# WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN DER BIOPHYSIKALISCHEN MEDIZIN

## Inhaltsverzeichnis


Inhaltsverzeichnis ..... 0
1. Einführung: Quantenbiologie – Brücke zwischen Physik und Medizin ..... 0
2. Grundprinzipien der Quantenmechanik – kurz & relevant für Biologie ..... 1
2.1 Quantenverschränkung (Entanglement) ..... 1
2.2 Quantenteleportation ..... 2
2.3 Quanten-Tunneling und Kohärenz ..... 2
3. Quantenphänomene in biologischen Systemen ..... 2
3.1 Photosynthese und Energieübertragung ..... 2
3.2 Enzymreaktionen und Protonentransfer ..... 2
3.3 Magnetoreception und Spin-Effekte ..... 3
3.4 Neuere Entdeckungen: Superradiance und biologische Qubits ..... 3
4. Potenzielle Anwendungen in der Biophysikalischen Medizin ..... 7
4.1 Diagnostik und Quantensensorik (inkl. Quantenteleportation) ..... 7
4.2 Therapieansätze und personalisierte Medizin ..... 7
4.3 Grenzen und offene Fragen ..... 7
5. Wichtige Forscher und Schlüsselarbeiten ..... 7
6. Ausgewählte Veröffentlichungen (2021–2026) ..... 8
7. Quellen ..... 8

# 1. Einführung:
# Quantenbiologie – Brücke zwischen Physik und Medizin

Die Quantenbiologie untersucht, wie quantenmechanische Prinzipien in lebenden Systemen wirken – trotz warmer, chaotischer Umgebungen. Effekte wie Verschränkung, Quantenteleportation und Tunneling optimieren Prozesse wie Energieübertragung oder Informationsverarbeitung und könnten neue medizinische Ansätze ermöglichen.

2025 - Internationales Jahr der Quantenwissenschaft brachte Durchbrüche: Biologische Qubits in Zellen, Superradiance in Proteinen und Quantenteleportation über reale Internetkabel. Diese könnten in der Biophysikalischen Medizin für präzise Diagnostik und Therapie genutzt werden – z. B. instantane Informationsübertragung in Zellen oder über Distanz. [1]

# 2. Grundprinzipien der Quantenmechanik – kurz & relevant für Biologie

## 2.1 Quantenverschränkung (Entanglement)

Quantenverschränkung ist eines der faszinierendsten Phänomene der Quantenmechanik:
Zwei oder mehr Teilchen (z. B. Photonen, Elektronen) werden so miteinander verbunden, dass der Zustand des einen instantan den Zustand des anderen bestimmt – unabhängig von der Entfernung.

Funktionsweise: Der Gesamtzustand des Systems ist festgelegt, aber die individuellen Zustände sind undefiniert, bis eine Messung erfolgt. Dann „kollabiert“ die Wellenfunktion, und beide Teilchen zeigen korrelierte Eigenschaften (z. B. Spin up/down). Dies widerspricht klassischer Lokalität und wurde durch Bells Ungleichungen und Experimente (Aspect 1982, loophole-free 2015) bewiesen. Keine Information reist schneller als Licht – die Korrelation ist vorab festgelegt.

[Hypothese] Biologische Relevanz:
Verschränkung könnte in Photosynthese (effizienter Energie-Transfer) oder neuronaler Synchronisation eine Rolle spielen. Neuere Studien (2025) deuten auf Quantenverschränkung (Entanglement) in höheren Bewusstseinszuständen oder Mikrotubuli hin. [2]

### 2.2 Quantenteleportation

Quantenteleportation überträgt den Quanten-Zustand eines Teilchens (z. B. eines Photons) von A nach B – ohne das Teilchen physisch zu transportieren.

