Ultraschall: Physik, Piezoeffekt, Sonografie & Mythen

Autor: Wolfram Klatt
Veröffentlicht am: 10.08.2026

Dokument generiert über Gesundheitsmythen.de

ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT)

Ultraschall ist mechanischer Schall oberhalb von 20 kHz. Dieser Artikel erklärt den piezoelektrischen Effekt, akustische Impedanz, Puls-Echo-Verfahren, Doppler-Sonografie, industrielle Kavitation sowie die Entlarvung von Mythen zu Strahlenbelastung und "Quanten-Resonanz".

Ultraschall: Die unsichtbare Welt oberhalb der menschlichen Hörgrenze

Der Mensch betrachtet die Welt primär durch die Linse dessen, was seine eigenen Sinne erfassen können. Wir definieren das sichtbare Licht und den hörbaren Schall oft als die unumstößliche Realität. Doch jenseits unserer biologischen Limitierungen existiert ein faszinierendes Universum an Frequenzen. Eines der bedeutendsten Phänomene dieser verborgenen Welt ist der Ultraschall.

Er ist das physikalische Fundament der weltweit am häufigsten eingesetzten medizinischen Bildgebung, ein unverzichtbares Werkzeug in der Industrie und eine evolutionäre Überlebensstrategie für zahlreiche Tierarten. Doch wie genau wird aus einer unsichtbaren Schallwelle ein gestochen scharfes Bild des schlagenden Herzens eines ungeborenen Kindes?

1. Was ist Ultraschall? Eine physikalische Einordnung

Als Ultraschall bezeichnet man in der Physik Schallwellen, deren Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörbereichs liegen. Während das gesunde, junge menschliche Ohr mechanische Schwingungen zwischen etwa 20 Hertz (Schwingungen pro Sekunde) und 20.000 Hertz (20 kHz) als Töne und Geräusche wahrnehmen kann, beginnt der Ultraschall bei exakt dieser Grenze von 20 kHz und erstreckt sich bis hinauf zu 1 Gigahertz (GHz). Frequenzen jenseits der 1 GHz-Grenze bezeichnet man als Hyperschall.

Um das Phänomen in seiner Tiefe zu verstehen, muss man sich die Natur des Schalls ins Gedächtnis rufen: Im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen (wie Licht, Röntgenstrahlung oder Radiowellen), die sich mühelos im Vakuum des Weltalls fortpflanzen können, benötigt Schall zwingend ein materielles Medium. Er ist darauf angewiesen, dass Atome oder Moleküle vorhanden sind – sei es in einem Gas (Luft), einer Flüssigkeit (Wasser) oder einem Festkörper (Knochen, Metall).

Schall ist reine mechanische Energie. Er breitet sich in Flüssigkeiten und Gasen primär als sogenannte **longitudinale Welle** aus. Das bedeutet, dass die Schwingungsrichtung der Teilchen parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle verläuft.

> **Didaktische Metapher: Der Domino-Effekt in der Menschenmenge** Stellen Sie sich eine dicht gedrängte Menschenmenge vor, die in einer langen Schlange steht. Wenn die Person ganz hinten der Person vor ihr einen sanften Schubs gibt, stolpert diese leicht nach vorne und stößt mit der nächsten Person zusammen. Die Personen selbst bewegen sich kaum von der Stelle, aber der *Impuls* (der Schubs) wandert als Welle in rasender Geschwindigkeit durch die gesamte Schlange hindurch. Genau so breitet sich Schall aus: Es entstehen Zonen lokaler Verdichtung (die Menschen stoßen zusammen) und Verdünnung (sie federn zurück).

Ultraschall unterscheidet sich in seiner grundlegenden Physik also nicht vom Rauschen des Windes oder der Stimme eines Menschen. Der einzige Unterschied liegt in der Schwingungszahl: Ultraschall schwingt schlichtweg zu schnell, als dass die feinen Haarzellen in der Hörschnecke (Cochlea) unseres Innenohres diese mikroskopischen Reize noch in elektrische Nervenimpulse umwandeln könnten.

