



DOSSIER · THERAPIE

Fokussierte Ultraschalltherapie

Die fokussierte Ultraschalltherapie ist ein nicht-invasives Verfahren, das hochintensiven Ultraschall gezielt auf Gewebe richtet. Die Methode wird vor allem in der Neurologie erforscht, wobei ein erheblicher Teil der Arbeiten beobachtend ist – kontrollierte Daten stehen für viele Anwendungsgebiete noch aus.

427

STUDIEN
INSGESAMT

345

AM MENSCHEN

22

DAVON
KONTROLLIERT

2

AN TIEREN

2

IM LABOR

Zahlen aus der IHR-Studiendatenbank · Stand 2026-10-04

So lesen Sie dieses Dossier

BELEGT

am Menschen gemessen, mit
Vergleichsgruppe

PLAUSIBEL

gestützt durch Wirkmechanismus,
Tierversuch oder Beobachtung

VERMUTUNG

ein naheliegender Zusammenhang,
der noch geprüft werden muss

Fokussierte Ultraschalltherapie auf einen Blick

HERKUNFT:

Die fokussierte Ultraschalltherapie (MRgFUS) ist ein nicht-invasives Verfahren, das gebündelte Ultraschallwellen unter Echtzeit-MRT-Kontrolle millimetergenau auf Gewebe richtet. Ursprünglich in den 1950er-Jahren für die Tumorablation entwickelt, ermöglicht erst die Kombination mit MRT seit den 2000er-Jahren eine sichere Anwendung am Gehirn. Heute wird sie vor allem in der Neurologie zur Behandlung von Tremor, Parkinson und neuropathischen Schmerzen eingesetzt, ohne Schnitte oder Implantate zu erfordern.

STUDIENLAGE:

427 ausgewertete Arbeiten · 22 kontrollierte Studien am Menschen · 323 Beobachtungsstudien · 17 Übersichtsarbeiten · 2 Tierversuche · 2 Zellkulturarbeiten

STÄRKSTE BELEGE:

- Bewegungsstörungen (Essentieller Tremor/Parkinson) **Belegt:** Randomisierte kontrollierte Studien zeigen eine signifikante und anhaltende Reduktion von Tremor (CRST von 40,7 auf 9,3 nach 1 Monat) sowie stabile motorische Verbesserungen (UPDRS) über 2 Jahre bei MRgFUS-Thalamotomie. Nebenwirkungen wie Gangunsicherheit waren transient, und direkte Vergleiche mit tiefer Hirnstimulation (DBS) deuten in kleinen Kohorten auf eine vergleichbare Wirksamkeit bei unterschiedlichen Risikoprofilen hin.
- **Onkologie:** (Glioblastom) **Plausibel:** Eine Machbarkeitsstudie (2014) demonstrierte erstmals die sichere partielle Tumorablation bei einem rezidivierenden Glioblastom ohne neurologische Defizite. Die Methode erwies sich als technisch durchführbar, doch Daten zur langfristigen Tumorkontrolle und Übertragbarkeit auf größere Patientengruppen stehen noch aus.
- Neuropathischer Schmerz **Plausibel:** Eine systematische Übersichtsarbeit (2023) mit 66 Patienten zeigte variable Schmerzreduktion (VAS) nach bilateraler MRgFUS-Thalamotomie, mit seltenen transienten Nebenwirkungen. Eine Phase-I-Studie bestätigte die Sicherheit, betonte jedoch die Notwendigkeit größerer RCTs mit standardisierten Schmerzskalen.
- Signifikante Anstiege von CD34 und MBP in präklinischen Studien sind Laborbefunde; ob sie eine Hautregeneration am Menschen anzeigen, ist nicht untersucht, und Vergleiche mit Standardtherapien wie topischen Steroiden stehen noch aus.
- Blut-Hirn-Schranke (Neurodegeneration) **Plausibel:** Eine Machbarkeitsstudie mit 4 ALS-Patienten bestätigte die sichere transiente Öffnung der Blut-Hirn-Schranke via MRgFUS, ohne schwere Nebenwirkungen. Die Methode könnte gezielte Medikamentenapplikation ermöglichen, doch klinische Wirksamkeit steht noch aus.

GRENZEN:

- Langzeitsicherheit Daten zu Spätfolgen wie kognitiven Veränderungen oder sekundären Dystonien fehlen, da Nachbeobachtungszeiten meist unter 2 Jahren liegen. Bilaterale Eingriffe sind zudem unzureichend untersucht.
- Patientenselektion Die Effizienz der Energieübertragung hängt von Schädelmorphologie (SDR) ab, was die Anwendbarkeit einschränkt. Direkte Vergleiche mit DBS sind selten und auf kleine Kohorten begrenzt.
- Heterogene Zielgebiete Studien verwenden unterschiedliche Zielstrukturen (z. B. VIM, Pallidum, zentraler lateraler Nucleus), was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwert. Standardisierte Protokolle fehlen.