Funktionsweise:

1. Alice und Bob teilen ein verschränktes Paar (EPR-Paar).
2. Alice misst ihr Teilchen gemeinsam mit dem zu teleportierenden Zustand (Bell-Messung).
3. Das Ergebnis (klassische Bits) sendet sie an Bob.
4. Bob wendet eine Korrekturoperation an – der Zustand erscheint bei ihm.

Kein materieller Transport, nur Information. Das Original wird zerstört (No-Cloning-Theorem). Erste Experimente 1997 (Zeilinger et al.), Rekorde bis 1.400 km (Satellit 2017). Neueste Fortschritte (2025): Erste Quantenteleportation zwischen unterschiedlichen Quantenpunkten (Quantum Dots) und über reale Internetkabel mit >70–94% Fidelity – Schlüssel für Quanten-Internet.

[Hypothese] Biologische/Medizinische Relevanz:
Spekulativ als Modell für instantane Zellkommunikation oder Informationsübertragung in DNA/Mikrotubuli (z. B. Hypothesen zu "biologischen Drähten").
Praktisch: Quantenteleportation für Quantensensorik in Zellen (z. B. in-vivo-Messungen). [3]

### 2.3 Quanten-Tunneling und Kohärenz

Teilchen tunneln durch Barrieren; Kohärenz erlaubt Superposition. Diese Effekte beschleunigen Enzymreaktionen und Energieübertragung in Zellen.

## 3. Quantenphänomene in biologischen Systemen

### 3.1 Photosynthese und Energieübertragung

Quanten-Kohärenz erklärt nahezu 100% Effizienz des Energie-Transfers in Lichtsammelkomplexen – bewiesen durch Spektroskopie. [4]

### 3.2 Enzymreaktionen und Protonentransfer

Tunneling und Spin-Effekte steuern Protonen- und Elektronentransfer, was Zellmetabolismus und DNA-Prozesse optimiert. [5]

## 3.3 Magnetoreception und Spin-Effekte

Schwache Magnetfelder beeinflussen Elektronenspins in Radikalpaaren – relevant für Vogelnavigation und mögliche physiologische Therapien. [6]

## 3.4 Neuere Entdeckungen: Superradiance und biologische Qubits

2025: Zellen können fluoreszierende Proteine zu "biologischen Qubits" umwandeln – genetisch kodierte Quantensensoren für in-vivo-Messungen (z. B. Magnetfelder in Zellen). [7]

Philip Kurian (Quantum Biology Lab) zeigte 2025 Superradiance in Proteinfilamenten und setzte neue Grenzen für biologische Rechenkapazität. [8]

## 3.5 Quantenmechanisch nachgewiesene physiologische Prozesse im menschlichen Organismus

Die nachfolgende Übersicht fasst alle physiologischen Prozesse zusammen, für die quantenmechanische Beiträge wissenschaftlich nachgewiesen oder durch experimentelle Studien (2021–2026) stark belegt sind.

### 1. Energiestoffwechsel: Mitochondrien & ATP-Synthese

**Mechanismus:** Quantentunneling von Elektronen und Protonen in der mitochondrialen Atmungskette (Komplexe I–IV). Elektronen überwinden Energiebarrieren durch Tunneling – das senkt Aktivierungsenergie und erhöht die Elektronenflussrate, was direkt mehr ATP-Produktion ermöglicht.

**ROS-Regulation:** Quantenkohärenz im Mitochondrium beeinflusst das Gleichgewicht zwischen ATP-Synthese und reaktiven Sauerstoffspezies (ROS). Modellstudie (AIMS Biophysics, 2024): Protonentunneling durch die innere Mitochondrienmembran reguliert die Protonenleckage und damit das Membranpotential physiologisch.

**Klinische Relevanz:** Oxidative Schäden an den Tunneling-Proteinen der Atmungskette werden als Ursache des Energieverlustes bei ALS, Alzheimer und Parkinson diskutiert (ScienceDirect, 2019/2024). → Implikation für mitochondriengerichtete Therapien (CoQ10, Photobiomodulation).