2. Die historische Entdeckung: Von der Fledermaus zum Sonar

Die Reise zur Nutzbarmachung des Ultraschalls begann lange vor der Erfindung der modernen Medizin. Bereits 1794 beobachtete der italienische Naturforscher Lazzaro Spallanzani, dass Fledermäuse auch in absoluter Dunkelheit zielsicher fliegen und jagen konnten. Er fand heraus, dass sie diese Fähigkeit verloren, wenn man ihr Gehör blockierte, nicht aber, wenn man ihnen die Augen verband. Spallanzani schlussfolgerte richtig, dass sie sich durch Töne orientieren mussten, die der Mensch nicht hören konnte.

Der technische Durchbruch gelang jedoch erst im Jahr 1880 durch die französischen Physiker (und Brüder) Pierre und Jacques Curie. Sie entdeckten den **piezoelektrischen Effekt** in bestimmten Kristallen – den absoluten Schlüssel zur Erzeugung von Ultraschall.

Die erste großflächige technische Anwendung fand der Ultraschall dann während des Ersten Weltkriegs. Der Physiker Paul Langevin entwickelte das erste SONAR-System (Sound Navigation and Ranging), um feindliche U-Boote unter Wasser durch das Aussenden und Empfangen von Ultraschallimpulsen aufzuspüren. In den 1950er Jahren schließlich übertrug der schottische Arzt Ian Donald diese Sonar-Technik aus dem militärischen Bereich in die Gynäkologie und schuf damit die Grundlagen der modernen medizinischen Sonografie.

3. Das Herzstück der Technik: Der piezoelektrische Effekt

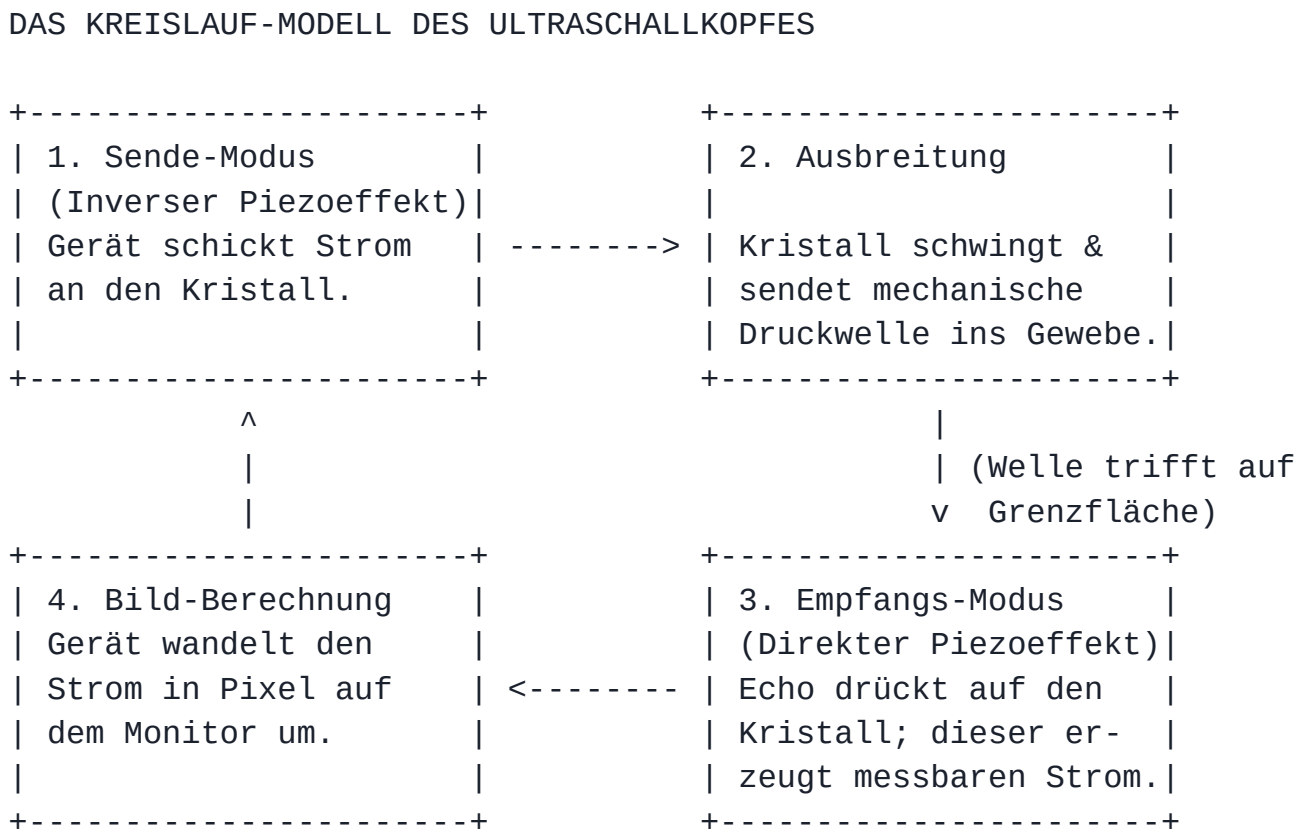
Wie aber erzeugt man Ultraschallwellen in der Praxis, und wie interagieren sie mit der Materie? Hier kommt die Entdeckung der Curie-Brüder ins Spiel.