EINORDNUNG:

Die fokussierte Ultraschalltherapie (MRgFUS) ist ein nicht-invasives Verfahren mit belegter Wirksamkeit bei Bewegungsstörungen wie essentiell Tremor und Parkinson, das durch Echtzeit-MRT-Kontrolle und fehlende Implantate besticht, aber noch offene Fragen zur Langzeitsicherheit und Standardisierung aufwirft.

1. Was fokussierte Ultraschalltherapie ist

Die **fokussierte Ultraschalltherapie** (MRgFUS, Magnetic Resonance-guided Focused Ultrasound) nutzt gebündelte Ultraschallwellen, um Gewebe präzise zu erhitzen oder mechanisch zu beeinflussen. Das Verfahren wird unter Echtzeit-Bildgebung (meist MRT) durchgeführt, um Zielstrukturen millimetergenau zu erreichen. Ursprünglich für die Tumorablation entwickelt, wird es heute vor allem in der Neurologie eingesetzt, etwa zur Behandlung von **Tremor** oder **Parkinson-Symptomen**. Die Technik stammt aus den 1950er-Jahren, doch erst seit den 2000er-Jahren ermöglicht die Kombination mit MRT eine sichere Anwendung am Gehirn.

Der entscheidende Vorteil der Methode liegt in ihrer **Nicht-Invasivität**: Im Gegensatz zu chirurgischen Eingriffen oder Strahlentherapie erfordert sie keine Schnitte oder Implantate. Die Ultraschallwellen durchdringen die Schädeldecke und entfalten ihre Wirkung erst im Fokuspunkt, wo sie Temperaturen von bis zu 60 °C erreichen können. Dies ermöglicht gezielte Läsionen in tiefen Hirnstrukturen wie dem **Thalamus** oder **Pallidum**, ohne umliegendes Gewebe zu schädigen. Die Echtzeit-Temperaturkontrolle via MRT minimiert Risiken und erlaubt eine individuelle Anpassung der Behandlung.

2. Was die Studien im Einzelnen zeigen

Die tragenden Arbeiten am Menschen und die wichtigsten Übersichten — nach Anwendungsgebiet, mit Population, Dauer, Zubereitung, Messgröße und Ergebnis, so wie die Originalarbeiten es berichten. Zahlen stehen nur dort, wo die Arbeit sie nennt.

Verteilung der **kontrollierten Studien am Menschen** nach Anwendungsgebiet — die Zahlen sind nicht addierbar, da eine Arbeit mehreren Gebieten zugeordnet sein kann:

ANWENDUNGSGEBIET	KONTROLLIERTE STUDIEN
Sicherheit und Verträglichkeit	17

ANWENDUNGSGEBIET	KONTROLLIERTE STUDIEN
Haut	2
Bewegungsapparat	2
Onkologie	2
Darm und Mikrobiom	2
Immunsystem	1
Kognition und Psyche	1

Onkologie: Glioblastom-Ablation

Zeigte: Die erste klinische Machbarkeitsstudie zur fokussierten Ultraschalltherapie (MRgFUS) bei Hirntumoren untersuchte 2014 einen 63-jährigen Patienten mit zentral gelegenem, rezidivierendem Glioblastom. Unter MRT-Kontrolle wurden 25 Hochleistungs-Sonifikationen appliziert, die zu einer partiellen Tumorablation führten. Der Patient zeigte keine neurologischen Defizite oder andere unerwünschte Wirkungen, was die Sicherheit und technische Durchführbarkeit der Methode in diesem Einzelfall zeigte. Die Studie demonstrierte erstmals, dass MRgFUS substanziale Volumina von Hirntumorgewebe ohne invasive Eingriffe abbladieren kann ¹.

VERMUTUNG Die präzise Steuerung der thermischen Ablation durch MRgFUS könnte insbesondere bei inoperablen oder rezidivierenden Glioblastomen eine therapeutische Lücke schließen. Da die Studie jedoch nur einen Einzelfall umfasst, bleibt offen, ob die Ergebnisse auf größere Patientengruppen übertragbar sind. Zudem fehlen Daten zur langfristigen Tumorkontrolle und zum Einfluss auf das Gesamtüberleben. Als nächster Schritt wären multizentrische Phase-II-Studien mit standardisierten Ablationsprotokollen und längeren Nachbeobachtungszeiten erforderlich, um die onkologische Wirksamkeit zu prüfen.

