

Wellenlänge in der Physik: Grundlagen, Spektrum & physikalische Einordnung

Autor: Wolfram Klatt

Veröffentlicht am: 10.08.2026

Dokument generiert über Gesundheitsmythen.de

ZUSAMMENFASSUNG (ABSTRACT)

Die Wellenlänge beschreibt den räumlichen Abstand zweier gleicher Phasen einer Welle. Der Artikel erklärt den Zusammenhang mit Frequenz, das elektromagnetische Spektrum, De-Broglie-Materiewellen sowie eine evidenzbasierte, respektvolle Einordnung von Begriffen aus der Alternativmedizin.

Wellenlänge: Der fundamentale Rhythmus von Natur und Kosmos

Wenn wir in einen vollkommen ruhigen See einen kleinen Stein werfen, beobachten wir ein faszinierendes Schauspiel: Konzentrische Ringe breiten sich über die Wasseroberfläche aus. Dieses alltägliche, fast schon beruhigende Bild liefert uns eine sehr anschauliche und intuitive Vorstellung von einem der wichtigsten und weitreichendsten Konzepte der gesamten Naturwissenschaften: der Welle.

Ob es das sanfte Licht der Morgensonne ist, das unsere Augen erreicht, der tiefe Bass eines Musikinstruments, das Signal unseres Smartphones oder sogar die grundlegenden Bausteine der Materie selbst – sie alle lassen sich durch Wellen beschreiben. Doch um diese vielschichtigen Vorgänge in unserer Welt und im Kosmos wirklich verstehen und berechnen zu können, reicht die bloße Beobachtung der Ausbreitung nicht aus. Wir benötigen präzise physikalische

Messgrößen, um diese Schwingungen zu charakterisieren, voneinander zu unterscheiden und ihre Wirkung auf Materie vorherzusagen. An dieser Stelle tritt die **Wellenlänge** ins Rampenlicht, in physikalischen Formeln zumeist symbolisiert durch den griechischen Kleinbuchstaben Lambda (λ).

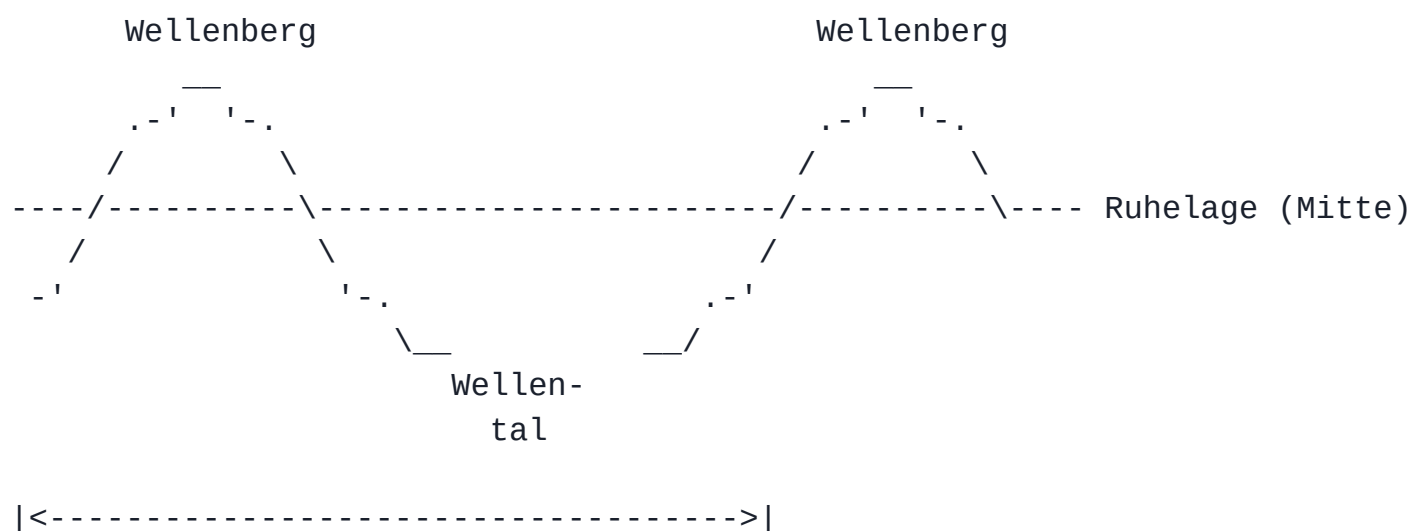
Dieser Artikel beleuchtet die Wellenlänge von ihren leicht verständlichen Grundlagen über das gewaltige Spektrum elektromagnetischer Phänomene bis hin zu tiefgreifenden quantenmechanischen Einsichten. Zudem widmen wir uns einer respektvollen und wissenschaftlichen Einordnung weit verbreiteter Mythen aus der Populärkultur.