Bestimmte Kristalle (wie Quarz) oder heute meist synthetisch hergestellte Piezokeramiken besitzen eine asymmetrische Gitterstruktur auf atomarer Ebene.

1. **Der direkte Piezo-Effekt (Empfänger):** Wird auf einen solchen Kristall ein mechanischer Druck ausgeübt (er wird quasi gequetscht), verschieben sich seine inneren Ladungen, und es entsteht an seiner Oberfläche eine elektrische Spannung.
2. **Der inverse Piezo-Effekt (Sender):** Legt man umgekehrt eine hochfrequente elektrische Wechselspannung an den Kristall an, verformt er sich. Er dehnt sich aus

und zieht sich zusammen – er schwingt im Takt der Spannung.

Diese mikroskopischen, rasanten Formveränderungen des Kristalls übertragen sich als mechanische Druckwellen auf das umliegende Medium (z.B. den menschlichen Körper) – ein Ultraschallsignal ist geboren. Der faszinierende Clou der modernen Ultraschallköpfe (Transducer) ist, dass sie denselben Kristall in blitzschnellem Wechsel als Sender und als Mikrofon (Empfänger) nutzen können.



4. Bildgebung: Wie aus dem Echo ein Bild wird

Wenn die Ultraschallwelle in den Körper eindringt, verhält sie sich nach den klassischen Gesetzen der Wellenoptik und Akustik. Die entscheidende physikalische Größe hierfür ist die **akustische Impedanz** (der Wellenwiderstand). Die Impedanz ist grob gesagt das Produkt aus der Dichte eines Materials und der Schallgeschwindigkeit innerhalb dieses Materials.

Trifft eine Ultraschallwelle auf die Grenze zwischen zwei Gewebearten mit unterschiedlicher Impedanz (z. B. zwischen Leber und Niere, oder zwischen Blut und Herzmuskel), passiert zweierlei:

- **Transmission:** Ein Teil der Energie wandert weiter in die Tiefe.
- **Reflexion:** Ein Teil der Energie prallt ab und wandert als Echo zurück zum Schallkopf.

Je größer der Impedanzsprung an der Grenzfläche ist, desto stärker fällt das Echo aus.

> **Didaktische Metapher: Der Ruf in die Berge** Stellen Sie sich vor, Sie rufen an einem nebligen Tag in ein Gebirge hinein. Ihr Ruf ist der Ultraschallimpuls. Treffen die Schallwellen auf eine dichte, massive Felswand (hohe Impedanz, wie ein Knochen im Körper), wird fast der gesamte Schall hart reflektiert. Das Echo, das zu Ihnen zurückkehrt, ist sehr laut. Treffen die Wellen jedoch auf einen lockeren Tannenwald (niedrige Impedanzdifferenz zur Luft, vergleichbar mit weichem Drüsengewebe), dringt der Großteil des Schalls zwischen den Bäumen hindurch. Das Echo ist sehr leise und weich. Stehen Sie vor einem ruhigen See (keine Grenzflächen, wie eine flüssigkeitsgefüllte Zyste), gibt es gar kein Echo; der Schall verschluckt sich in der Tiefe.