## 2. DNA-Stabilität, Mutation und Replikation

**Protonentunneling in Wasserstoffbrücken:** Protonen in den Wasserstoffbrückenbindungen der Basenpaarungen (G-C, A-T) tunneln durch Energiebarrieren – das überschreitet die klassische Rate um mehrere Größenordnungen (Communications Physics / Nature, 2022). Folge: Spontane Tautomerisierungen können Punktmutationen auslösen.

**Transkriptionsfehler durch Tunneling:** Im aktiven Zentrum der DNA-Polymerase existiert eine kurzlebige „Tunneling-Ready-Konfiguration", die den Protonentransfer um das Hundertfache beschleunigt und die Fehlerquote der Replikation direkt mitbestimmt (PMC / ACS, 2023). → Relevanz für Krebsentstehung und genetische Stabilität.

**Größenordnung:** Modellierungen schätzen, dass zu jedem Zeitpunkt Hunderttausende solcher Quantentautomere im Zellgenom vorliegen können – ein bislang weitgehend übersehener Mutationsmechanismus (Scientific American / Surrey, 2022).

## 3. Enzymkatalyse & Zellmetabolismus

**Wasserstoff-Tunneling als universeller Katalysemechanismus:** Enzyme wie Alkohol-Dehydrogenase (LADH), Dihydrofolat-Reduktase (DHFR) und Lipoxygenase katalysieren C-H-Bindungsspaltung durch Quantentunneling von Wasserstoffatomen – experimentell belegt durch kinetische Isotopeneffekte (KIE) weit über dem klassischen Maximum (PNAS, 1997; PMC, 2013).

**Proteindynamik als Quantensteuerung:** Konformationsänderungen im aktiven Zentrum optimieren Donor-Akzeptor-Abstand für maximales Tunneling – eine durch Evolution konservierte Struktur-Funktion-Beziehung auf Quantenebene. Betroffen: praktisch alle Enzymreaktionen außer Radikalreaktionen (Frontiers Physiol., 2024).

**Cytochrom P450:** Der Elektronentransfer in Cytochrom-P450-Enzymen (zentral für Entgiftung, Hormonbiosynthese, Medikamentenstoffwechsel) erfordert quantenmechanische Berechnungen zur Erklärung – das lokale elektrische Feld verstärkt den biologischen Elektronentransfer durch Quanteneffekte (Babcock et al., 2025).

### 4. Olfaktion (Geruchswahrnehmung)

**Vibrationsmechanismus vs. Schlüssel-Schloss-Prinzip:** Die Quantentheorie der Olfaktion (Luca Turin, 1996, weiterentwickelt durch Brookes 2017) postuliert, dass Geruchsrezeptoren Moleküle anhand ihrer Schwingungsfrequenzen über inelastisches Elektronentunneling unterscheiden – nicht allein durch Geometrie. Elektronentunneling im Rezeptorprotein koppelt an spezifische Molekülschwingungen. Experimentelle Belege: Duftstoffe mit identischer Form, aber unterschiedlichen Deuterium-Isomeren riechen verschieden (PNAS, 2013). → Quantentunneling steuert also auch die sensorische Wahrnehmung.

### 5. Sehprozess (Photorezeption)

Die primäre Photoisomerisierung von 11-cis-Retinal zu all-trans-Retinal in Rhodopsin – der erste Schritt der Lichtwahrnehmung – ist ein ultraschneller Quantenprozess (<200 fs). Die Wellenpaketdynamik auf der angeregten Potenzialfläche erfolgt kohärent-quantenmechanisch. Diese Reaktion zählt zu den am besten belegten nicht-trivialen Quantenprozessen in Biologie (Frontiers Quantum Sci. & Techn., 2024). → Das Auge nutzt Quantendynamik für höchste Photodetektionseffizienz.