1. Definition und physikalische Grundlagen

Was genau ist eine Wellenlänge?

Die Wellenlänge definiert den kürzesten räumlichen Abstand zwischen zwei Punkten einer Welle, die sich exakt im gleichen Schwingungszustand (der gleichen ‚Phase‘). Am einfachsten lässt sich dies bei einer klassischen Wasserwelle veranschaulichen: Es ist die gemessene Distanz von der Spitze eines Wellenbergs bis zur Spitze des exakt darauffolgenden Wellenbergs. Ebenso könnte man von Wellental zu Wellental messen – das Ergebnis bleibt identisch. Die Wellenlänge ist sozusagen das räumliche Grundmuster, in dem sich eine fortlaufende Schwingung immer wiederholt.

Visuelle Darstellung einer Transversalwelle:



Der eiserne Zusammenhang: Wellenlänge, Frequenz und Geschwindigkeit

Um die Wellenlänge mathematisch zu beschreiben und zu berechnen, bedient sich die Physik einer äußerst eleganten und grundlegenden Gleichung, die für alle Arten von Wellen gilt:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Diese drei Buchstaben repräsentieren die Kerneigenschaften jeder Welle:

- **λ (Lambda):** Die Wellenlänge (oft in Metern gemessen).
- **v (Geschwindigkeit):** Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle in ihrem jeweiligen Medium (beispielsweise die Schallgeschwindigkeit in der Luft oder die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum).
- **f (Frequenz):** Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde (gemessen in der Einheit Hertz, Hz).

Diese Formel offenbart einen strengen, umgekehrt proportionalen Zusammenhang: Wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit (v) gleich bleibt, dann muss die Wellenlänge umso kürzer werden, je höher die Frequenz ist – und umgekehrt.

Die Metapher des Spaziergängers: Stellen wir uns zwei Fußgänger vor, die exakt dasselbe Tempo (Ausbreitungsgeschwindigkeit v) gehen, sich aber in ihrem Laufstil unterscheiden.

Person A geht sehr gemächlich und macht lange, weite Schritte. *Person B* hat es eilig und trippelt mit sehr schnellen, kurzen Schritten, um bei *Person A* mitzuhalten.

Person A (Gemütlich)
Tempo: 5 km/h

[Schritt]-----[Schritt]
Lange Wellenlänge (?)
Niedrige Frequenz (f)

Person B (Trippelnd)
Tempo: 5 km/h

[Schritt]-[Schritt]-[Schritt]
Kurze Wellenlänge (?)
Hohe Frequenz (f)

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit entspricht hier dem Gehtempo, die Frequenz ist die Anzahl der Schritte pro Minute, und die Wellenlänge ist die Länge eines einzelnen Ausfallschrittes. Wer schnell schwingt (hohe Frequenz), macht ‚kurze Schritte‘ (kurze Wellenlänge).

Die Dimensionen der Wellenlänge in unserem Universum sind gigantisch in ihrer Vielfalt. Die kürzesten Wellenlängen, etwa die der kosmischen Gammastrahlung, betragen winzige Bruchteile eines Pikometers (10^{-12} Meter) und sind damit Milliarden Mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Am anderen Ende des Spektrums finden wir extrem niederfrequente Radiowellen, deren einzelne Wellenlängen sich über viele Tausende Kilometer erstrecken können.

2. Der naturwissenschaftliche Mechanismus: Arten von Wellen

Die Physik unterscheidet prinzipiell zwischen verschiedenen Wellenarten. Die Wellenlänge spielt bei jeder dieser Arten eine entscheidende, charakterisierende Rolle.