Genau dieses Prinzip wendet das Ultraschallgerät an. Helle Strukturen auf dem Monitor (echoreich, z. B. Knochen, Gallensteine) bedeuten eine sehr starke Reflexion. Schwarze Bereiche (echofrei, z. B. die gefüllte Harnblase, Fruchtwasser oder Blutgefäße) bedeuten, dass der Schall das Medium fast ohne Widerstand und ohne Echo durchquert hat. Grautöne (echomoderat) repräsentieren die vielen verschiedenen Weichteilgewebe wie Muskeln, Fett und Organe.

Da die durchschnittliche Schallgeschwindigkeit im menschlichen Weichteilgewebe sehr konstant bei etwa 1540 Metern pro Sekunde liegt, nutzt das Gerät eine einfache Laufzeitmessung (Puls-Echo-Verfahren). Aus der Zeitspanne, die zwischen dem Aussenden des Pulses und dem Eintreffen des Echos vergeht, errechnet der Computer auf den Millimeter genau, in welcher Tiefe des Körpers die Struktur liegt, die das Echo erzeugt hat.

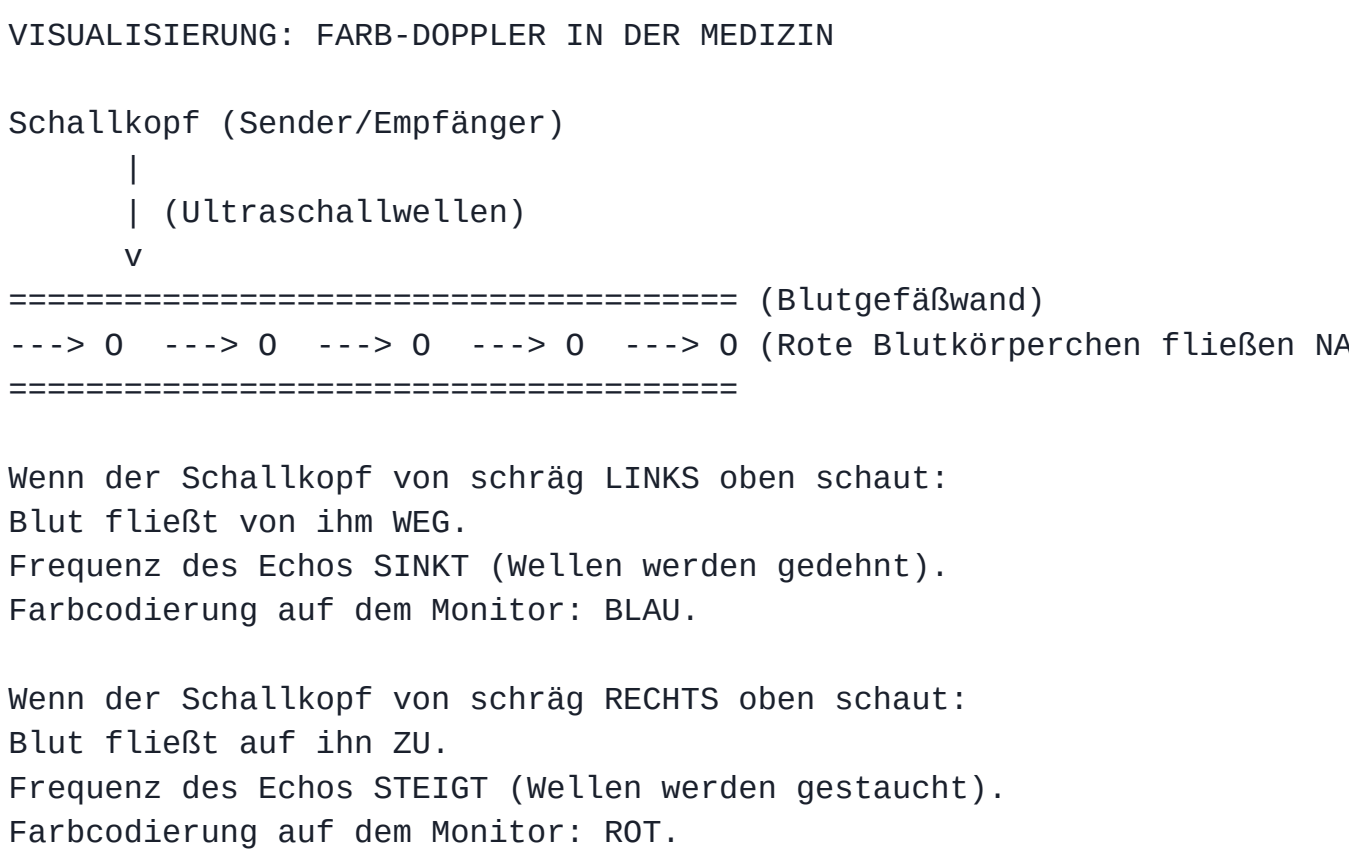
Um zu verhindern, dass die Ultraschallwelle bereits an der Hautoberfläche komplett reflektiert wird (da der Impedanzsprung von der Luft zum Gewebe extrem hoch ist), muss stets ein wasserbasiertes Kontaktgel aufgetragen werden. Es fungiert als Brücke für die mechanischen Schwingungen.

