengänge): Es handelt sich um ein komplexes hydrodynamisches System (Cochlea), das eine Flüssigkeit (Perilymphe) und Nervenrezeptoren (Haarzellen) enthält. Hier findet die Umwandlung von mechanischen Impulsen in Nervensignale statt.



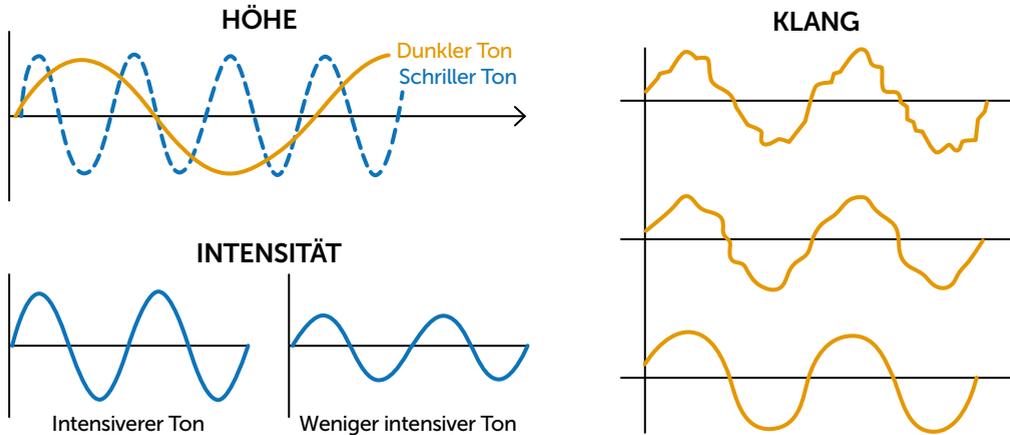
EIGENSCHAFTEN DES SCHALLS

- ⊙ **Höhe**: unterscheidet einen hohen von einem tiefen Ton und hängt von der Grundfrequenz der Schwingung ab. Je höher die Frequenz, desto schriller der Ton; je niedriger die Frequenz, desto dunkler der Ton.
- ⊙ **Intensität**: unterscheidet einen lauten von einem leisen Ton und hängt von der Amplitude der Schwingung, d. h. der Energie der Störung, ab; eine grössere Schwingungsamplitude entspricht einem lauterem Ton, eine kleinere einem leiserem Ton.
- ⊙ **Klang**: hängt von dem jeweiligen periodischen Verlauf ab, mit dem die Schallwelle schwingt. Der Klang ist eine charakteristische Eigenschaft jeder Schallquelle. Je höher die Frequenzen, desto schriller der Klang [**Abbildung 8** ].

Die Frequenz des Schalls wird in Hertz (Hz) gemessen, benannt nach dem deutschen Physiker Heinrich Rudolf Hertz. Ein Hertz entspricht einer vollständigen Schwingung in einem Zeitraum von einer Sekunde: Bei einem Ton von 500 Hz schwingt der ihn erzeugende Körper 500 Mal pro Sekunde. In der Natur gibt es Töne mit einem Minimum von 1 Hz bis zu einem Maximum von etwa 1.000.000 Hz.

Das menschliche Ohr nimmt Töne zwischen 20 Hz und 20.000 Hz wahr. Töne mit einer Frequenz < 20 Hz werden als **Infraschall** bezeichnet, solche > 20.000 Hz als **Ultraschall**. Viele Tiere sind in der Lage, diese Art von Tönen zu hören,

Abbildung 8 Eigenschaften des Schalls



da ihr Gehör einen grösseren Frequenzbereich als das des Menschen hat [Abbildung 9].

Die Eigenschaften des Ultraschalls werden in vielen Bereichen genutzt [Abbildung 10].

Fledermäuse zum Beispiel sind dank eines ausgeklügelten Systems namens **Echoortung** (Bio-

sonar) in der Lage, ihre Umgebung wahrzunehmen und sich auch im Dunkeln zu orientieren: Indem sie kurze Ultraschallwellen in ihre Umgebung aussenden und auf deren Echo hören, sind sie in der Lage, die Entfernung von Objekten zu lokalisieren und einzuschätzen, auch wenn diese nur sehr klein sind.

Das **Sonar** ist ein Gerät, das in der Schifffahrt eingesetzt wird. Durch die Messung der Zeit, die der reflektierte Ultraschall für seinen Hin- und Rückweg braucht, ist die Messung der Meerestiefe und der Entfernung von Objekten unter der Meeresoberfläche möglich.

In der Medizin ist die bekannteste Anwendung des Ultraschalls die Ultraschalluntersuchung bzw. **Sonografie**. Durch diese diagnostische Untersuchung, bei der die Reflexionszeit des erzeugten Ultraschalls gemessen wird, erhält man zum Beispiel ein Bild vom Fötus im Mutterleib.

Abbildung 9 Frequenz des Tones

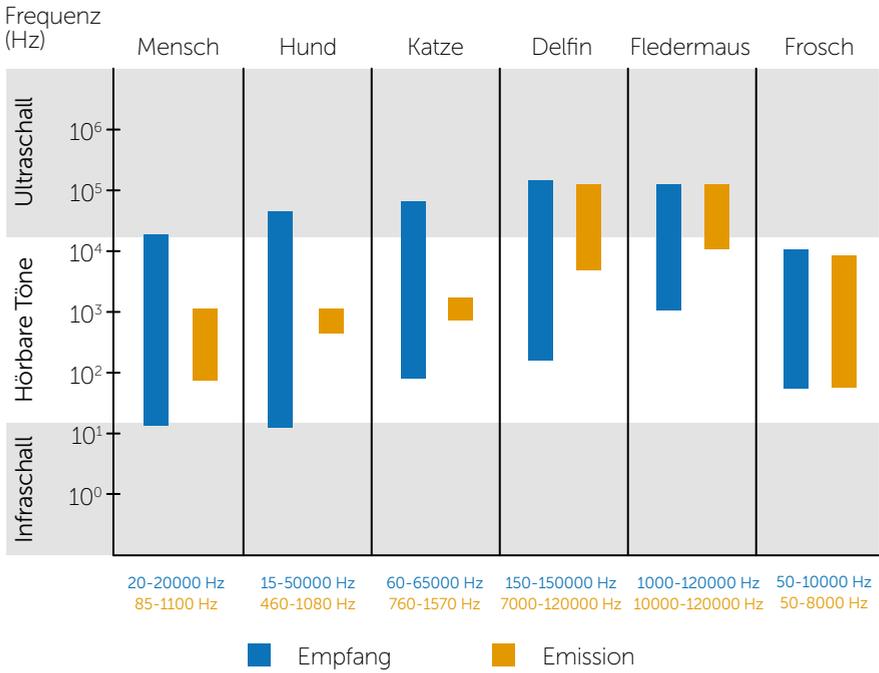
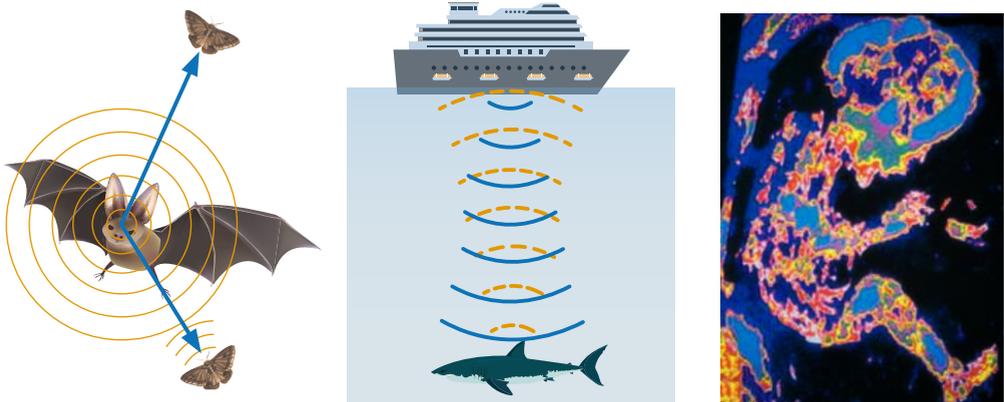


Abbildung 10 Beispiele für die Anwendung von Ultraschall

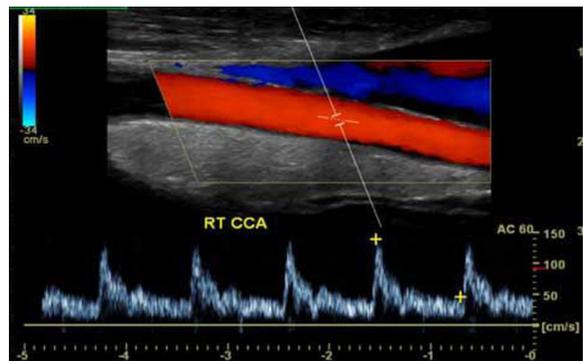


DER DOPPLER-EFFEKT: SENSOREN UND ANGIOGRAFIE

Die Frequenz einer periodischen Welle, die von einem sich in Bezug auf die Quelle bewegenden Empfänger erfasst wird, unterscheidet sich von der Frequenz eines in Bezug auf die Quelle unbeweglichen Empfängers. Wenn wir die Sirene eines Krankenwagens hören, der sich uns nähert und dann wieder entfernt, hören wir zuerst einen schrilleren und dann einen dunkleren Ton. Das Gleiche ist bei Formel-1-Autos der Fall, die über die Rennstrecke rasen.

Viele Bewegungssensoren nutzen diesen sogenannten **Doppler-Effekt**: Die reflektierte Welle hat eine niedrigere oder höhere Frequenz, je nachdem, ob sich das Objekt in Bewegung entfernt oder nähert. In der Medizin wird mit dem Doppler-Effekt des Ultraschalls auch die Geschwindigkeit des Blutes in den Venen und Arterien gemessen [Abbildung 11 ].

 **Abbildung 11** Der Doppler-Effekt

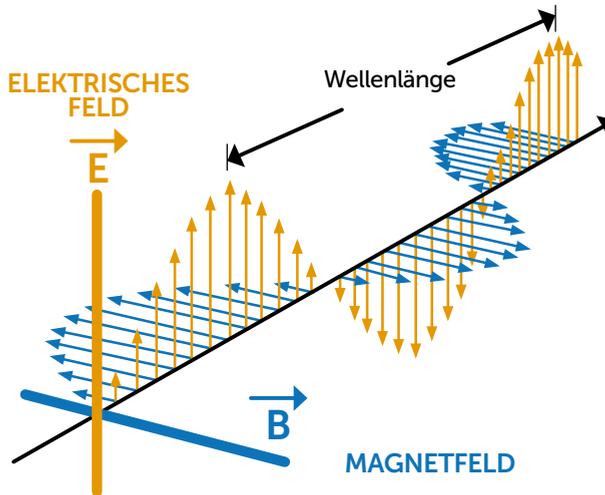


ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN

Elektromagnetische Wellen sind die Kombination von elektrischen und magnetischen Feldern, die sich wellenartig senkrecht zueinander im Raum aus-

breiten [Abbildung 12]. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit wird mit dem Buchstaben «c» angegeben und beträgt etwa 300.000 km/s.