Mechanische Wellen

Mechanische Wellen (wie Schall, Erdbebenwellen oder Wasserwellen) benötigen zwingend ein materielles Medium, um sich fortzupflanzen – also Gase, Flüssigkeiten oder Festkörper. Hier sind es tatsächlich die Atome oder Moleküle des Mediums, die schwingen.

- **Longitudinalwellen (Längswellen):** Zu dieser Kategorie gehört der Schall, den wir hören. Hier schwingen die Teilchen der Luft parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle hin und her. Sie stoßen ihre Nachbarn an und schwingen zurück. Die Wellenlänge ist hier der räumliche Abstand zwischen zwei benachbarten Zonen maximaler Luftverdichtung.

Longitudinalwelle (z.B. Schall):
Ausbreitungsrichtung ----->

|| | | | | | | | | | | | | |
Verdichtung Verdünnung Verdichtung
|<----->|
wellenlänge (?)

- **Transversalwellen (Querwellen):** Wie die Wellen auf einer schwingenden Gitarrensaite. Hier bewegen sich die Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung

(hoch und runter, während die Welle voranschreitet). Unser erstes Diagramm im Artikel zeigt genau diesen Typ.

Elektromagnetische Wellen (EM-Wellen)

Diese Wellen sind von fundamentalerer Natur. Licht, Röntgenstrahlung, Mikrowellen oder WLAN-Signale zählen dazu. Ihr großes Geheimnis: Sie benötigen keinerlei materielles Medium. Sie können das absolute Vakuum des interstellaren Weltraums mühelos durchqueren. Sie bestehen aus elektrischen und magnetischen Feldern, die untrennbar aneinandergeschaltet sind und sich gegenseitig stetig neu aufbauen. Im Vakuum bewegen sich alle elektromagnetischen Wellen mit der exakt gleichen, ultimativen Geschwindigkeitsgrenze des Universums: der Lichtgeschwindigkeit c (knapp 300.000 Kilometer pro Sekunde).

Ein sehr wichtiges und im Alltag allgegenwärtiges Phänomen tritt auf, wenn elektromagnetische Wellen ein Medium durchqueren – beispielsweise wenn ein Lichtstrahl aus der Luft in eine Glasscheibe oder ins Wasser eintritt. In diesem Moment ändert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts, es wird durch die Interaktion mit der dichten Materie geringfügig abgebremst. Die entscheidende Eigenschaft der Welle, nämlich ihre Frequenz (die bestimmt, welche ‚Farbe‘ ein Lichtteilchen hat), bleibt dabei jedoch streng erhalten. Wenn wir uns an unsere Formel $\lambda = v / f$ erinnern, bedeutet dies zwingend: Wenn das Tempo v sinkt, aber die Frequenz f gleich bleibt, muss die Wellenlänge λ kürzer werden. Dieser Vorgang zwingt den Lichtstrahl dazu, seine Richtung leicht zu ändern – ein Prozess, den wir als **Lichtbrechung (Refraktion)** bezeichnen. Nur dank dieses Zusammenspiels von Wellenlänge und Geschwindigkeit sind optische Linsen, Brillen, Kameras und komplexe Mikroskope überhaupt möglich.

Der Quantensprung: Energie und Wellenlänge

In der modernen Quantenphysik offenbart das Konzept der Wellenlänge eine noch tiefergehende, verblüffende Eigenschaft. Wir wissen heute, dass Licht und alle anderen elektromagnetischen Wellen nicht nur reine Wellen sind, sondern sich gleichzeitig wie ein Strom aus winzigen Teilchen, den sogenannten Photonen, verhalten (Welle-Teilchen-Dualismus).

Max Planck und Albert Einstein bewiesen, dass die Energie (E) eines einzelnen Photons untrennbar an seine Frequenz gekoppelt ist. Die Gleichung $E = h \cdot f$ (h steht für das plancksche Wirkungsquantum) ist eines der Fundamente der modernen Physik. Da Frequenz und

Wellenlänge sich gegensätzlich verhalten, resultiert daraus eine immens wichtige physikalische Regel:

Je kürzer die Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung, desto massiv höher ist die Energie ihrer einzelnen Photonen.