5. Bewegung sichtbar machen: Der Doppler-Effekt

Neben der statischen Bildgebung ist der Ultraschall in der Lage, Fließgeschwindigkeiten im Körper zu messen – allen voran den Blutfluss. Dies gelingt mithilfe des **Doppler-Effekts**.

Benannt nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler, beschreibt dieser Effekt die Frequenzverschiebung einer Welle, wenn sich Sender und Empfänger relativ zueinander bewegen. Jeder kennt diesen Effekt aus dem Alltag: Wenn ein Krankenwagen mit eingeschaltetem Martinshorn auf Sie zufährt, klingt der Ton höher, als er tatsächlich ist (die Schallwellen werden gestaucht). Sobald der Wagen an Ihnen vorbeifährt und sich entfernt, sinkt die Tonhöhe abrupt ab (die Schallwellen werden gedehnt).

In der Medizin trifft der Ultraschallpuls auf fließende Rote Blutkörperchen (Erythrozyten). Bewegen sich diese auf den Schallkopf zu, ist die Frequenz des zurückkehrenden Echos geringfügig höher als die des gesendeten Pulses. Fließen sie vom Schallkopf weg, ist sie niedriger.



(Hinweis: Rot und Blau im Doppler-Ultraschall zeigen lediglich die Flussrichtung relativ zum Schallkopf an, nicht etwa sauerstoffreiches arterielles oder sauerstoffarmes venöses Blut!)

6. Die Natur als Lehrmeister: Biologische Echolokation

Lange bevor der Mensch den piezoelektrischen Effekt entdeckte, hatte die biologische Evolution den Ultraschall längst perfektioniert. Fledermäuse nutzen hochfrequente Ultraschallrufe (oft zwischen 20 kHz und 100 kHz), die sie durch ihren Kehlkopf erzeugen, um nachts zu jagen. Ihre hochspezialisierten Gehirne berechnen aus der Laufzeit, der Frequenzverschiebung und der minimalen Lautstärkedifferenz zwischen dem rechten und linken Ohr ein extrem hochauflösendes, dreidimensionales akustisches Raumbild. Sie können so nicht nur feinsten Ästen ausweichen, sondern präzise die Größe, Geschwindigkeit und Flugrichtung einer winzigen Motte bestimmen. Auch Zahnwale (Delfine, Pottwale) nutzen Klicklaute im Ultraschallbereich zur Orientierung, Kommunikation und Beutejagd in dunklen Gewässern.

7. Therapeutischer Ultraschall und Kavitation

Neben der Diagnostik wird Ultraschall in der Industrie und Medizin auch energetisch genutzt. In der Physiotherapie nutzt man kontinuierlichen Ultraschall (meist 1 bis 3 MHz), um Wärme tief im Gewebe (z. B. an Sehnenansätzen oder Kapseln) zu erzeugen und die lokale Durchblutung zu fördern.