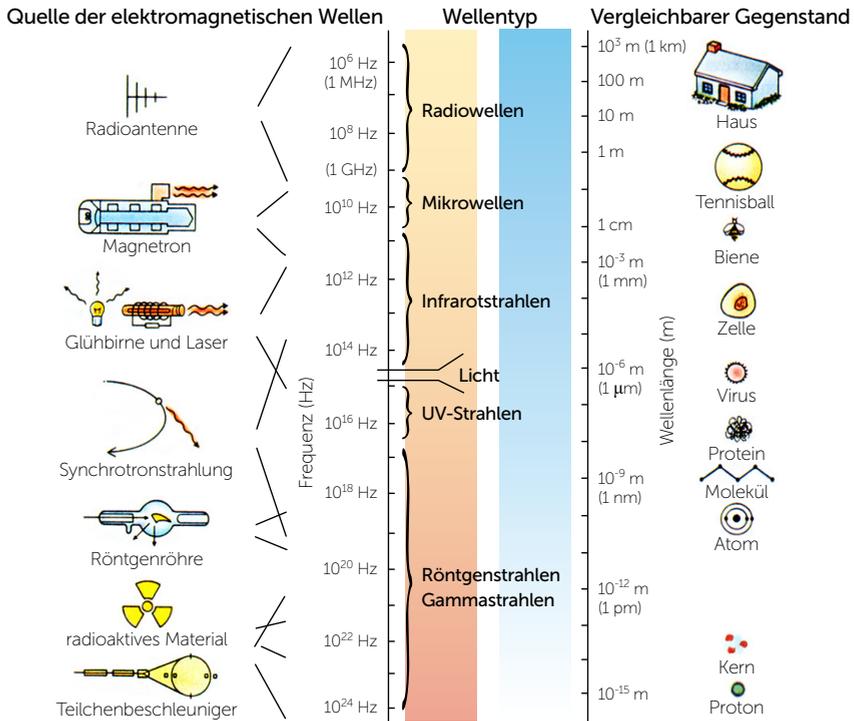
Abbildung 12 Elektromagnetische Wellen



Die Besonderheit der elektromagnetischen Wellen besteht darin, dass sie im Gegensatz zu mechanischen Wellen kein Übertragungsmedium benötigen, sondern sich auch im Vakuum ausbreiten können. Mit anderen Worten, wir können sie nicht unmittelbar sehen, aber wir wissen, dass sie da sind, dass sie praktisch überall um uns herum sind und dass wir ihre indirekten Auswirkungen messen können. Die Gesamtheit der elektromagnetischen Wellen bildet das sogenannte **elektromagnetische Spektrum**. Innerhalb dieses Spektrums werden die elektromagnetischen Wellen nach Wellenlänge und Frequenz klassifiziert [Abbildung 13].

Eine **Sendeantenne** ist ein Gerät, das in der Lage ist, elektromagnetische Wellen auszustrahlen, indem es ein elektrisches Signal umwandelt. Umgekehrt wird eine Antenne als **Empfangsantenne** bezeichnet, wenn sie Wellen empfängt und diese in ein elektrisches Signal umwandelt.

Abbildung 13 Das elektromagnetische Spektrum



Die Wirkung elektromagnetischer Wellen auf Materie, auf den Menschen und allgemein auf biologische Systeme hängt von deren Frequenz und der Menge der transportierten Energie ab.

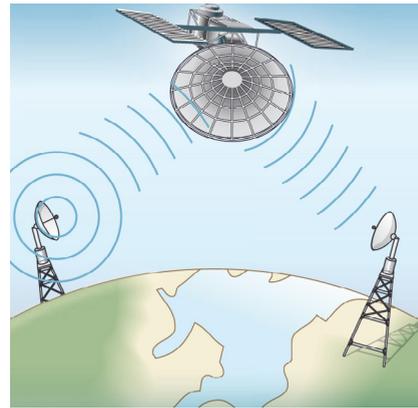
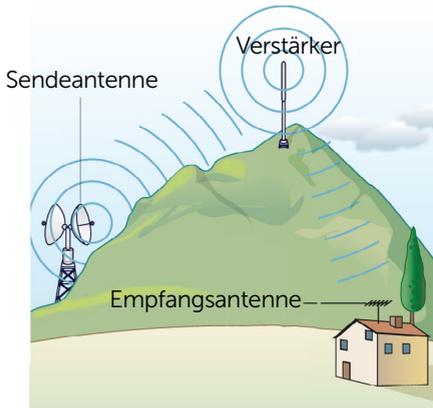
Die Atmosphäre lässt nur sichtbare Strahlung, Radiowellen und einen Teil der Infrarotstrahlung hindurch. Um die Gamma-, Röntgen- und UV-Strahlung der Sterne zu beobachten, müssen wir in den Weltraum fliegen.

Wellen ermöglichen die Untersuchung von Phänomenen, die räumlich und zeitlich weit entfernt sind: Die Astronomie und die Astrophysik stützen sich bei ihren Beobachtungen auf die Untersuchung des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung von Himmelskörpern, interstellarer Materie und des Weltraums. Die untersuchten Strahlungen nehmen das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Wellen ein und kommen aus solchen Entfernungen, dass ihr Ursprung bis weit in die Vergangenheit zurückkrei-

chen kann, vielleicht sogar bis in die Zeit, als das erste Leben im Universum entstand.

Radiowellen belegen den niederfrequenten Teil des Spektrums mit Wellenlängen zwischen 10 km und 10 cm. Fernsehsignale zum Beispiel werden auf Wellen mit einer Wellenlänge von etwa 1 Meter übertragen [Abbildung 14 ].

 **Abbildung 14** Die Radiowellen



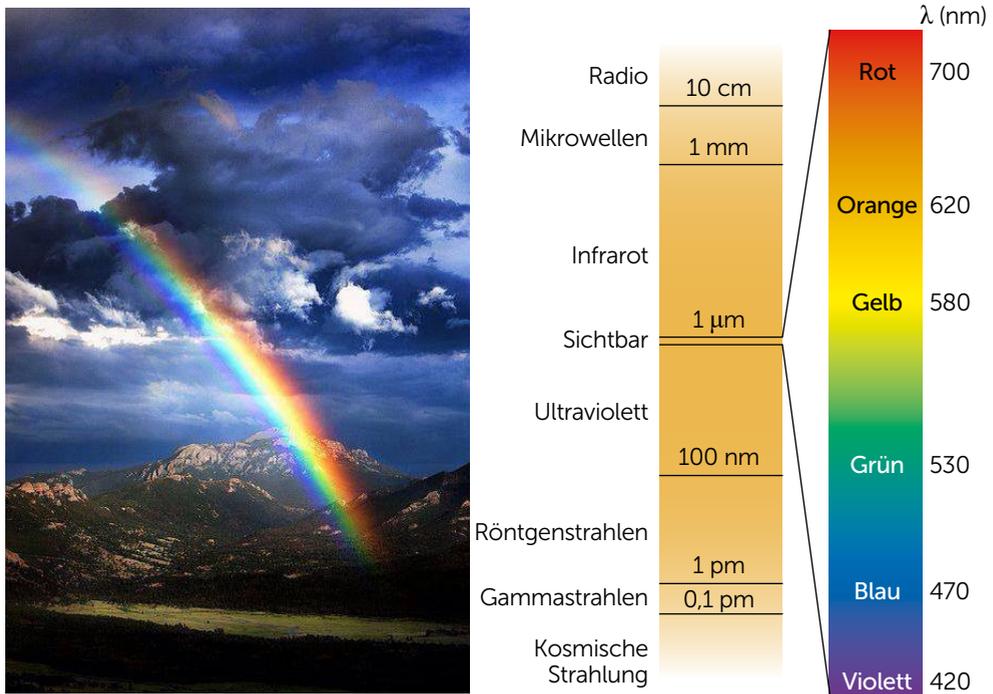
Mikrowellen haben eine Wellenlänge zwischen einem Millimeter und etwa 30 Zentimetern. Sie werden in der Radar- und Telefonkommunikation und in Anwendungen wie Mikrowellenherden eingesetzt, die wir uns später noch genauer anschauen werden.

Warum sehen wir Farben?

Die **sichtbare** Strahlung besteht aus den elektromagnetischen Wellen, die wir in Form von **Licht** wahrnehmen. Dieser Teil des elektromagnetischen Spektrums liegt zwischen der Wellenlänge von 7×10^{-7} m (rot) und 4×10^{-7} m (violett) [Abbildung 15 ].

Farbe ist eine Empfindung, die in unserem optischen System entsteht, wenn dieses durch Wellen einer bestimmten Länge angeregt wird. Die meisten Far-

 **Abbildung 15** Die sichtbare Strahlung

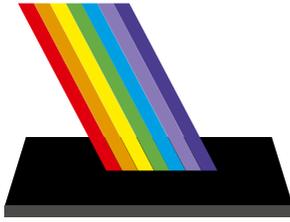


ben, die wir sehen, sind darauf zurückzuführen, wie die beleuchteten Körper auf das Licht der Lichtquellen reagieren. Das von einer Lichtquelle abgegebene Licht, das das gesamte sichtbare Spektrum abdeckt, setzt sich aus allen Farben zusammen [**Abbildung 16** ].

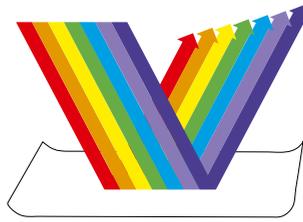
Mit unserem Auge können wir Licht in Informationen umwandeln, die in Form von elektrischen Impulsen das Gehirn erreichen. Der Mensch verarbeitet etwa 70% der aus seiner äusseren Umgebung stammenden Informationen visuell.

Wenn wir einen Gegenstand anschauen, tritt das Licht, das von ihm ausgeht, in unsere Augen ein, durchquert eine Reihe natürlicher Linsen, die als dioptrische Apparate bezeichnet werden (**Hornhaut**, **Augenlinse** und **Glaskörper**) und die mit den Linsen im Objektiv einer Kamera vergleichbar sind, und «hinterlässt einen Eindruck» auf unserer Netzhaut (in der Fotografie wäre das der Film oder der digitale Sensor). Die **Netzhaut**, die durch das auftreffende Licht

Abbildung 16 Die Farbe



Wenn der Gegenstand die gesamte einfallende Strahlung absorbiert und nichts davon abstrahlt, erscheint er SCHWARZ.



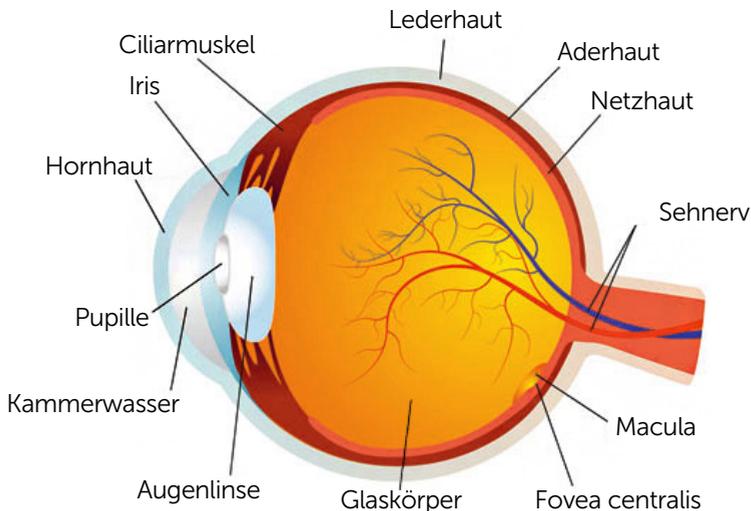
Wenn der Gegenstand die gesamte einfallende Strahlung abstrahlt und nichts davon absorbiert, erscheint er WEISS.



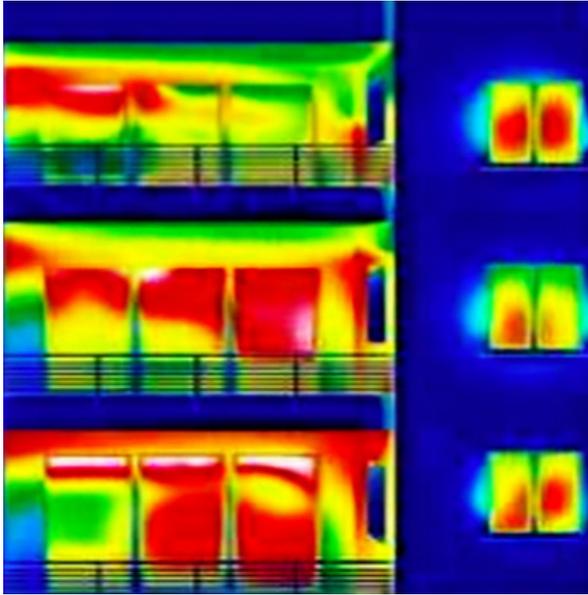
Wenn der Gegenstand nur die einfallende Strahlung abstrahlt, die einer bestimmten Farbe entspricht, und alle anderen absorbiert, erscheint er FARBIG.

erregt wird, überträgt Informationen an das Gehirn, indem sie elektrische Impulse über ein biologisches Kabel, den **Sehnerv**, aussendet [Abbildung 17]. Das Gehirn verarbeitet und nutzt visuelle Informationen, um das Verhalten und die Reaktionen des gesamten Organismus zu verarbeiten.