Ein Röntgenphoton, das eine extrem kurze Wellenlänge aufweist, ist energetisch so aufgeladen, dass es beim Auftreffen auf Materie wie ein winziges Projektil wirkt. Es kann Elektronen aus Atomen herausschlagen (Ionisation). Ein Photon aus dem Bereich der langen Radiowellen hingegen besitzt eine vergleichsweise sanfte, sehr geringe Energie.

3. Bedeutung für Natur, Biologie und Technologie

Die spezifische Länge einer Welle diktiert praktisch alles, was wir in unserem Alltag wahrnehmen, und bestimmt, wie Naturgesetze unsere Welt formen. Ein Schlüsselwort ist hierbei die **Resonanz** und Absorption: Moleküle reagieren selektiv auf ganz bestimmte Wellenlängen, die gewissermaßen als Schlüssel in ihr energetisches Schloss passen.

Unser Sehsinn als evolutionäres Meisterwerk

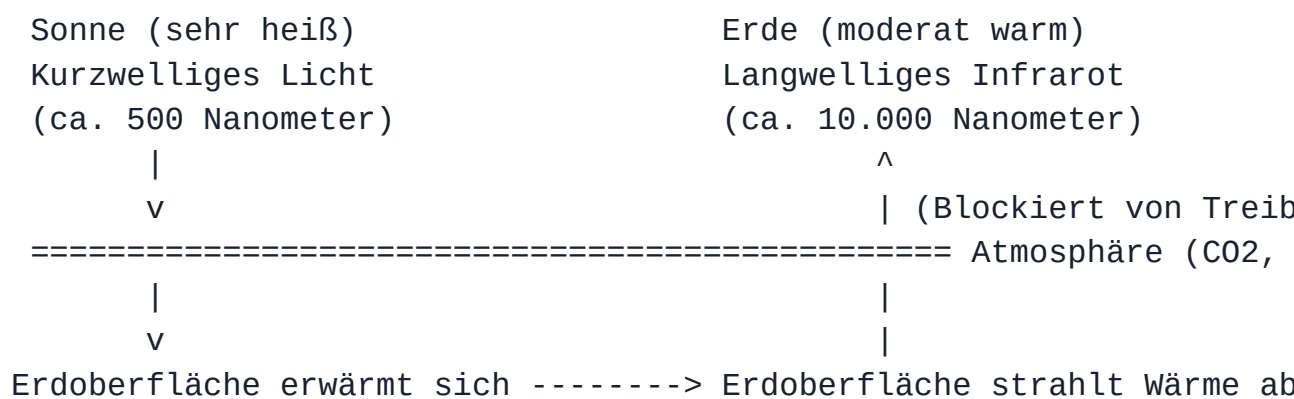
Das menschliche Auge ist ein biologischer Höchstleistungsdetektor für elektromagnetische Wellen. Allerdings ist es nur für einen absolut winzigen Ausschnitt des gesamten Spektrums empfindlich: wir nennen es das ‚sichtbare Licht‘. Die Evolution hat unsere Netzhaut exakt so geformt, dass sie auf Wellenlängen zwischen etwa 400 Nanometern (was wir als violett wahrnehmen) und 700 Nanometern (was wir als rot wahrnehmen) reagiert. Warum genau dieser Bereich? Unsere Sonne strahlt ihre meiste Energie exakt in diesem Wellenlängenbereich ab. Zudem lässt das flüssige Wasser, in dem sich die ersten Vorläufer unserer Augen im Urmeer entwickelten, gerade dieses Licht besonders gut hindurch, während es andere Wellenlängen blockiert. ‚Farbe‘ existiert als physikalische Realität in der Natur so gesehen nicht – es gibt dort draußen nur verschiedene Wellenlängen. Erst unser komplexes Gehirn übersetzt diese feinen Unterschiede in das prachtvolle Phänomen Farbe.