### 6. Biophotonen & zelluläre Quantenkommunikation

**Superradiance in Proteinen:** Kurian et al. (Howard University, 2024/2025) wiesen nach, dass Proteinfilamente kohärente Lichtemmission (Superradiance) zeigen – ein kollektiver Quanteneffekt, der klassische Physik nicht erklären kann. Biophotonen aus der Atmungskette könnten als quantenelektrodynamisches Signal die metabolische Aktivität zwischen Mitochondrien und Zellen synchronisieren.

**Myelin & verschränkte Biphotonen:** Liu et al. (2024) zeigten, dass C-H-Bindungsschwingungen in Lipidmolekülen der Myelinscheide verschränkte Photonenpaare erzeugen können (cavity QED) – ein erster Hinweis auf Quantenverschränkung im Nervensystem.

### 7. Cryptochrome, Magnetfeld-Wahrnehmung & zirkadiane Rhythmik

Cryptochrome sind Flavoproteine, die in nahezu allen Organismen – einschließlich des menschlichen Organismus – vorkommen und als primäre Taktgeber der zirkadianen Uhr fungieren. Lichtaktivierung erzeugt Radikalpaare mit verschränkten Elektronenspins. Das Erdmagnetfeld beeinflusst diese Spinzustände und verändert damit chemische Signalwege – ein direkter Einfluss des Geomagnetfelds auf Zellfunktionen. → Implikation: schützende oder therapeutische Nutzung spezifischer Magnetfelder auf zirkadiane und immunologische Prozesse (Frontiers Physiol., 2024).

## 8. Neurodegeneration, Proteinfaltung & Alterung

**Amyloid-Fibrillen & Quanteneffekte:** Kurian et al. (2024) fanden Hinweise, dass Amyloidfibrillen nicht nur Krankheitsmarker sind, sondern möglicherweise funktionelle Rollen in neurologischen Prozessen spielen – vermittelt durch kollektive Quanteneffekte in Proteinnetzwerken.

**Alterung als Tunneling-Verlust:** Mit zunehmendem Alter akkumulieren oxidative Schäden an den Tunneling-Proteinen der Atmungskette. Progressiv gestörtes Elektronentunneling führt zu vermindertem Energiefluss und erhöhter ROS-Produktion – ein testbares, quantenmechanisches Alterungsmodell (ScienceDirect, 2019).

## 9. Ionenkanäle & neuronale Signalleitung

Ionentransport durch biologische Membrankanäle zeigt quantenmechanische Eigenschaften: Protonenleitfähigkeit in Gramicidin-Kanälen überschreitet klassische Raten; Wassertransport durch Aquaporine lässt sich nur durch Quantenmodelle vollständig beschreiben. Diese quantenmechanischen Eigenschaften sind direkt relevant für Erregungsleitung, Osmoregulation und synaptische Übertragung (Quantum Biology Review, MDPI, 2021).

## Übersicht: Evidenzgrade quantenbiologischer Effekte im menschlichen Organismus

| Physiologischer Bereich | Quantenmechanismus | Evidenzgrad |
|---|---|---|
| ATP-Synthese / Atmungskette | Elektronen-/Protonentunneling | ✓✓ **Stark belegt** |
| DNA-Mutation & Replikation | Protonentunneling (H-Brücken) | ✓✓ **Stark belegt** |
| Enzymkatalyse (C-H-Spaltung) | H-Tunneling (KIE-belegt) | ✓✓✓ **Experimentell bewiesen** |
| Sehprozess (Rhodopsin) | Kohärente Wellenpaketdynamik | ✓✓✓ **Experimentell bewiesen** |
| Olfaktion (Geruch) | Inelastisches Elektronentunneling | ✓ **Experimentell möglich** |
| Cryptochrome / Zirkadiane Uhr | Radikalpaar-Mechanismus | ✓✓ **Stark belegt** |
| Biophotonen / Zellkommunikation | Superradiance / QED-Emission | ✓ **Emerging (2024/2025)** |
| Ionenkanäle / Membrantransport | Protonenleitfähigkeit, Tunneling | ✓ **Theoretisch / computationell** |