Abbildung 17 Das Auge



 **Abbildung 18** Die Infrarotstrahlung



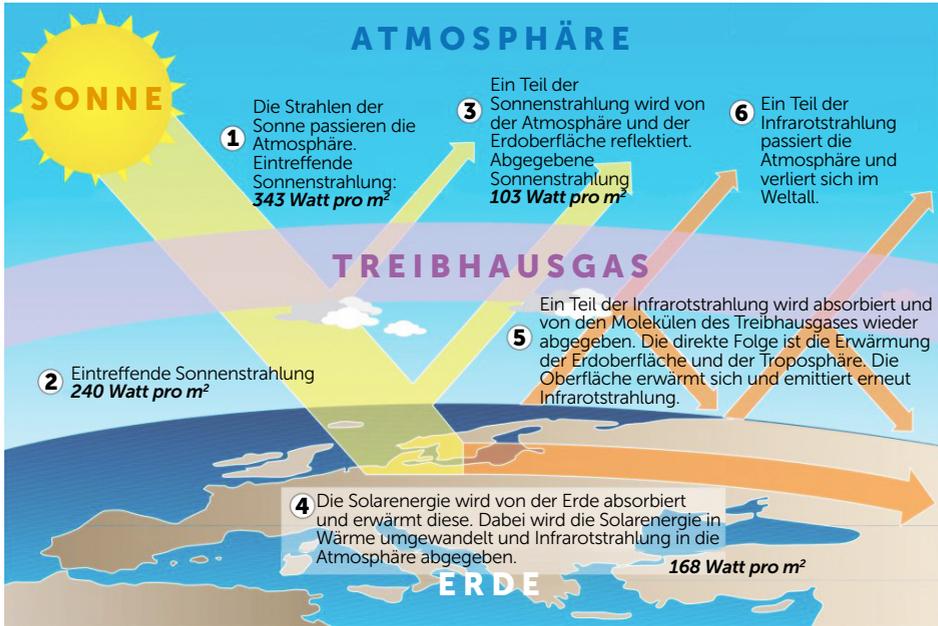
Dank dieser Strahlung ist es möglich, «kalte» Himmelskörper zu beobachten, die sonst unsichtbar wären.

Bei Wellenlängen zwischen 7×10^{-7} m und 1 mm liegt die **Infrarotstrahlung**, die auch Wärmestrahlung genannt wird, weil unser Körper sie als Wärme wahrnimmt [**Abbildung 18** ]. Dank dieser Strahlung ist es möglich, «kalte» Himmelskörper zu beobachten, die sonst unsichtbar wären.

Abbildung 19  zeigt das Prinzip des **Treibhauseffekts**, ein Phänomen der natürlichen Temperaturregulierung, das auf das Vorhandensein bestimmter Gase (insbesondere Methan, Kohlenstoffdioxid, Distickstoffmonoxid) in der Atmosphäre zurückzuführen ist. Bisher hat der Treibhauseffekt das ideale Klima für die Entstehung und Entwicklung von Leben auf unserem Planeten geschaffen. Die übermässige Zunahme dieser Gase in den letzten Jahrzehnten führt jedoch zu einer globalen Erwärmung, die Anlass zu grosser Sorge gibt.

Bei Wellenlängen zwischen 4×10^{-7} m und 10^{-8} m wird die Strahlung als **ultraviolette Strahlung** bezeichnet. Ultraviolette Strahlen haben die Eigenschaft, verschiedene chemische Reaktionen zu begünstigen, z. B. die Produktion von Melatonin in der Haut. Eine übermässige Exposition kann jedoch ernsthafte Schäden an Haut und Augen verursachen [**Abbildung 20** ].

 **Abbildung 19** Der Treibhauseffekt



 **Abbildung 20** Gefahrensymbole



Röntgenstrahlen haben Wellenlängen zwischen 10^{-8} m und 10^{-11} m. Die bekanntesten Anwendungen der Röntgenstrahlung sind mit Sicherheit die Röntgendiagnostik und die Computertomographie (CT).

Die vom Röntgengerät erzeugten Röntgenstrahlen durchdringen den Körper des Patienten und werden dabei von den unterschiedlichen Körperstrukturen (z. B. Wasser und Knochen) unterschiedlich stark absorbiert. Auf einem lichtempfindlichen System (ähnlich einem Foto) entsteht auf diese Weise das Ab-

bild des untersuchten Segments. Das entstandene Bild wird bearbeitet, interpretiert (radiologischer Bericht), archiviert und dem Patienten auf CD oder DVD ausgehändigt.

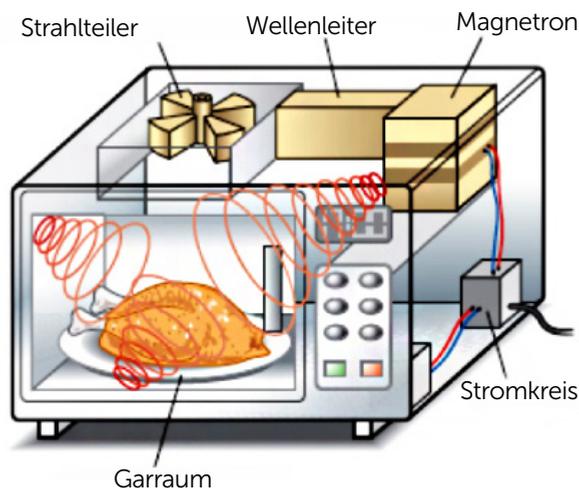
Bei Wellenlängen kürzer als 10^{-11} m liegen die **Gammastrahlen**. Diese werden bei radioaktiven Umwandlungsprozessen und Kernreaktionen auf natürliche Weise von den Kernen übertragen. Gammastrahlen wirken stark ionisierend auf Atome und können für Lebewesen gefährlich sein. In der Medizin werden sie in der Krebstherapie eingesetzt.

BEISPIELE AUS UNSEREM ALLTAG: MIKROWELLENHERD UND WLAN

© DER MIKROWELLENHERD

Die Mikrowelle ist ein sehr beliebtes Küchengerät, mit dem Speisen durch die Wechselwirkung von im Mikrowellenspektrum emittierten elektromagnetischen Feldern mit den Lebensmitteln erwärmt werden können [**Abbildung 21** ].

 **Abbildung 21** Der Mikrowellenherd



Wie
funktioniert der
Mikrowellenherd?

Mikrowellen reagieren mit bestimmten Lebensmittelbestandteilen wie Wasser und Fett. In Wassermolekülen, die aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom bestehen, zieht der Sauerstoff mehr Elektronen an als der Wasserstoff. Das bedeutet, dass es zu einer nicht neutralen Verteilung der Ladung kommt,

die einen sogenannten elektrischen Dipol erzeugt, der von Natur aus dazu neigt, sich am elektrischen Feld der Mikrowelle auszurichten. Da der Ofen Wellen mit einer Schwingungsfrequenz von 2,45 GHz aussendet, finden pro Sekunde 4,9 Milliarden Richtungsänderungen des Dipols statt! Durch diesen Feldeffekt neigen die Wassermoleküle in Bewegung dazu, auf nahegelegene Moleküle zu stossen und diese dabei zu erwärmen. Je länger die Mikrowellen wirken, desto mehr Wärme wird aus den Molekülen freigesetzt und desto wärmer wird unser Essen.

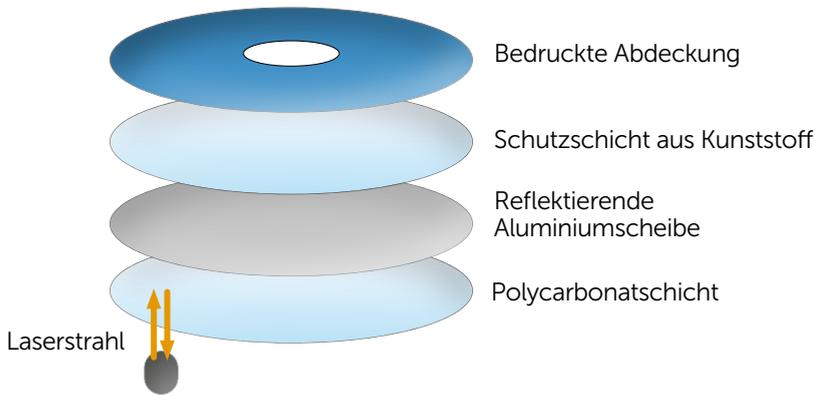
Die Mikrowellen werden von einem speziellen Gerät, dem **Magnetron**, erzeugt, das den Strom in Mikrowellen mit einer Leistung von 400 bis 1.000 W umwandelt. Der Wellenleiter lenkt dann die vom Magnetron erzeugten Mikrowellen zum Strahlteiler, der die Wellen gleichmässig im Garraum verteilt. Der Drehteller sorgt zusätzlich für eine bessere Verteilung der Mikrowellen im Lebensmittel. Das erste Modell eines Mikrowellenherdes (Radarange) kam 1946 auf den Markt – es war 1,8 Meter hoch und wog 340 kg!

© OPTISCHE SPEICHER (CD, DVD, BLU-RAY)

Optische Speicher gehören zu den Massenspeichern (auch Sekundärspeicher genannt). Sie sind digital und können grosse Datenmengen speichern. Sie heissen optische Speicher, weil die Informationen durch Laserstrahlen von einem bzw. auf ein Medium, der optischen Platte, gelesen und geschrieben werden.

Der erste optische Speicher war die Compact Disc (CD). Sie enthielt Musik und wurde 1982 von Philips und Sony angeboten. Einige Jahre später tauchte die CD-ROM (Read-Only Memory) auf, mit der andere Datenformate wie Videos gespeichert werden konnten [Abbildung 22 ]. Auf CDs können mit einer einfachen Folge von Vertiefungen eine riesige Menge an Informationen kodiert werden.

Abbildung 22 Die CD-ROM



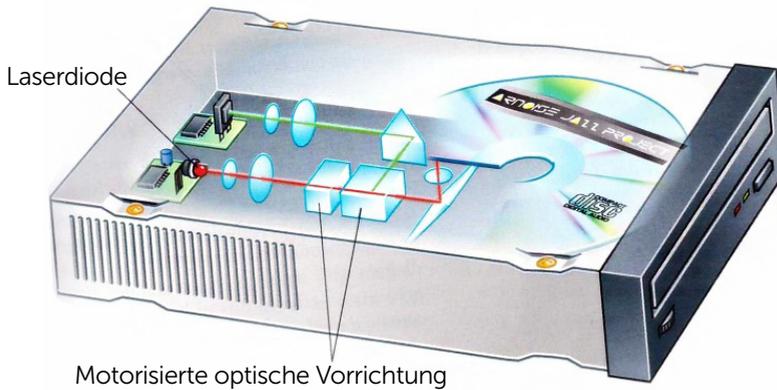
Die CD-ROM ist eine Kunststoffscheibe mit einem Durchmesser von 12 cm und einer Stärke von etwa einem Millimeter, die aus vier Schichten besteht.

Die Datenspeicherung auf einer CD erfolgt mit Hilfe von sehr kleinen Vertiefungen (Bumps oder Pits) auf einer Polycarbonatschicht entlang einer einzelnen spiralförmigen Spur, die von der Mitte zur Aussenseite der Scheibe führt. Auf diese Weise werden

die einzelnen Bits von jedem Byte geschrieben, wobei als 0 die ebene Fläche (Land) und als 1 der Bump (Buckel) angenommen wird. Nachdem Millionen von Bumps in die Kunststoffscheibe gelasert worden sind, wird eine dünne Schicht reflektierendes Aluminium aufgedruckt, die als Abdeckung und Schutz für die Scheibe fungiert. Abgerundet wird das Ganze mit einer Schicht Acryl und schliesslich dem Etikett. Erstaunlich ist die Grösse der Spirale: Sie ist etwa ein halbes Mikrometer breit und hat zwischen den einzelnen Ringen einen Abstand von etwa 1,6 Mikrometern. Die in die Spur eingravierten Bumps sind ebenfalls ein halbes Mikrometer breit, 0,83 Mikrometer lang und 125 Nanometer hoch (1 Nanometer = 1 Milliardstel Meter). Wenn wir die Spirale von der CD nehmen und glattbügeln könnten, würden wir eine 0,5 Mikrometer breite und etwa 5 km lange Linie erhalten!

Wie funktioniert eine CD-ROM?

Abbildung 23 Der CD-Player



Um die in einem so stark verkleinerten Format gedruckten Daten lesen zu können, braucht man einen sehr präzisen Lesemechanismus, den **CD-Player**. Dieser funktioniert nach den Gesetzen der Reflexion und der Brechung, die die Grundlage der Optik bilden. Ein CD-Player besteht aus drei Grundkomponenten: der Laserdiode, der Fotodiode und einem optischen System [Abbildung 23 ].