Die Atmosphäre, das Klima und das Gewächshaus Erde

Auch unser Weltklima wird vom ständigen Zusammenspiel verschiedener Wellenlängen dominiert:

1. **Der Schutzschild (UV-Strahlung):** Die Ozon-Moleküle hoch in der Stratosphäre sind perfekt darauf abgestimmt, die hochenergetische, sehr kurzwellige Ultraviolett-Strahlung (UV) der Sonne zu absorbieren. Ohne diese Filterung würde das komplexe biologische Leben auf dem Land verbrennen, da diese Wellenlängen DNA-Schäden verursachen.
2. **Der Treibhauseffekt (Infrarot-Strahlung):** Das sichtbare Licht der Sonne (relativ kurzwellig) durchdringt unsere Atmosphäre wie das Glasgewächshaus im Garten mühelos und erwärmt den Erdboden. Der warme Boden strahlt die Energie anschließend wieder ab, nun aber in Form von Infrarotstrahlung. Da die Erde viel kühler ist als die Sonne, haben diese Infrarotwellen eine deutlich **längere Wellenlänge**. Und hier liegt der entscheidende Punkt: Spurengase wie Kohlendioxid (CO₂) oder Methan sind für sichtbares Licht transparent, aber sie wirken wie eine Barriere für langwelliges Infrarot. Sie absorbieren es und strahlen einen Teil zurück zur Erde.

Die Mechanik des natürlichen Treibhauseffekts:



Dieser natürliche Mechanismus hat die Erde lebensfreundlich gemacht. Durch den massiven industriellen Ausstoß zusätzlicher Treibhausgase durch den Menschen verschiebt sich dieses Gleichgewicht jedoch in eine gefährliche Richtung (der anthropogene Klimawandel).

Kommunikation und moderne Technik

Unsere moderne Zivilisation ist ohne das tiefe Verständnis von Wellenlängen undenkbar. UKW-Radio arbeitet mit Wellenlängen im Bereich von etwa 3 Metern. Mobilfunk, heimisches WLAN

und Bluetooth-Verbindungen operieren hingegen im Mikrowellenbereich bei deutlich kürzeren Wellenlängen (einige Zentimeter). Dahinter steckt einfache Mathematik: Je kürzer die Wellenlänge (und somit höher die Frequenz), desto mehr Informationspakete (Daten) können pro Sekunde transportiert werden. Ein 5G-Netzwerk nutzt besonders kurze Wellenlängen, um gigantische Datenmengen blitzschnell zu streamen. Der physikalische Kompromiss ist jedoch, dass kurze Wellenlängen weitaus störanfälliger gegenüber festen Hindernissen wie Wänden, Bäumen oder gar Regentropfen sind. Radiowellen hingegen (lange Wellenlängen) durchdringen Gebäude und Berge nahezu mühelos, transportieren jedoch deutlich weniger Daten.

4. Häufige Missverständnisse in der Physik

Rund um das Thema Wellenlänge und Strahlung halten sich einige Mythen und Intuitionsfehler hartnäckig.

Das ‚Länge-gleich-Stärke‘-Missverständnis: Im Alltag verbinden wir ‚groß‘ oder ‚lang‘ oft intuitiv mit ‚mächtig‘. Eine kilometerlange Wasserwelle (Tsunami) besitzt eine gewaltige Zerstörungskraft. Daher ist die Annahme naheliegend, dass extrem lange elektromagnetische Wellen besonders mächtig seien. Wie wir im Abschnitt zur Quantenphysik gesehen haben, ist im elektromagnetischen Spektrum jedoch das genaue Gegenteil der Fall. Gammastrahlen sind unvorstellbar kurz (Pikometer), besitzen aber pro Photon extrem hohe Energien. Radiowellen können hunderte Meter lang sein, doch ihre Energie ist so gering, dass sie den menschlichen Körper absolut folgenlos durchqueren, ohne Zellen auch nur im Geringsten zu beeinflussen. Lang bedeutet in diesem Kontext energiearm, kurz bedeutet energiereich.

‚Fortbewegte Materie‘ bei Wasserwellen: Wenn wir auf das Meer hinausblicken und eine Welle heranrollen sehen, hat es den Anschein, als würden große Mengen an Wasser über weite Strecken auf uns zu fließen. Physikalisch gesehen bewegt sich hier primär nur die Energie und der Impuls. Die einzelnen Wassertropfen hingegen vollführen überwiegend lediglich eine kreisförmige Bewegung um ihre eigene Achse auf der Stelle und kehren fast genau zu ihrem Ausgangspunkt zurück. Erst ganz am flachen Strand bricht die Welle und schiebt das Wasser nach vorne. Eine Welle ist somit ein meisterhafter Energietransporteur, der das Medium selbst weitgehend an seinem Platz belässt.