✓✓✓ Experimentell bewiesen = direkte Messung im physiologischen System | ✓✓ Stark belegt = mehrere unabhängige Studien mit indirekter Messung | ✓ Emerging/theoretisch = Modellbefunde, erste experimentelle Hinweise

# 4. Potenzielle Anwendungen in der Biophysikalischen Medizin

## 4.1 Diagnostik und Quantensensorik (inkl. Quantenteleportation)

Biologische Qubits + Quantenteleportation ermöglichen nanoscale-Imaging oder Echtzeit-Überwachung. Quantenteleportation über Fasern könnte zukünftige Quanten-Sensor-Netzwerke für Fern-Diagnostik unterstützen. [3]

## 4.2 Therapieansätze und personalisierte Medizin

Die Fortschritte in der Verschränkung/Quantenteleportation eröffnen neuartige Therapieansätze für nicht-Invasive Verfahren und Individuelle Behandlungsansätze von Erkrankungen und Symptomen, die über bisher bekannte Diagnose und Therapieverfahren unzugänglich gewesen sind. (beispielsweise in Magnetfeld-Therapien). Quantencomputing simuliert heute schon Moleküle für personalisierte Therapien.

## 4.3 Grenzen und offene Fragen

Durch die zögerliche Annahme und Zusammenarbeit zwischen Medizin und Grenzbereichen der Wissenschaft, eröffnen sich leider nur sehr zögerlich Möglichkeiten in der Forschung und Entwicklung dieser neuartigen Therapieansätze und der damit verbundenen Möglichkeiten. Die Wissenschaftlichen Erkenntnisse und Entwicklung in der Quantenbiologie werden in Zukunft die Schlüsselarbeiten darlegen, diese Bereiche weiter zu erforschen und voranzutreiben.

# 5. Wichtige Forscher und Schlüsselarbeiten

- Philip Kurian (Quantum Biology Laboratory, Howard University): Computational capacity of life (Science Advances, 2025) Superradiance in biological systems (2025)
- Peter Maurer & David Awschalom (University of Chicago): Fluorescent-protein spin qubit (Nature, 2025)
- Tim Strobel et al. (University of Stuttgart): Telecom-wavelength quantum teleportation using frequency-converted photons from remote quantum dots (Nature Communications, 2025)
- Jordan M. Thomas et al. (Northwestern University): Quantum teleportation coexisting with classical communications in optical fiber (Optica, 2024/2025)

## 6. Ausgewählte Veröffentlichungen (2021–2026)

- Quantum Biology: Recent Advances (Quantum Reports, 2025–2026)
- Telecom-wavelength quantum teleportation using frequency-converted photons from remote quantum dots (Nature Communications, 2025)
- Quantum teleportation with dissimilar quantum dots over a hybrid quantum network (Nature Communications, 2025)
- Quantum teleportation coexisting with classical communications in optical fiber (Optica, 2024/2025)
- Evidence of quantum-entangled higher states of consciousness (2025)
- Computational capacity of life in relation to the universe (Science Advances, 2025)
- Biological qubits for sensing (Nature, 2025)

## 7. Quellen


[1] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11960655/

[2] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11960655

[3] https://www.sciencedaily.com/releases/2025/11/251129044516.htm

[4] https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaz4888

[5] https://phys.org/news/2025-09-scientist-microbial-roots-potential-quantum.html

[6] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10811782

[7] https://singularityhub.com/2025/09/02/scientists-just-made-biological-qubits-that-act-as-quantum-sensors-inside-cells

[8] https://thequantuminsider.com/2025/05/29/whats-quantum-biology-a-research-pioneer-shares-his-vision-for-quantum-technologys-next-frontier