Die **Laserdiode** emittiert einen Infrarot-Laserstrahl und ist mit einer motorisierten optischen Vorrichtung verbunden, die den von der Diode emittierten Strahl auf die CD richtet und es so ermöglicht, den Laser entlang der gesamten Spiralspur von der Mitte nach aussen zu führen. Wenn der Laserstrahl die Kunststoffschicht durchdringt, reflektiert er die Aluminiumschicht und das reflektierte Licht wird zur Fotodiode umgeleitet, die die Intensität des reflektierten Strahls misst und ein elektrisches Signal im Verhältnis zur empfangenen Lichtmenge abgibt. Durch diese Empfindlichkeit der Fotodiode gegenüber Lichtveränderungen können Buckel und ebene Bereiche mit unterschiedlicher Reflexionsintensität bestimmt und der ursprüngliche Binärcode, der auf der Platte digitalisiert wurde, rekonstruiert werden.

Der schwierigste Teil besteht darin, den Laser zentriert auf die Spirale zu halten. Diese Aufgabe übernimmt das Tracking-System, das die Bewegung des Lasers nach aussen steuert und folglich die Rotationsgeschwindigkeit der

Scheibe anpasst. Hier ist es wichtig zu beachten, dass die Anzahl der Bumps mit der Spirale zusammenhängt: Am Anfang der Spiralspur (wo der Strahl am kleinsten ist) können viel weniger Bumps gespeichert werden als am Ende (wo der Strahl am grössten ist), sodass es nur durch die Synchronisation von Rotation und Bewegung des Lasers möglich ist, die Daten mit einer konstanten Geschwindigkeit zu lesen.

Neben der CD-ROM gibt es noch andere Arten von Compact Discs wie CD-R und CD-RW. Die **CD-R** verdankt ihren Namen dem englischen Wort *recordable*, das so viel wie beschreibbar heisst. Sie wird auch als CD-Rohling bezeichnet und hat einen anderen Aufbau als die CD-ROM. Sie hat keine Pits und Lands, sondern eine organische Farbstoffschicht (mit Molekülen auf Kohlenstoffbasis), die zwischen einer Kunststoff- und einer Metallschicht eingeschlossen ist. Wie bei der CD-ROM ist die Metallschicht durch eine mit dem Etikett beschichtete Acrylschicht geschützt.

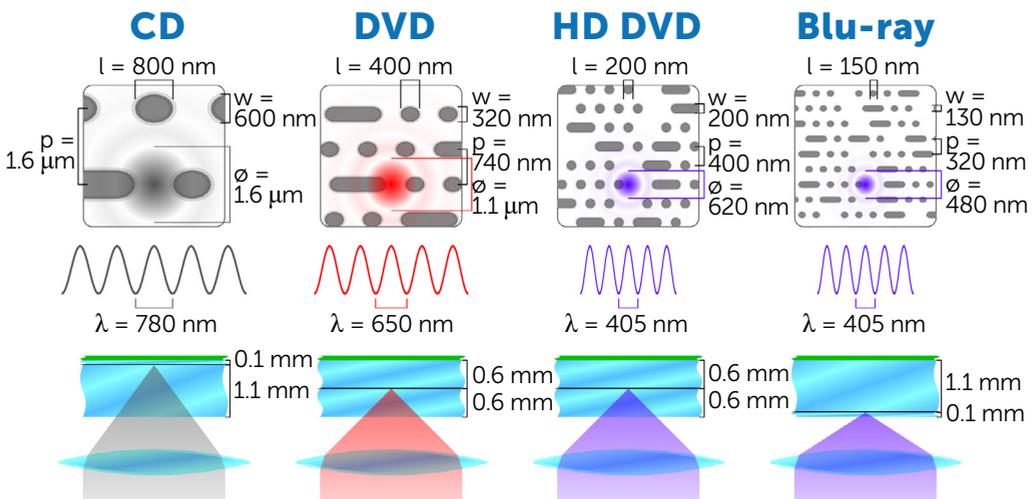
Um zu verstehen, wie die Informationen auf dieser unstrukturierten CD gespeichert werden, hilft uns der Ausdruck «eine CD brennen». Beim Schreiben verbrennt der Laser den organischen Farbstoff, der auf Licht reagiert – ein bisschen wie unsere Haut, die in der Sonne braun wird. Auf diese Weise absorbiert die verbrannte organische Schicht in der Lese phase das Laserlicht, das von der Metallschicht nicht reflektiert wird, während der nicht verbrannte Farbstoff einen Grossteil des Laserlichts reflektiert. Der verwendete Farbstoff (in der Regel drei verschiedene Arten) und die verwendeten Metalle (Gold oder Silber) bestimmen schliesslich die verschiedenen Farben, in denen es CD-R gibt. Die Notwendigkeit, Daten löschen und den Aufzeichnungsvorgang nach Belieben wiederholen zu können, führte zur Entwicklung der CD-RW (*ReWritable*). Wir wollen hier nicht weiter ins Detail gehen, nur so viel: Die Farbstoffschicht der CD-R wird hier durch drei Materialschichten ersetzt, wodurch je nach Intensität des Lasers einige ihrer optischen Eigenschaften verändert werden. Dieser Vorgang basiert auf dem Übergang des Materials von einer amorphen Phase zu einer geordneten kristallinen Phase durch die Verwendung eines Laserstrahls von unterschiedlicher Intensität. Diese Intensitätsmodulation gibt es bei einem normalen CD-Player nicht.

Die DVD ist die natürliche Weiterentwicklung der CD mit einer sehr ähn-

lichen Funktionsweise und Grösse. Die Hauptunterschiede sind der Abstand zwischen den Spuren, der nur 0,74 Mikrometer beträgt, und die Länge der Pits von nur etwa 400 Nanometern (250 Mal kleiner als der Durchmesser eines Haares). Dadurch können viel mehr Daten gespeichert werden: Eine DVD kann das bis zu 20-fache der Daten einer CD enthalten. Im Gegensatz zu CDs, die nur eine Datenschicht und eine Kapazität von etwa 800 MB haben, bieten DVDs eine oder zwei Schichten auf einer oder beiden Seiten und einen grösseren Speicherplatz zwischen 4,38 und 15,9 GB.

Dank kontinuierlicher Verbesserungen in der Metalldrucktechnik von CDs und DVDs ist es gelungen, Spuren zu entwickeln, die mit etwa 0,3 Mikrometer noch enger beieinander liegen als die von DVDs. Um diese Spuren lesen zu können, ist es notwendig, die Wellenlänge des Lasers um 405 Nanometer zu reduzieren, was der Farbe Blau entspricht. Aus diesem Grund bekamen diese Scheiben den Namen Blu-ray Disc (Markteinführung 2004). Auf diesen Blue-rays können pro Schicht Daten von 25 bis 128 GB gespeichert werden, eine Menge, die für die Aufzeichnung von hochauflösenden Filmen erforderlich ist. Seit 2015 gibt es den Standard Ultra HD Blu-ray, der die 4K-Technologie unterstützt [Abbildung 24 ].

 **Abbildung 24** CD, DVD, HD DVD, Blu-ray



© DAS WLAN

Der Wunsch, auch unterwegs immer online zu sein, erforderte neue Technologien, die eine Verbindung mit dem Internet ohne die Verwendung elektrischer Leiter, also **wireless**, ermöglichen.

Im Allgemeinen verwenden kabellose Übertragungsverfahren Radiowellen mit niedriger Leistung. Die Definition gilt jedoch auch für weniger verbreitete Geräte, die Infrarotstrahlung oder Laser verwenden. In den 1990er-Jahren trieb die Ausbreitung des Internet die Entwicklung der Technologie in Richtung Datenübertragung ohne Festnetz voran und förderte die Entwicklung von Technologien wie WAP oder GPRS, die die Schaffung von Datennetzen mit grosser Reichweite sowie von drahtlosen Standards mit mittlerer und kurzer Reichweite ermöglichten: Diese Ergebnisse führten 1997 zur Entwicklung der WLANs (📊 **Tabelle 1**).

Drahtlose Netzwerke sind nicht nur die Architektur der Wahl in Situationen, in denen die Verkabelung schwierig ist. Weitere Vorteile lassen sich wie folgt zusammenfassen:

📊 **Tabelle 1** Abkürzungen

GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>	Allgemeiner paketorientierter Funkdienst
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>	Globales System für mobile Kommunikation
LAN	<i>Local Area Network</i>	Lokales Computernetzwerk
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>	Universelles mobiles Telekommunikationssystem (Weiterentwicklung von GSM)
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>	Internet-Verbindungsprotokoll für Mobiltelefone
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	Drahtloses lokales Computernetzwerk

- ⊙ *Mobilität*: Die Benutzer können sich bewegen und ihr Terminal dabei weiter benutzen und sich in öffentlichen Bereichen (Hotspots) verbinden.
- ⊙ *Kurzfristige Konnektivität*: Benutzer können spontane Netzwerke erstellen, z. B. für ein bestimmtes Meeting oder eine konkrete Veranstaltung.
- ⊙ *Preis-Leistungs-Verhältnis*: Ein Drahtlosnetzwerk kann innerhalb kürzester Zeit ohne Maurerarbeiten errichtet werden und verursacht praktisch keine Wartungskosten.

Es gibt zwei Gruppen von Drahtlosnetzwerken:

- ⊙ die *Mobilfunknetze*, in denen sich die Benutzer in einem Gebiet bewegen können, ohne die Verbindung zum Netz zu verlieren;
- ⊙ das *Wireless LAN*, drahtlose Netzwerke, die die für ein LAN typischen Abdeckungen und Dienste bieten.

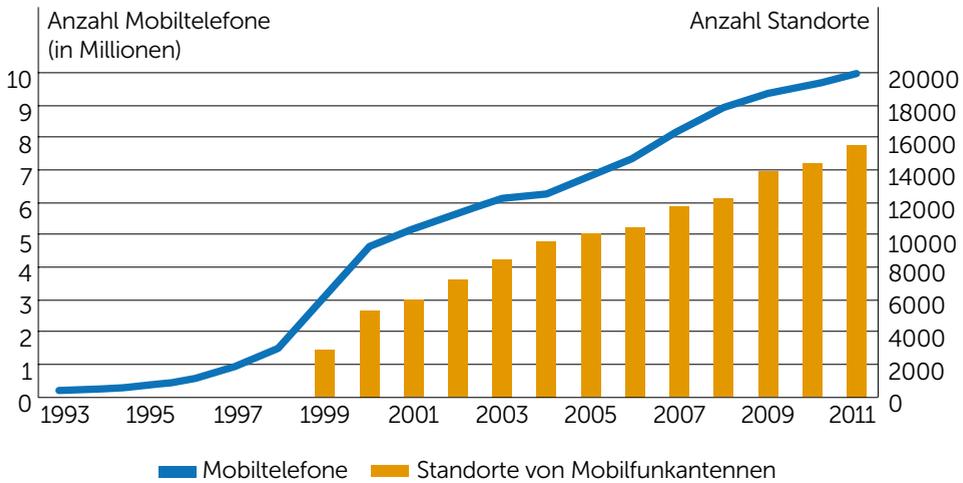
Eine der Eigenschaften der Mobiltelefonie ist die Möglichkeit, die Kommunikation aufrechtzuerhalten, während man sich in einem bestimmten Bereich frei bewegen kann. Dies kann dazu führen, dass für eine optimale Übertragungsqualität häufig die Übertragungszellen oder -kanäle gewechselt werden müssen. Dieser Wechsel wird als *Handover* bezeichnet.

Auch die drahtlosen Netzwerke werden nach der geografischen Entfernung «des Abdeckungsgebietes» unterteilt:

- ⊙ BAN (bis 2 Meter);
- ⊙ PAN (bis 10 Meter);
- ⊙ WAN (bis 500 Meter);
- ⊙ WWAN (bis 30 Kilometer).

Im Jahr 2007 überstieg die Zahl der Mobilfunkverträge in der Schweiz erstmals die Einwohnerzahl. Ende 2010 waren 124 Mobilfunkverträge pro 100 Einwohner registriert und es wurden fast 14.500 Standorte mit Mobilfunkantennen registriert [[Abbildung 25](#) ].

Abbildung 25 Verträge und Antennenstandorte in der Schweiz



Quelle: Bundesamt für Kommunikation.