Eine noch massivere Form ist der **HIFU (Hochintensiver fokussierter Ultraschall)**. Hierbei werden Ultraschallwellen aus verschiedenen Winkeln wie durch ein Brennglas präzise auf einen winzigen Punkt im Körperinneren gebündelt. An diesem Brennpunkt entsteht enorme Hitze (bis zu 90°C), wodurch Gewebe punktgenau verkochen und absterben kann (Koagulationsnekrose). Dieses Verfahren wird heute erfolgreich eingesetzt, um schonend und ohne Skalpell gutartige Gebärmuttertumore (Myome), Prostatakarzinome oder sogar kleine Hirnareale zu zerstören, die schweres Zittern (Tremor) auslösen.

In der Industrie nutzt man den Effekt der **Kavitation**. In Ultraschallreinigungsbädern erzeugen starke Schallwellen im Wasser mikroskopisch kleine Vakuumbläschen. Wenn diese Bläschen in der Hochdruckphase der Welle implodieren, entstehen auf winzigem Raum gigantische Kräfte, die Schmutz aus feinsten Ritzen (z. B. von Uhren oder Schmuck) buchstäblich absprengen.

8. Sicherheit, Mythen und alternative Heilkonzepte

Gerade weil Ultraschall tief in den Körper eindringt, ohne dass wir ihn spüren, entstehen bei Patienten und medizinischen Laien oft Fragen zur Sicherheit. Hinzu kommt ein wachsender Markt an komplementären und alternativen Therapieangeboten, die mit Begriffen aus der Physik arbeiten. Es ist wichtig, diesen Themen mit Sachlichkeit, wissenschaftlicher Evidenz und Empathie für das Sicherheitsbedürfnis von Patienten zu begegnen.

Die Sorge vor "Strahlung" und das Baby-TV

Oft wird das Wort "durchleuchten" synonym für Röntgenstrahlung verwendet. Dies führt zu der verständlichen Sorge, Ultraschall könne – ähnlich wie Röntgenstrahlen – das Gewebe oder die DNA schädigen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist diese Sorge jedoch unbegründet. Röntgenstrahlen sind ionisierende, hochenergetische elektromagnetische Wellen. Ultraschall ist eine mechanische Druckwelle. Er besitzt keine ionisierende Wirkung, kann also keine chemischen Bindungen im Körper aufbrechen.

Dennoch wenden ärztliche Fachgesellschaften (wie die DEGUM oder die WHO) das **ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable)** an. Das bedeutet, man nutzt immer nur so viel Energie wie diagnostisch absolut notwendig. Da Ultraschall eine minimale mechanische Energie (und damit auch theoretisch etwas Wärme) in den Körper einbringt, raten die Behörden heute vom rein kommerziellen "Baby-Viewing" ab (3D-Ultraschall-Fotoshootings ohne medizinische Indikation). Bei ärztlich indizierten, sachgerechten Ultraschalluntersuchungen am ungeborenen Kind sind sich die Experten weltweit jedoch einig: Es gibt keinerlei Evidenz für Entwicklungsschäden oder Gefahr. Der lebensrettende Nutzen der Sonografie übersteigt das vernachlässigbare theoretische Risiko um ein Vielfaches.

"Frequenztherapien" und der Wunsch nach sanfter Heilung

Der Wunsch vieler Menschen nach sanften, nebenwirkungsfreien Heilmethoden ist tief verwurzelt und sehr verständlich, besonders bei chronischen Beschwerden oder Ängsten vor starker Medikation. Auf dem Gesundheits- und Wellnessmarkt finden sich daher zahlreiche Angebote (z.B. spezielle Ultraschallpads oder "Frequenzgeneratoren"), die damit werben, den Körper zu "entgiften", Toxine auszuschwemmen oder die "Zellschwingung" zu harmonisieren.

Aus Sicht der Physik und Zellbiologie müssen solche Versprechen jedoch kritisch eingeordnet werden. Begriffe wie "Frequenzen" oder "Schwingungen" klingen zwar nach seriöser

Hochtechnologie, werden hier aber oft losgelöst von ihrem wissenschaftlichen Kontext verwendet. Mechanische Schallwellen können keine spezifischen Toxine aus Zellen "rütteln". Die Zellphysiologie, die Nährstoffaufnahme und der Abtransport von Stoffwechselprodukten funktionieren primär über biochemische Rezeptoren, Enzyme, Leber- und Nierenfunktion sowie komplexe Osmose-Prozesse – nicht durch akustische Stimulation. Zwar kann Ultraschall die Durchblutung fördern (wie Wärme oder Massage), er ist jedoch kein Instrument zur Entgiftung auf zellulärer Ebene.