5. Alternative Erklärungsansätze und physikalische Einordnung

In Bereichen der alternativen Gesundheitslehre, der Esoterik und teils in der Alternativmedizin haben Begriffe wie ‚Wellenlänge‘, ‚Schwingung‘ und ‚Frequenz‘ seit Jahrzehnten einen festen Platz. Es ist ein zutiefst menschliches, verständliches Bedürfnis, sich nach innerer Balance, Harmonie im Leben und umfassender Gesundheit zu sehnen. Die Verwendung dieser physikalischen Fachbegriffe in einem spirituellen oder komplementären Kontext führt jedoch häufig zu tiefgreifenden Missverständnissen. Die Begriffe werden dort meist metaphorisch genutzt, was jedoch den strengen naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten widerspricht. Eine Aufklärung ist hier wichtig, um informierte Entscheidungen treffen zu können.

Das Konzept der ‚Schwingungserhöhung‘: Oftmals begegnet einem der Ratschlag, man müsse die eigene ‚Wellenlänge anpassen‘ oder seine ‚Schwingung erhöhen‘, um ein gesünderes Leben zu führen. Physikalisch betrachtet bestehen unsere komplexen Körper aus Billionen von Zellen und noch weit mehr Atomen. Durch die natürliche Körperwärme (Temperatur) befinden sich all diese winzigen Bausteine in einer stetigen, chaotischen Zitterbewegung (die sogenannte Brownsche Bewegung). Eine einzelne, übergreifende und messbare ‚Körper-Wellenlänge‘, die sich wie die Frequenz eines Radiosenders von außen einstellen oder umprogrammieren ließe, existiert nach unserem aktuellen und bestens belegten wissenschaftlichen Verständnis nicht. Die Vorstellung, man könne durch positives Denken, die Nähe bestimmter Objekte (wie Heilsteine) oder spezielle Ernährungsformen eine messbare, zelluläre Wellenlänge physisch verändern, ist eine philosophische Metapher, aber kein physikalisch belegbarer Mechanismus.

Schutzprodukte gegen elektromagnetische Felder (Elektrosmog): Aufgrund weit verbreiteter Sorgen um mögliche Auswirkungen neuer Technologien (wie Mobilfunkstrahlung oder WLAN) suchen viele Menschen nach Sicherheit und Schutz für sich und ihre Familien. Auf diesem Bedarf aufbauend, bieten einige Verkäufer spezielle Aufkleber für Smartphones, kleine USB-Sticks oder sogenannte ‚Orgonite‘ (Objekte aus Harz und Metall) an, die versprechen, bedenkliche Strahlungen und Wellenlängen zu ‚harmonisieren‘ oder umzuwandeln.

Hier hilft ein sachlicher Blick auf die Physik elektromagnetischer Felder: Um eine Welle – beispielsweise die von einem Mobiltelefon (mit einer Wellenlänge von gut 10 bis 15 Zentimetern) – aufzuhalten, muss man sie physikalisch blockieren. Dies geschieht durch Reflexion oder Absorption, idealerweise durch ein geschlossenes metallisches Netz (einen Faradayschen Käfig). Ein kleiner, wenige Quadratzentimeter großer Aufkleber an der Rückseite

des Telefons kann eine Welle dieser Ausdehnung rein physikalisch und geometrisch nicht aufhalten. Wichtiger noch: Würde das Produkt die Funkwellen tatsächlich neutralisieren, so könnte das Gerät absolut keine Verbindung mehr zum Funkmast herstellen. Dass Handys mit aufgeklebten Schutz-Produkten weiterhin völlig problemlos Empfang haben, ist der stärkste physikalische Hinweis darauf, dass die Wellen ungehindert passieren.