Die Aufnahme von elektromagnetischen Wellen durch den menschlichen Körper wird mit einem Wert namens **SAR** (*spezifische Absorptionsrate*) gemessen. Sie wird als Leistung pro Masse ausgedrückt und der zulässige Grenzwert liegt in Europa bei 2 Watt pro Kilogramm (2 W/kg) in einer Probe von 10 Gramm Gewebe, während er in den USA maximal 1,6 W/kg betragen darf.

Abbildung 26 zeigt die Wärme, die ein Mobiltelefon nach einem 15-minütigen Gespräch aufgrund der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung auf dem Gesicht erzeugt.

Die SAR-Werte können je nach Handymarke stark variieren, daher sollte man vor dem Kauf eines Modells auf den offiziellen SAR-Wert achten.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt sich die Verwendung von Kopfhörern, die die Absorption der Strahlung, der der Benutzer ausgesetzt ist, stark reduzieren. In der Schweiz beispielsweise untersuchte das Bundesamt für Gesundheit (BAG) einige Bluetooth-Headsets. Es konnte gezeigt werden, dass die SAR-Werte mittlerweile auf 0,01 W/kg gesunken sind. Eine WWF-Studie hat gezeigt, dass durch die Verwendung von Kopfhörern die Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung um etwa 70 bis 90% reduziert werden kann [**Abbildung 27**].

Abbildung 26 Thermografische Aufnahmen während eines Gesprächs mit dem Mobiltelefon

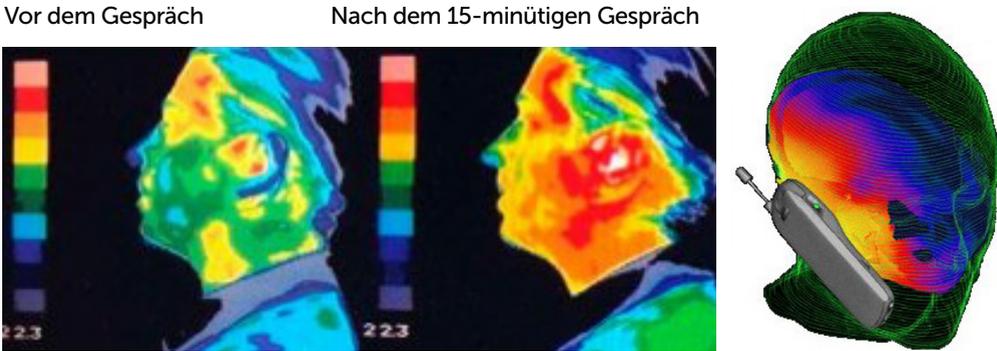
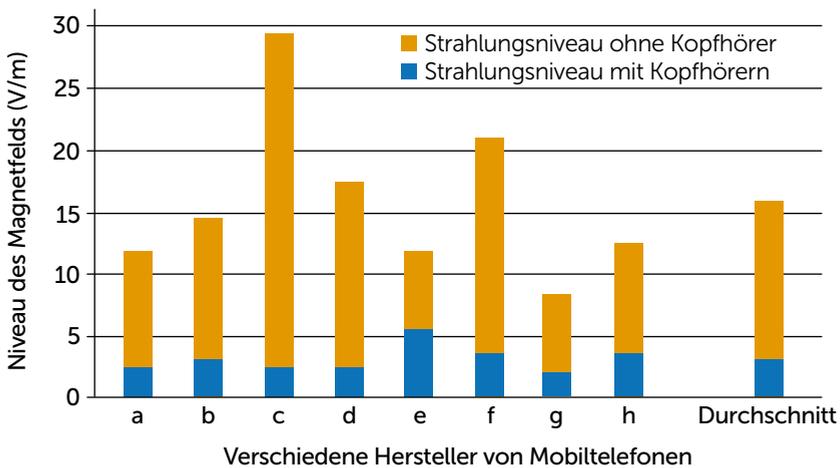


Abbildung 27 Expositionsniveau gegenüber dem Magnetfeld von Mobiltelefonen mit und ohne Kopfhörer



Quelle: WWF.

Das Mobiltelefon ist jedoch nicht die einzige Quelle von elektromagnetischen Feldern in unserer Umgebung. Zu Hause gibt es zum Beispiel oft Geräte wie den WLAN-Router (2,4 GHz; 100 mW), schnurlose Telefone (1.900 MHz; 150-250 mW) oder drahtlose WLAN-Verstärker (2,4 GHz und 433 MHz; 10 mW).

© ANDERE ANWENDUNGEN

Unter Anwendung des gleichen Prinzips, das auch vielen modernen diagnostischen Techniken in der Medizin zugrunde liegt, wie den bereits erwähnten Röntgenstrahlen in der Röntgendiagnostik und dem Ultraschall, werden die meisten Eigenschaften der Materie auf molekularer oder atomarer Ebene gemessen, indem eine Probe mit Wellen bestrahlt (in der Regel elektromagnetische Wellen wie sichtbares Licht, UV-Licht, Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, aber auch Elektronen- oder Neutronenstrahlung) und die Reaktion der Probe untersucht wird.

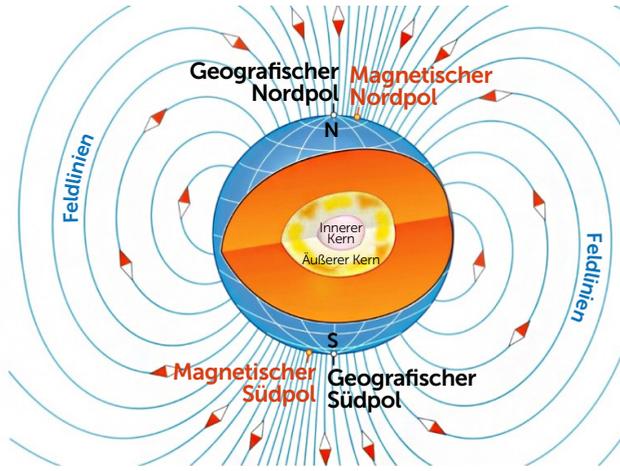
Bei der Konservierung und Restaurierung von Kunstwerken werden beispielsweise Techniken verwendet, die auf dem Einsatz geeigneter Spektroskopien beruhen: Fluoreszenz, Absorption, Transmission im optischen, Infrarot-, UV- und Röntgen-Frequenzbereich.

Dank einiger bekannter Fernsehserien kennt heute auch jeder die wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden, die ein grundlegendes Instrument der Strafverfolgung sind. Auf der Grundlage einer Reihe von physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungstechniken ist es möglich, Elemente zur Rekonstruktion eines Tatorts zu ermitteln, die für die Untersuchung oft entscheidend sind. Zum Beispiel verwenden die wissenschaftlichen Dezernate der Polizei ähnliche Methoden, um organische Spuren sichtbar zu machen, die sonst an einem Tatort unsichtbar bleiben.

DAS ERDMAGNETFELD: DER MAGNETSINN

 Die Entdeckung des Erdmagnetfeldes und damit des Kompasses wird den Chinesen zugeschrieben. Diese nutzten es anfangs jedoch als Attraktion: Magneten wurden ähnlich wie Würfel geworfen und zeigten zum Erstaunen der Zuschauer immer nach Norden. Erst um das 11. Jahrhundert herum begann man, den Kompass für die Navigation zu nutzen. Im 12. Jahrhundert kam der Kompass dann mit den Arabern und Amalfitanern nach Europa: Den ersten Hinweis auf die Verwendung des Kompasses in der Navigation in Westeuropa findet man in *De nominibus utensilium* von Alexander

 **Abbildung 28** Das Erdmagnetfeld



Neckam (1180-1187) [**Abbildung 28** ].

Der Magnetsinn ist eine Art innerer biologischer Kompass, mit dem das Magnetfeld der Erde wahrgenommen werden kann. Er ist für viele Tierarten charakteristisch [**Abbildung 29** ]. Im Folgenden beschreiben wir die wichtigsten Entdeckungen von Wissenschaftlern an einigen migrierenden Arten.

- ⊙ 1850: Alexander Theodor von Middendorf schlussfolgert, dass Zugvögel den Strömungen in Richtung des magnetischen Nordens folgen.
- ⊙ 1947: Henry Lincoln Yeagley weist nach, dass Brieftauben ihren Kurs

 **Abbildung 29** Migrierende Tiere

Monarchfalter



Rotkehlchen
(*Erithacus rubecula*)



Meeresschildkröte
(*Caretta caretta*)



Brieftaube



ändern, wenn ein Magnet an ihnen befestigt wird.

- ⊙ 1965: Wolfgang Wiltschko zeigt, dass das Verhalten von Rotkehlchen durch das Magnetfeld beeinflusst wird.
- ⊙ 1976: Die Eheleute Fred und Norah Urquhart entdecken die Wanderbewegungen der Monarchfalter und finden heraus, dass diese Schmetterlinge aus dem Süden Kanadas und dem Zentrum und Osten der USA bis in ein kleines Tal in Mexiko in 3.000 m Höhe fliegen, wo sich im Winter mehr als 14 Millionen Schmetterlinge auf einer Fläche von eineinhalb Hektar sammeln. Im Frühjahr nach der Paarung treten die Tiere beider Geschlechter die Rückreise an, auf der einige Weibchen anhalten, um ihre Eier abzulegen. Manchmal ist es dann erst die nächste Generation, die die Reise durch die Wiederbesiedlung der nördlichsten Regionen vollendet. Die Wanderungen in Richtung Norden nach Kanada finden in drei Generationen statt, während die Rückkehr nach Mexiko in einer einzigen Generation erfolgt. Dies ist ein seltener Fall von Migration über mehrere Generationen hinweg.

In den letzten Jahrzehnten haben weitere Experimente bestätigt, dass Zugvögel tatsächlich in der Lage sind, das Magnetfeld der Erde wahrzunehmen und zur Orientierung zu nutzen.

Der Magnetsinn wird inzwischen auch bei vielen anderen Tierarten wie Langusten, Schildkröten, Mantarochen, Haien, Delfinen, Bienen und Mikroorganismen vermutet. Diese zeigen Verhaltensweisen, die durch das Magnetfeld der Erde beeinflusst werden.

Doch welche physiologischen Prozesse werden nun davon beeinflusst? Wie kann ein eher schwaches Magnetfeld wie das der Erde in ein Nervensignal umgewandelt werden, das in der Lage ist, das Verhalten eines Tieres zu bestimmen? Zahlreiche Biophysiker interessieren sich inzwischen für diese Frage



Wie funktioniert der Magnetsinn?

und haben begonnen, nach den Magnetorezeptoren zu suchen.

Momentan gibt es zwei Ansätze. Dem ersten Ansatz zufolge löst das Erdmagnetfeld beim Auftreffen von Licht auf die

Augen des Vogels chemische Reaktionen in einer bestimmten Art von Proteinen in der Netzhaut, den **Cryptochromen**, aus. Der zweite Ansatz deutet stattdessen auf das Vorhandensein von Zellen im Körper hin, die kleine «Kompass» aus Magnetitmolekülen enthalten, die in der Lage sind, durch Bewegung die neuronalen Schaltkreise zu *öffnen* und zu *schliessen*. In keinem der beiden Fälle konnten bisher unwiderlegbare wissenschaftliche Beweise erbracht werden, auch weil die Experimente wegen der magnetischen Interferenzen schwer zu wiederholen sind.

Kürzlich wurden von einem internationalen Forscherteam unter der Leitung von Wissenschaftlern des California Institute of Technology (Caltech) und der Universität Tokio Experimente durchgeführt, bei denen es so schien, als habe auch der Homo sapiens die Fähigkeit besessen, das Magnetfeld der Erde wahrzunehmen. Ihre Tests zeigten, dass die Frequenz der Alphawellen in den Gehirnen einiger Teilnehmer zusammenbrach, sobald die Wissenschaftler eine magnetische Stimulation begannen, die dem Erdmagnetfeld nachempfunden war, um dann sofort an ihren Ausgangspunkt zurückzukehren. Aber wie sich an diesen Überlegungen sehen lässt, gibt es noch viel über das Phänomen des Magnetsinns zu erforschen!