Der Irrtum der "Quantenresonanz"

Ebenso kritisch sind Konzepte zu betrachten, die Ultraschall mit Quantenphysik kombinieren wollen (oft als "Quanten-Ultraschall" oder im Kontext bestimmter Resonanz-Maschinen beworben). Anbieter suggerieren gelegentlich, spezifische Frequenzen könnten kranke Zellen erkennen und durch "Resonanz" zerstören, während gesunde Zellen intakt blieben.

Die evidenzbasierte Wissenschaft bietet hierfür keine Grundlage. Die Quantenphysik beschreibt Vorgänge auf allerkleinster, subatomarer Ebene. Ultraschall hingegen ist ein makroskopisches, mechanisches Phänomen von Atomen im Verbund. Medizinischer, therapeutischer Ultraschall (wie der erwähnte HIFU) erzielt seine Wirkung durch rein physikalische Hitzeentwicklung, nicht durch mystische Resonanzmuster oder Schwingungsharmonien. Patienten, die schwer erkrankt sind, sollten daher bei Angeboten, die quantenphysikalische Begriffe zur Rechtfertigung akustischer Therapien nutzen, ärztlichen Rat hinsichtlich der Evidenz einholen.

9. Faszination Grundlagenforschung: Sonolumineszenz und Optoakustik

Wer nach Wundern sucht, muss die evidenzbasierte Physik nicht verlassen. Die wissenschaftliche Erforschung des Ultraschalls liefert Phänomene, die jede Science-Fiction in den Schatten stellen.

Ein atemberaubendes Beispiel ist die **Sonolumineszenz** (Schall-Licht). Leitet man einen hochintensiven Ultraschall unter Laborbedingungen in eine mit Wasser gefüllte Glaskugel, kann man eine einzige, winzige Gasblase in der Mitte des Gefäßes festhalten. Durch die starken Schalldruckschwankungen dehnt sich die Blase aus und kollabiert dann in der Druckphase extrem schnell. Bei diesem gigantischen Kollaps herrschen tief im Inneren der Blase für den

Bruchteil einer Pikosekunde derart extreme Drücke und Temperaturen (mehrere tausend Grad Celsius – vergleichbar mit der Oberfläche der Sonne), dass das Gas ein Plasma bildet und bläuliches Licht aussendet. Aus mechanischem, unsichtbarem Schall und einfachem Wasser wird auf wundersame Weise Licht erschaffen!

Ebenso revolutionär ist die **optoakustische (photoakustische) Bildgebung**. Hierbei beschießt man Gewebe mit extrem kurzen Laserpulsen (Nanosekunden). Das Laserlicht wird von bestimmten Molekülen, etwa dem roten Blutfarbstoff, absorbiert. Diese blitzartige Energieaufnahme führt zu einer Erwärmung und einer thermischen Ausdehnung des Moleküls im Bereich von Bruchteilen eines Mikrometers. Diese unvorstellbar kleine, aber schnelle Ausdehnung erzeugt eine Druckwelle – einen Ultraschallpuls. Das Gewebe "schreit" buchstäblich auf, wenn es vom Licht getroffen wird. Ultraschallmikrofone fangen dieses Echo auf. So lassen sich winzigste Blutgefäße hochauflösend und ohne Kontrastmittel abbilden, indem man die Präzision des Lichts mit der tiefen Durchdringung des Schalls kombiniert.

Die Wissenschaft zeigt uns eindrucksvoll: Das Universum ist voller verborgener Signale. Wir müssen nur lernen, mit den richtigen Werkzeugen hinzuhören.

Dieses Dokument ist ein offizieller Export von Gesundheitsmythen.de (COMUN e.V.). Alle Fakten und Quellenangaben sind auf der Website einsehbar.