Das Bedürfnis nach Schutz in einer technisierten Welt ist vollkommen verständlich und legitim. Der Erwerb solcher Produkte bietet nach naturwissenschaftlichen Kriterien jedoch keinen realen Schutzmechanismus, sondern beruht in seiner wahrgenommenen Wirkung vor allem auf einem psychologischen Sicherheitsempfinden (dem bekannten Placebo-Effekt). Für echte gesundheitliche Fragen ist stets der Dialog mit ärztlichem Fachpersonal der sicherste Weg.

6. Faszination Wissenschaft: De-Broglie und die kosmische Expansion

Die Realität echter naturwissenschaftlicher Erkenntnisse besitzt eine Faszination, die jede Science-Fiction in den Schatten stellt. Betrachten wir das Konzept der Wellenlänge in seinen extremsten Ausprägungen, offenbaren sich die tiefsten Mysterien der Existenz.

Eines der monumentalsten Beispiele für die Tragweite dieses Konzepts ist die **kosmologische Rotverschiebung**. Wenn Astronomen durch Teleskope ins tiefste All blicken, betrachten sie ferne Galaxien, deren Licht Millionen oder gar Milliarden Jahre zu uns unterwegs war. Während das Licht in dieser gewaltigen Zeitspanne den intergalaktischen Raum durchquert, expandiert das Universum stetig. Diese unglaubliche Expansion dehnt buchstäblich den leeren Raum selbst aus – und zieht dabei die Wellenlängen des reisenden Lichts in die Länge! Aus ursprünglich kurzwelligem, eher bläulichem Licht wird über Äonen hinweg langwelliges, rötliches Licht. Noch extremer ist das Echo des Urknalls: Der sogenannte kosmische Mikrowellenhintergrund begann seinen Weg einst als unfassbar heiße, kurzwellige Gammastrahlung im jungen Universum. Durch die gigantische Ausdehnung des Kosmos in den letzten 13,8 Milliarden Jahren wurden diese Wellenlängen so massiv gestreckt, dass sie heute als langwellige Mikrowellen messbar sind. Die Ausdehnung des gesamten Universums ist also direkt durch die Messung von Wellenlängen für uns sichtbar.

Noch bizarrer, und doch unumstößlich wahr, wird es in der Welt des Allerkleinsten. Der französische Physiker Louis de Broglie postulierte im Jahr 1924, dass die Natur sehr

symmetrisch ist. Wenn Wellen (wie Licht) sich teils wie kleine Materieteilchen verhalten können (Photonen), so müssen umgekehrt auch handfeste Materieteilchen wellenartige Eigenschaften aufweisen!

Dieses unglaubliche Konzept nennt man **Materiewellen** (oder De-Broglie-Wellenlänge). Jedes Objekt im Universum, das Masse und Geschwindigkeit besitzt, hat eine eigene, kalkulierbare Wellenlänge. Das gilt für ein Elektron, das um einen Atomkern kreist, genauso wie für einen fliegenden Tennisball. Da Elektronen eine sehr geringe Masse haben, ist ihre Wellenlänge noch groß genug (oft im Pikometerbereich), um in der Technik genutzt zu werden: Moderne Elektronenmikroskope feuern keine Lichtwellen, sondern Materiewellen (Elektronen) ab und erzielen damit Auflösungen, die weit jenseits dessen liegen, was Licht jemals sichtbar machen könnte. So können wir einzelne Atome fotografieren.

Und der absolute, abschließende Wow-Effekt? Auch Sie, der Sie in diesem Moment vor einem Bildschirm sitzen und diesen Text lesen, besitzen aufgrund Ihrer Körpermasse eine eigene, echte physikalische Materie-Wellenlänge! Da ein Mensch jedoch unfassbar viel massereicher ist als ein Elektron, ist unsere ganz persönliche Wellenlänge extrem winzig (im Bereich von absurd kleinen 10^{-36} Metern). Sie ist so verschwindend gering, dass wir diese Welleneigenschaften im Alltag niemals spüren werden und nicht durch Wände ‚diffundieren‘ können. Doch diese wissenschaftliche Realität verdeutlicht eine wunderschöne Tatsache: Wir sind auf der fundamentalsten Ebene keine starren, isolierten Klötze aus fester Materie. Wir sind vielmehr hochkomplexe Orchester aus schwingenden Quantenfeldern, tief verwurzelt und eng verwoben mit dem ewigen, rhythmischen Puls universeller Wellenlängen.