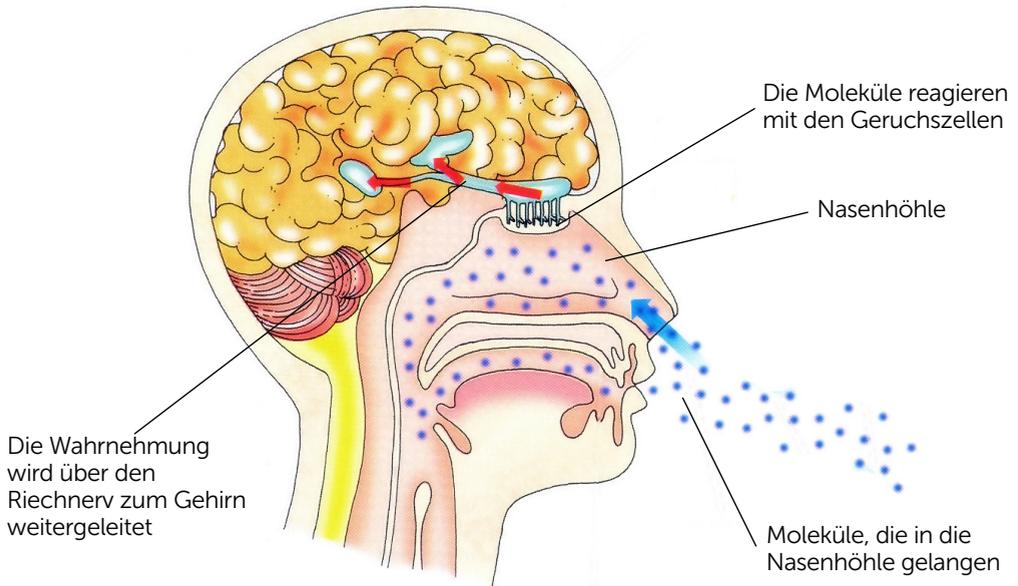
DER GERUCHSSINN: GEHT ES HIER AUCH UM WELLEN?



Unsere Nase hat einzig und allein die Aufgabe, die Luft zu kanalisieren. Geruchs- und Geschmackssinn, die eng miteinander verbunden sind, erhalten ihre Informationen durch den direkten Kontakt mit dem ermittelten Objekt (Molekül) über mehrere hundert Geruchsrezeptoren. Messinstrumente, die für andere Sinne, z. B. den Klang (Frequenz, Tonhöhe, Farbgebung, Klangfarbe, Tonalität), verwendet werden, gibt es für das Geruchsmolekül nicht [**Abbildung 30** ].

Das Rätsel um den Geruchssinn fasziniert die Menschen schon seit der Antike. Demokrit war der erste, der eine Theorie über die atomare Natur der Gerüche aufstellte, und heute wissen wir, dass Moleküle aus Atomen bestehen.

Abbildung 30 Der Geruchssinn



Der Geruchssinn war für ihn das Instrument, das für Gefühle, Wünsche und Triebe verantwortlich war. In der Folge prangerte Platon, der den ästhetischen Beitrag des Geruchssinns zwar anerkannte, dennoch die fleischlichen Triebe als «ein Symbol der Dekadenz und der sexuellen Perversion» an. Es ist interessant, dass die Verbindung zwischen Körpergerüchen und Sexualität heute eine wissenschaftliche Tatsache ist, insbesondere nach der Entdeckung von Pheromonen, also Substanzen, die auf Individuen derselben Art wirken und deren Verhalten mitbestimmen. Ein gutes Beispiel sind Hunde, die beißen, wenn sie Angst riechen.

Später entwickelte Aristoteles, der die Eigenschaften von Geruchsstoffen beschrieben hatte, seine eigene, über Jahrhunderte gültige Theorie der Basisgerüche, aus denen sich alle anderen Gerüche ableiten lassen. Für ihn gab es sechs Grundgerüche: süß, streng, sauer, fettig, bitter und stinkend. Der Pompejaner Lukrez, ebenfalls Atomist, glaubte stattdessen, dass die Welt der Gerüche eine wichtige Rolle im Leben der Menschen spiele. Getrieben vom Streben nach Wissen stellte er die Theorie des Schlüssel-Schloss-Prin-

zipf auf, die besagt, dass Gerüche von Rezeptoren aufgenommen werden. Diese Theorie wurde 1894 von dem österreichischen Chemiker Hermann Emil Fischer aufgegriffen, der zur spezifischen Enzym-Substrat-Wechselwirkung forschte. Er stellte sich vor, dass die Geruchsstoffe beim Verdunsten «Atome gleicher Form und Grösse bilden, die die Poren in der Nase erreichen und die Geruchswahrnehmung ermöglichen; die Poren haben unterschiedliche Formen und die Art des Geruchs hängt von der Art der Pore ab, die die Atome besetzen.»

In der Folge versuchten viele andere Forscher auf diesem Gebiet, eine Klassifizierung der Gerüche vorzunehmen, um herauszufinden, ob man von einer begrenzten Anzahl sogenannter Grundgerüche ausgehen kann, um die riesige Vielfalt von Gerüchen zu erklären. 1756 schlug der berühmte Botaniker Carl von Linné in Anlehnung an die aristotelische Lehre eine Klassifizierung von sieben Grundgerüchen vor: beifussartig, aromatisch, duftend, knoblauchartig, ziegenartig, giftig, ekelregend. Später gab es weitere Versuche, die Theorie der Grundfarben auf die Gerüche zu übertragen, jedoch ohne Erfolg. Man kann mit drei Grundfarben das gesamte Farbuniversum beschreiben. Beim Geruchssinn hingegen, an dem Millionen von Nervenfasern beteiligt sind, die getrennt voneinander arbeiten, ist eine Beschreibung des olfaktorischen Universums praktisch unmöglich.

Derzeit gibt es zwei Theorien:

- ⊙ Schlüssel-Schloss: Die Geruchsmoleküle passen perfekt mit den entsprechenden Rezeptoren zusammen. Folglich gilt: ähnliche Form, ähnlicher Geruch;
- ⊙ Schwingungstheorie (Dyson und Turin): Der Geruch wird von der Frequenz bestimmt, mit der einige molekulare Verbindungen zwischen den Atomen des Moleküls schwingen.

Für die letztere These spricht die Tatsache, dass sich durch den Ersatz einiger Atome durch schwerere Isotope die Struktur des untersuchten Moleküls nicht ändert, wohl aber die Schwingungsfrequenz einiger Verbindungen. Und tatsächlich ändert sich auch die Wahrnehmung des Geruchs.

Gegenwärtig gibt es jedoch keine wissenschaftliche Gewissheit darüber, dass

eine der beiden Theorien zutrifft. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass letztlich beide Effekte gleichzeitig wirken.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wir sind am Ende unserer Reise durch die Welt der Wellen angelangt. Auf  dieser Reise haben wir die Grundsätze hinter vielen Naturphänomenen untersucht, die damit zu tun haben, wie die Lebewesen die Welt um sie herum wahrnehmen.

Gleichzeitig haben wir gesehen, wie der Mensch dank seiner Intelligenz das Wissen über die Schwingungen der Materie zu seinem Vorteil nutzen konnte. Er hat eine ganze Reihe von Technologien entwickelt, die die Wellen ausnutzen und die uns heute nützlich sind: von der Datenübertragung bis zur medizinischen Diagnostik, aber auch bei ganz alltäglichen Dingen wie dem Kochen.

Wir leben also inmitten einer Welt, die von natürlichen und vom Menschen erzeugten Wellen geprägt ist, Wellen, die sich in einem Übertragungsmedium ausbreiten und Energie transportieren, Wellen, die in der Lage sind, manchmal nur geringe und manchmal erhebliche Auswirkungen auf die Materie zu erzeugen. Die Art dieser Auswirkungen hängt von der durch die Welle transportierten Energie und der Grösse des Ziels ab, mit dem sie interagiert, sowie von anderen Merkmalen der Strömungsintensität. Das Wissen über die Natur dieser Wellen kann uns letztlich helfen, besser zu leben, und uns in die Lage versetzen, informiert die besten Entscheidungen zu treffen.

Wenn wir das nächste Mal über Gerüche diskutieren, uns zu den Auswirkungen eines Erdbebens äussern oder über Telefonmasten sprechen, haben wir sicher eine neue Sicht auf die Dinge, die es uns ermöglicht, die Probleme besser zu verstehen und uns die besten Lösungen zu überlegen.

Welle
für Welle...

ZWEITER TEIL



TEXTE

Texte der Schüler der Klasse 3A der Sekundarschule Caslano:

Filippo Bassi	Shania Donnicola	Moe Pasquali
Luana Berbasconi	Eleonora Fattorini	Alissa Pellizzari
Maura Berbasconi	Elena Grassi	Edoardo Ratti
Andrea Carulli	Enea Maina	Eleonora Roscia
Tommaso Colaciuri	Lia Maina	Nicolò Sürder
Maya Corradina	Andrea Martilotta	Alan Tobler
Gabriele Della Ca'	Marika Masciale	Leonardo Zaccarelli

Unter Anleitung von:

Erika Longhi Gygax (Lehrkraft für Naturwissenschaften und Mathematik)

Lavinia Anzalone (Lehrkraft für Italienisch)

Luca Montanaro (Lehrkraft für Visuelle Erziehung)

Sekundarschule Caslano

Via Industria 27 - 6987 Caslano

Tessin - Schweiz

www.smcaslano.ti.ch

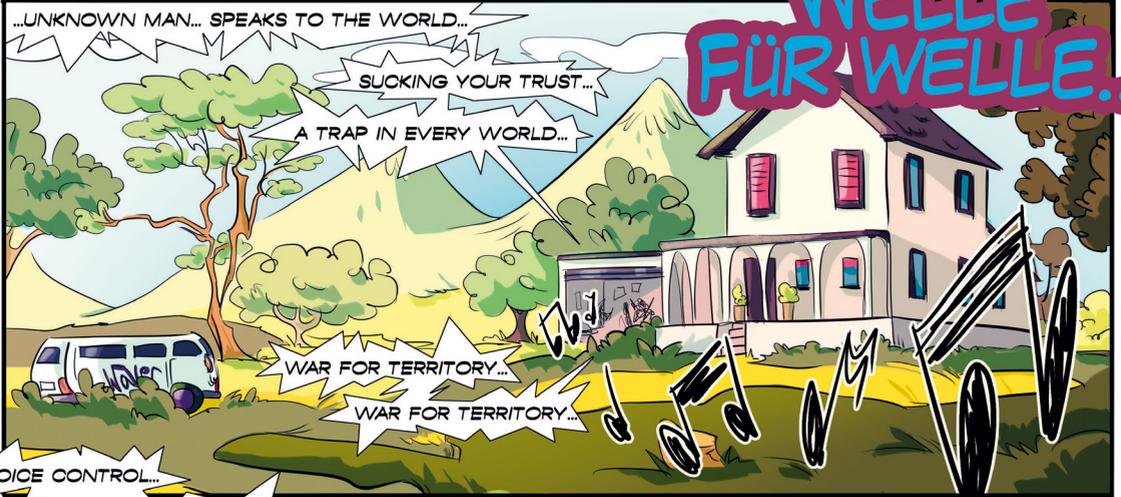
decs-sm.caslano@edu.ti.ch

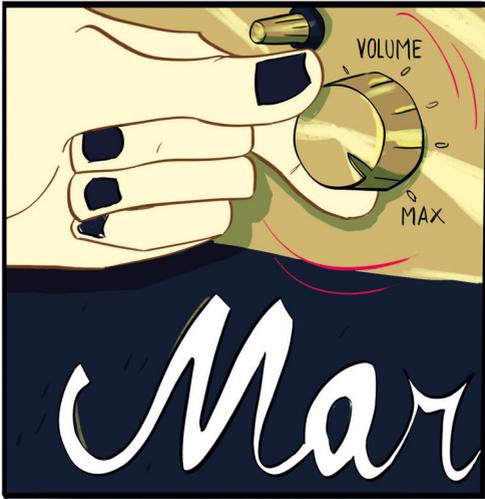
Direktorin: Lara Pfyffer Gianocca

ZEICHNUNGEN

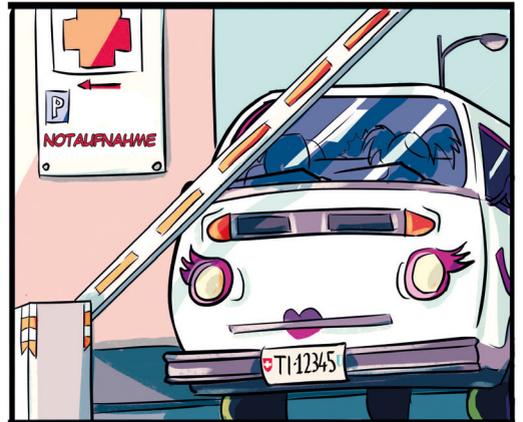
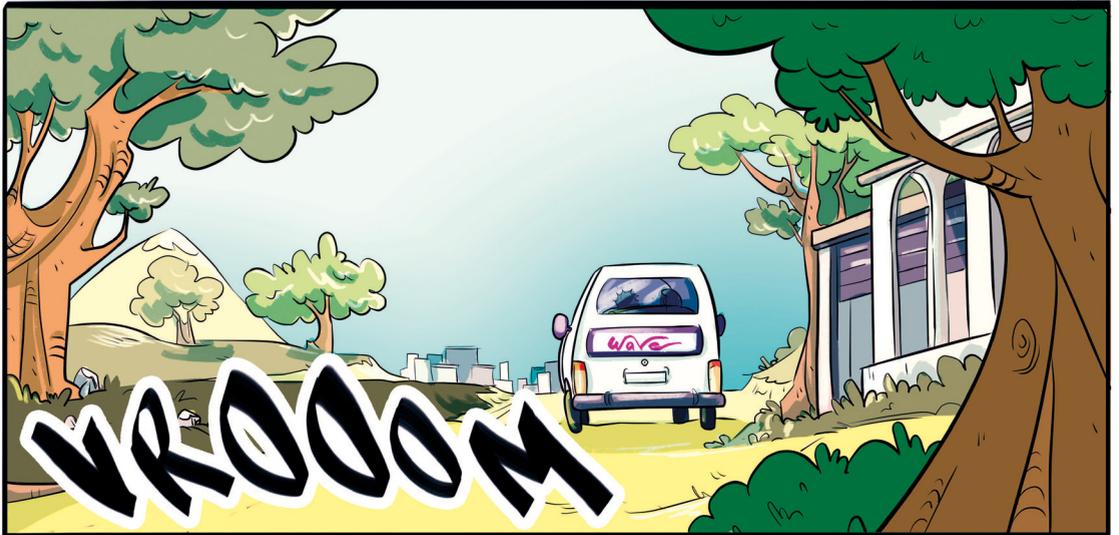
Zeichnungen von Angela Piacentini für die Scuola Romana dei Fumetti.

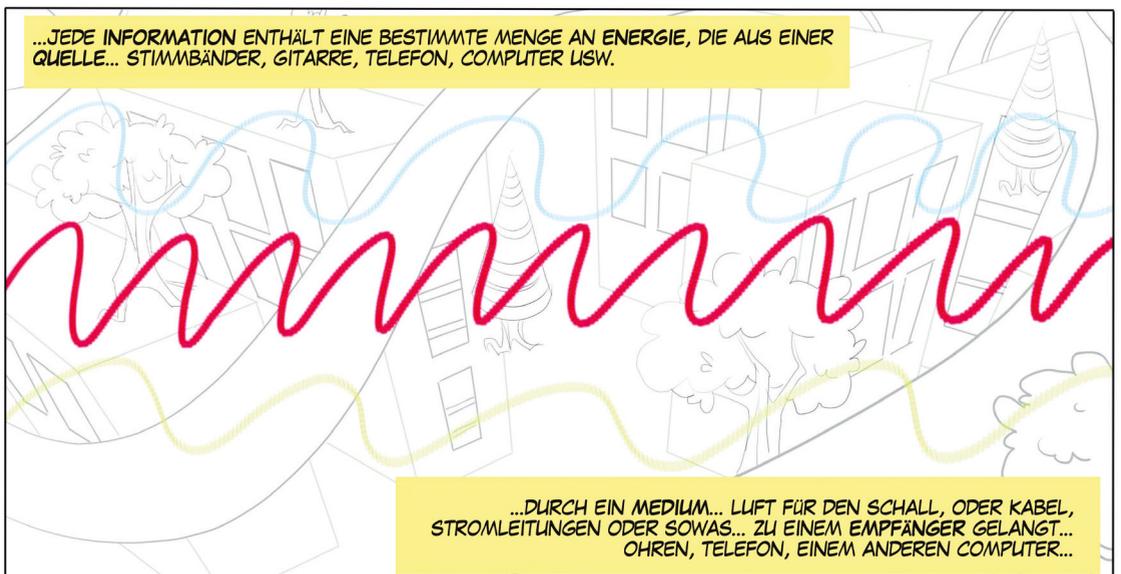
WELLE FÜR WELLE...











WENN DER ENERGIETRANSPORT MIT EINEM TRANSPORT VON MATERIE EINHERGEHT, SPRICHT MAN VON MECHANISCHER ÜBERTRAGUNG, WENN JEDOCH KEINE MATERIE TRANSPORTIERT WIRD, SPRICHT MAN VON ÜBERTRAGUNG DURCH ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN...



HALLO...
ICH BIN EINE
LICHTWELLE...

...ICH BIN EINE KOMBINATION
AUS EINEM ELEKTRISCHEN FELD
UND EINEM MAGNETISCHEN FELD,
DIE SICH SENKRECHT IM RAUM
AUSBREITEN...

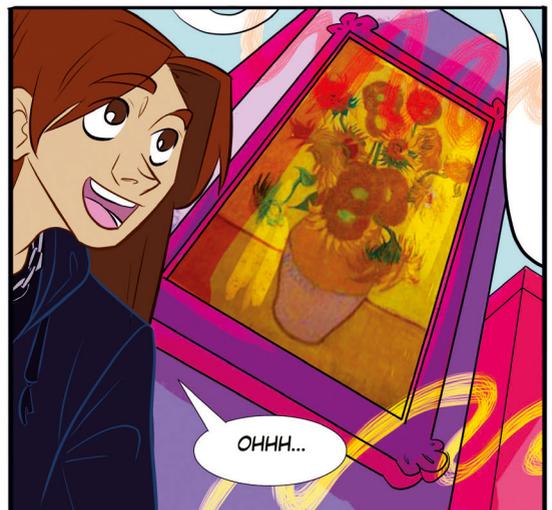


...ICH BIN EINE VERFORMUNG VON
RAUM... ICH BIN ENERGIE UND WENN ICH
MICH FORTBEWEGE, BRAUCHE ICH KEINE
MATERIE, WEIL ICH MICH AUCH DURCH DAS
VAKUUM MIT EINER GESCHWINDIGKEIT VON
300.000 KM/S BEWEGEN KANN...

DU MACHST
MIR ANGST...



WIR LICHTWELLEN SIND NICHT
SCHÄDLICH, IM GEGENTEIL, DANK UNS
KANN MAN DIE FARBE VON
GEGENSTÄNDEN SEHEN...



OH...H...





HALLO! ICH BIN EINE INFRAROTWELLE...
WIR SIND JENE WELLEN, DIE VON DER WÄRME
ABHÄNGIG SIND, DIE DIE GEGENSTÄNDE ABSTRAHLEN,
UND WIR HABEN EINE WELLENLÄNGE VON
 7×10^{-2} M BIS 1 MM...



WIR SIND VERANTWORTLICH FÜR DEN
TREIBHAUSEFFEKT, DER DAS LEBEN AUF DER
ERDE ERMÖGLICHT... WIR SIND FÜR EUCH MENSCHEN
GERINGFÜGIG ERKENNBAR, UND WIR SIND ROT,
WIE DU SIEHST...



...UM UNS BESSER SEHEN ZU KÖNNEN,
KANNST DU EINE INFRAROTKAMERA BENUTZEN.
MIT DER KANNST DU UNS SEHEN UND
VERSTEHEN, WELCHE GEGENSTÄNDE
WÄRMER SIND ALS ANDERE...



NEIN, DIE TEILCHEN DES MEDIUMS BEWEGEN SICH NICHT MIT UNS... ES BEWEGT SICH NUR DIE STÖRUNG, DER SIE AUSGESETZT SIND...



DER SCHALL ZUM BEISPIEL IST EINE MECHANISCHE WELLE, DIE VON EINER SCHWINGENDEN QUELLE VERURSACHT WIRD, WIE DIE SAITE EINER GITARRE ODER DAS FELL EINER TROMMEL, UND SICH IN LÄNGSRICHTUNG AUSBREITET... UND SICH DABEI DANK VERDÜNNUNG UND KOMPRESSION IN DER LUFT FORTBEWEGT...

...BIS DAS TROMMELFELL IN DEINEM OHR VIBRIERT...



DER TON KANN SCHRILL ODER DUNKEL SEIN, JE NACH FREQUENZ DER WELLE, DER DICHTHEIT DES MEDIUMS, MIT DEM ER TRANSPORTIERT WIRD, UND SEINER TEMPERATUR... GENERELL GILT: JE HÖHER DIE FREQUENZ, DESTO SCHRILLER DER TON... UND UMGEKEHRT...

DER SCHALL HAT ALSO BESTIMMTE EIGENSCHAFTEN ... DIE FREQUENZ, DIE IN HZ (ZYKLEN PRO SEKUNDE) GEMESSEN WIRD UND DURCH DIE WIR EINEN HOHEN TON (HOHE FREQUENZ) VON EINEM TIEFEN (NIEDRIGE FREQUENZ) UNTERSCHIEDEN KÖNNEN... UND DIE INTENSITÄT, DIE DER LAUTSTÄRKE ENTSpricht UND IN DB (DEZIBEL) GEMESSEN WIRD...



UND DAS HÄNGT VON DER WELLENAMPLITUDE AB, DIE GROSS SEIN KANN, DANN ERGIBT SIE EINEN LAUTEN TON... ODER KLEIN... DANN ERGIBT SIE EINEN LEISEN TON...



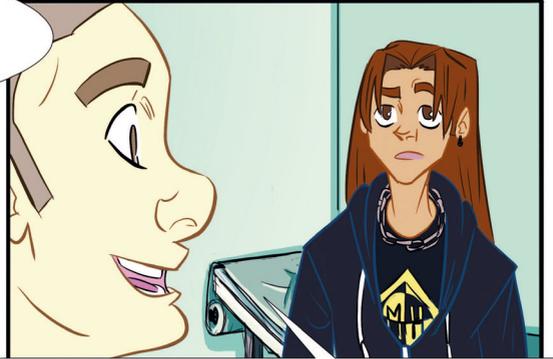
GIORGIO...

GIORGIO, HÖRST DU MIR ZU?



HM?! ICH BIN EHRlich GESAGT ETWAS ÜBERFORDERT...

DAS IST NICHT SCHLIMM. DIE QUINTESSENZ LAUTET WIE FOLGT: DAS MENSCHLICHE OHR IST FÜR VIELE SCHALLAMPLITUDEN EMPFINDLICH VON GERINGEN LAUTSTÄRKEN (FLACH) BIS ZU HOHEN LAUTSTÄRKEN (HOCH)...



...DIE GERINGEREN, DIE WIR ALS LEISE EMPFINDEN, WERDEN ALS UNTERE HÖRSCHWELLE BEZEICHNET; DIE HÖHEREN, DIE MEHR ENERGIE ÜBERTRAGEN UND DAHER STÄRKER SIND UND DAUERHAFT SCHÄDEN VERURSACHEN KÖNNEN, WIE IN DEINEM FALL DAS GEPLATZTE TROMMELFELL, WERDEN ALS SCHMERZGRENZE BEZEICHNET...

...DIE INTENSITÄT VON SCHALLWELLEN WIRD IN DEZIBEL GEMESSEN... MUSIK SOLLTE 60 DEZIBEL FÜR NICHT LÄNGER ALS 60 MINUTEN AM TAG ÜBERSCHREITEN... ABER KEINE SORGE, MEIN LIEBER JUNGE, ICH HABE DIE LÖSUNG FÜR DEIN PROBLEM...



FANTASTISCH!
SCHIESSEN
SIE LOS...

ABER ZUNÄCHST EINMAL
WIRST DU EINE WEILE NICHT MIT
DEINER BAND SPIELEN KÖNNEN...



OH NEIN...

...AUSSERDEM MUSST DU DICH VOR WASSER SCHÜTZEN... DENN ES BESTEHT DIE GEFAHR, DASS DU DIR DEIN GEHÖR SONST VÖLLIG RUINIERT... UM EINE INFektion ZU VERMEIDEN, HABE ICH DIR EIN ANTIOTIKUM VERSCHRIEBEN, UND GEGEN DIE SCHMERZEN EIN SCHMERZMITTEL...



...IRGENDWANN WIRST DU WIEDER
SPIELEN KÖNNEN... ABER MIT
OHRSTÖPSELN!



HURRA! KEINE SORGE,
ICH WERDE ALLES MACHEN,
WAS SIE GESAGT HABEN!

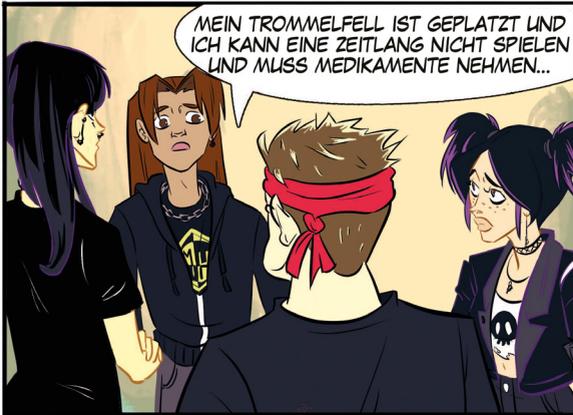


...LUND DENK DRAN:
NICHT ZU LAUT
MUSIK HÖREN!



WAS HAT
DER ARZT
GESAGT?

ALLES OKAY?



MEIN TROMMELFELL IST GEPLATZT LIND
ICH KANN EINE ZEITLANG NICHT SPIELEN
LIND MUSS MEDIKAMENTE NEHMEN...



...ABER ICH BIN SICHER,
DASS ICH BEIM KONZERT MIT
EUCH AUF DER BÜHNE
STEHEN WERDE!



I AM DEATH... ARMS HELD OUTSTRETCHED...
I AM HELL... BORN THIS MORTAL SHELL...

I AM WRATH...
TAKE THIS
BLOODBATH...

GOD SENT ME
TO KILL YOU...

ENDE



GLOSSAR

Antenne Ein elektrisches Gerät, das die Übertragung und/oder den Empfang von elektromagnetischen Wellen ermöglicht; wir sprechen jeweils von einer Sende- und/oder Empfangsantenne. Es handelt sich dabei um ein Gerät, das die Telekommunikation, d. h. die nicht verkabelte Fernkommunikation ermöglicht.

Doppler-Effekt Scheinbare Änderung der Frequenz oder Wellenlänge einer Welle, die von einem Beobachter wahrgenommen wird, der sich in Bezug auf die Quelle der Wellen in Bewegung befindet.

Druckwelle Eine Art von Longitudinalwelle, die sich in einem Gas ausbreitet und durch eine lokale Variation des Gasdrucks charakterisiert ist, wie sie z. B. bei Schallwellen auftritt.

Echoortung Die Echoortung, auch Biosonar genannt, ist die Fähigkeit einiger Tiere (vor allem Zahnwale, z. B. Delfine, und einige Fledermausarten), ihre Umgebung zu charakterisieren. Sie funktioniert durch die Aussendung von Schallwellen, die nützliche Informationen an das Tier zurücksenden, wenn sie auf Objekte auftreffen.

Elektromagnetisches Feld Kombination von elektrischem Feld und Magnetfeld. Das elektrische Feld und das magnetische Feld sind definiert als eine Eigenschaft oder Störung des Raumes, die durch das Vorhandensein von elektrischen Ladungen bzw. durch die Bewegung einer elektrischen Ladung erzeugt wird.

Elektromagnetisches Spektrum Das elektromagnetische Spektrum fasst alle Frequenzen der elektromagnetischen Wellen zusammen, die nach Frequenz und Wellenlänge in verschiedene Strahlungsarten unterteilt werden.

Elektromagnetische Welle Elektromagnetische Wellen sind Wellen, die sich sowohl in elastischen Medien als auch im Vakuum ausbreiten können, denn was schwingt, ist keine Materie, sondern es sind die in Raum und Zeit veränderlichen elektrischen und magnetischen Felder, die durch in Bewegung befindliche elektrische Ladungen erzeugt werden.

Erdmagnetfeld Das Erdmagnetfeld wird durch einen magnetischen Dipol im Zentrum der Erde erzeugt und auch als geomagnetisches Feld bezeichnet. Das geomagnetische Feld der Erde erfüllt eine primäre Funktion als elektromagnetische Abschirmung, die für das Leben auf der Erde von grosser Bedeutung ist, da sie lebende Organismen vor den stärksten und gefährlichsten Strahlen der Sonne schützt.

Fotodiode Fotodioden sind Lichtsensoren, die einen Strom oder eine Spannung erzeugen, wenn der Übergang im Halbleiter im Inneren der Diode vom Licht beleuchtet wird.

Frequenz Bei einem periodischen Phänomen entspricht die Frequenz der Anzahl der Ereignisse, die sich innerhalb einer Zeiteinheit wiederholen.

Gammastrahlung Gammastrahlen sind elektromagnetische Strahlung mit extrem kurzen Wellenlängen zwischen 10^{-10} und 10^{-14} Metern. Die entsprechenden Frequenzen sind mit über 300 Milliarden GHz also sehr hoch! Gammastrahlen werden im Wesentlichen durch Kern- oder subatomare Übergänge erzeugt.

Gemischte Welle Eine gemischte Welle ist die Überlagerung einer Transversalwelle und einer Longitudinalwelle. Das bekannteste Beispiel sind die Wellen auf dem Wasser.

Höhe Die Höhe eines Tons hängt von der Frequenz der Schallwelle ab, die ihn erzeugt hat, und ermöglicht die Unterscheidung, ob ein Ton schrill oder dunkel ist. Je höher die Frequenz, desto schriller ist der Ton, je tiefer sie ist, desto dunkler erscheint der Ton.

Infrarotstrahlung Elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich unterhalb des sichtbaren Lichts, aber oberhalb von Radiowellen, d. h. mit einer Wellenlänge zwischen 700 nm und 1 mm. Sie wird oft mit den Begriffen Wärme oder Wärmestrahlung in Verbindung gebracht, weil jedes Objekt in diesem Frequenzbereich spontan Strahlung aussendet.

Intensität Die akustische oder Schallintensität ist eine physikalische Grösse wie die Energie, die innerhalb einer Zeiteinheit an einem Punkt senkrecht zur Schallausbreitungsrichtung durch eine Flächeneinheit hindurchgeht.

Klang Eigenschaft, die die Unterscheidung von Geräuschen ermöglicht, die von verschiedenen Quellen abgestrahlt werden, selbst wenn sie die gleiche Frequenz und Intensität haben. So hat zum Beispiel jedes Musikinstrument, obwohl es die gleiche Note spielt, eine andere Klangfarbe und wird daher vom Ohr unterschiedlich empfunden.

Kryptochrom Kryptochrome sind Proteine, die in Tieren, Pflanzen und Bakterien vorkommen und als Rezeptoren für blaues und ultraviolettes Licht fungieren. Sie sind an der Regulierung verschiedener Funktionen des Organismus im Zusammenhang mit der Photorezeption beteiligt.

Laserdiode Laserdioden sind optoelektronische Vorrichtungen, die in der Lage sind, einen sehr intensiven kohärenten Lichtstrahl aus dem aktiven Bereich des Halbleiters, mit dem die Vorrichtung selbst erzeugt wird, zu emittieren. Sie bilden die Grundlage für viele wichtige Anwendungen in der Elektronik.

Longitudinalwelle Eine Longitudinalwelle ist gekennzeichnet durch eine Schwingung des Ausbreitungsmediums, die in der gleichen Richtung wie die Wellenausbreitung erfolgt.

Magnetron Gerät, das durch bestimmte Funktionen bei der Bewegung von Elektronen in einer Vakuumröhre die Erzeugung von Mikrowellen ermöglicht.

Magnetsinn Ein Sinn, mit dem ein Organismus ein Magnetfeld erkennen und daraus Richtung, Höhe oder Position ableiten kann. Dieser Sinn wird von einer Reihe von Tieren zur Orientierung und Navigation verwendet.

Mechanische Welle Eine mechanische Welle ist der Transport von Energie durch die Ausbreitung einer Störung in einem gasförmigen, flüssigen oder festen Medium.

Mikrowellen In der Physik sind Mikrowellen elektromagnetische Strahlen mit einer Wellenlänge zwischen den oberen Bereichen von Radiowellen und der Infrarotstrahlung. Das Spektrum der Mikrowellen wird üblicherweise im Frequenzbereich zwischen 1 GHz und 1.000 GHz definiert.

Radiowelle Radiowellen sind elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich zwischen 0 und 300 GHz, d. h. mit einer Wellenlänge von mehr als 1 mm.

Röntgenstrahlen Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen etwa 10 Nanometern und 1/1.000 Nanometern (d. h. einem Pikometer). Röntgenstrahlen werden hauptsächlich für medizinische Zwecke (Röntgendiagnostik), chemische Analysen und Materialstrukturanalysen eingesetzt.

Schall Unter dem Schall werden alle Schwingungen verstanden, die sich in einem Medium ausbreiten. Die Schwingungen können im Medium (fest, flüssig oder gasförmig) erzeugt oder durch die Schwingungen eines Körpers, der die Schallquelle darstellt, auf das Medium übertragen werden.

Sonar Akronym des englischen Ausdrucks *Sound Navigation and Ranging*; eine Technik, die die Ausbreitung von Schall unter Wasser zur Navigation, Kommunikation oder zur Erkennung der Anwesenheit und Position von Schiffen nutzt.

Sonografie Nicht invasive Diagnosetechnik, die mit Hilfe von Ultraschall, der von speziellen, auf der Haut des Patienten aufliegenden Sonden abgestrahlt wird, die Darstellung von Organen, subkutanen Strukturen und Muskel- und Sehnenstrukturen in zahlreichen Körperregionen ermöglicht.

Transversalwelle Eine Transversalwelle ist gekennzeichnet durch eine Schwingung des Ausbreitungsmediums in senkrechter Richtung zur Wellenausbreitung.

Treibhauseffekt Naturphänomen, das die Erde erwärmt und das Leben auf unserem Planeten ermöglicht. Es ist auf das Vorhandensein bestimmter Gase in der Erdatmosphäre wie Kohlendioxid, Methan und Wasserdampf zurückzuführen. Die Erderwärmung, die durch die Emission der vom Menschen verursachten Treibhausgase verursacht wird, ist heute eines der grössten Umweltprobleme.

Ultraschall Der Ultraschall besteht aus mechanischen Schallwellen. Die Frequenzen, die für den Ultraschall kennzeichnend sind, sind höher als der Durchschnitt, den ein menschliches Ohr wahrnehmen kann. Sie liegen in einem Bereich zwischen 20 kHz und 1 GHz; jenseits dieses Bereiches sprechen wir von Hyperschall.

Ultraviolette Strahlung Wird auch als UV-Strahlung bezeichnet; es handelt sich um einen Bereich der elektromagnetischen Strahlung mit einer Wellenlänge, die unmittelbar unter der des für das menschliche Auge sichtbaren Lichts und unmittelbar über der der Röntgenstrahlung liegt, also zwischen 100 und 400 nm.

Wireless In der Informatik und Telekommunikation bezeichnet der Begriff Wireless (engl. drahtlos) die Kommunikation zwischen elektronischen Geräten, bei der keine Kabel verwendet werden. Die entsprechenden Kommunikationssysteme oder Geräte, die diese Art der Kommunikation verwenden, werden ebenfalls wireless genannt. Wireless funktioniert in der Regel mit Radiowellen niedriger Leistung.

WLAN Abkürzung für *Wireless Local Area Network*, also drahtloses lokales Netzwerk; umfasst die gesamte Technologie, die verwendet wird, um ein elektronisches Gerät (Notebook, PC, Tablet usw.) mit einem öffentlichen oder privaten Netzwerk zu verbinden.



Unsere gesamte Umwelt ist voller Wellen – natürliche und solche, die vom Menschen verursacht werden. Es gibt Wellen, die sich über ein Medium ausbreiten und dabei Energie transportieren, und Wellen, die geringe, aber auch schwerwiegende Auswirkungen auf Materie haben können.

Der Autor nimmt uns mit auf eine faszinierende Reise durch die Welt der Wellen, erklärt uns natürliche und künstliche Wellenphänomene und zeigt uns, wie der Mensch es geschafft hat, bestimmte Arten von Wellen, zum Beispiel in der Telekommunikation, beim WLAN, beim Röntgen und in der Mikrowelle, kontrolliert zu nutzen.

Andrea Danani, Istituto Dalle Molle di studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA); Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI); Università della Svizzera italiana (USI), Lugano.

Dieses Buch beinhaltet den Comic

Welle für Welle...

Texte der Schüler der Klasse 3A

der Sekundarschule Caslano,

Tessin/Schweiz.

Zeichnungen von Angela Piacentini

für die Scuola Romana dei Fumetti.