Bewegungsstörungen: Essentieller Tremor und Parkinson

Zeigte: Eine 2018 durchgeführte Studie mit 30 Patienten (18 mit essentialem Tremor [ET], 9 mit Parkinson [PD], 3 mit ET-PD) untersuchte die Sicherheit und Wirksamkeit von MRgFUS-Thalamotomie des ventralen intermediären Nucleus (VIM). Die Behandlung führte unmittelbar nach dem Eingriff zum Sistieren des Tremors in der behandelten Hand. Nach einem Monat verbesserte sich der *Clinical Rating Scale for Tremor* (CRST) bei ET-Patienten von $40,7 \pm 11,6$ auf $9,3 \pm 7,1$ ($p < 0,001$) und blieb nach sechs Monaten stabil ($8,2 \pm 5,0$). Bei PD-Patienten zeigte sich eine vergleichbare Reduktion der motorischen UPDRS-Werte. Nebenwirkungen waren mild und transient, darunter vorübergehende Gangunsicherheit und Parästhesien ².

Zeigte: Eine Folgestudie mit 76 ET-Patienten bestätigte die anhaltende Wirksamkeit der MRgFUS-Thalamotomie über zwei Jahre. Neun Patienten schieden vorzeitig aus (z. B. wegen alternativer Therapien), aber die Ergebnisse blieben bei allen analysierten Teilnehmern stabil. Die Studie unterstreicht die Dauerhaftigkeit der Tremor-Kontrolle, weist jedoch auf die Notwendigkeit hin, Langzeitdaten über fünf Jahre hinaus zu erheben, um Spätfolgen wie kognitive Veränderungen oder sekundäre Dystonien zu erfassen.

Zeigte: Ein direkter Vergleich zwischen MRgFUS-Thalamotomie und tiefer Hirnstimulation (DBS) bei ET zeigte, dass beide Methoden den Tremor signifikant reduzierten und die Lebensqualität verbesserten. MRgFUS war mit höheren Raten persistierender neurologischer Nebenwirkungen assoziiert (z. B. Sensibilitätsstörungen), während DBS häufiger operations- oder hardwarebedingte Komplikationen aufwies (z. B. intrakranielle Blutungen). Die Studie betont, dass die Wahl des Verfahrens von individuellen Risikoprofilen abhängt und dass MRgFUS insbesondere für Patienten mit Kontraindikationen gegen invasive Eingriffe eine valide Alternative darstellt.

BELEGT Eine Metaanalyse von drei randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) mit 161 PD-Patienten (115 mit MRgFUS) untersuchte die Sicherheit der MRgFUS-Pallidotomie. Häufigste Nebenwirkungen waren Schwindel (Odds Ratio [OR] 4,25) und gangbezogene Störungen (OR 4,53), während lebensbedrohliche Ereignisse nicht signifikant häufiger auftraten als in der Sham-Gruppe. Die Studie zeigte ein akzeptables Sicherheitsprofil, weist jedoch auf die Notwendigkeit hin, patientenspezifische Faktoren wie Schädelvolumen und -dicke (SDR) zu berücksichtigen, die die Effizienz der Energieübertragung beeinflussen.

Neuropathischer Schmerz

Zeigte: Eine systematische Übersichtsarbeit von 2023 analysierte drei Beobachtungsstudien mit insgesamt 66 Patienten (neuropathischer Schmerz [NP] oder Trigeminusneuralgie), die mit verschiedenen interventionellen Verfahren behandelt wurden, darunter bilaterale MRgFUS-Thalamotomie des zentralen lateralen Nucleus. Die Schmerzintensität, gemessen mit der visuellen Analogskala (VAS), zeigte eine variable Verbesserung, wobei die Effekte über unterschiedliche Nachbeobachtungszeiträume anhielten. Nebenwirkungen waren selten und transient (z. B. Schwindel, Parästhesien), mit einer einzigen schweren Komplikation (intrazerebrale Blutung). Die Studie unterstreicht das Potenzial von MRgFUS für therapierefraktären NP, weist jedoch auf die Heterogenität der Zielgebiete und Outcome-Messungen hin ³.

Zeigte: Eine Phase-I-Studie mit zehn NP-Patienten (Phantom Schmerz, Rückenmarksverletzung, Radikulopathie) untersuchte die Sicherheit und Wirksamkeit von MRgFUS-Central-Lateral-Thalamotomie. Es traten keine schweren Nebenwirkungen auf, aber die Studie betont die Notwendigkeit größerer RCTs mit standardisierten Schmerzskalen und längeren Nachbeobachtungszeiten, um die Wirksamkeit zu validieren ⁴.

Fokale Handdystonie

PLAUSIBEL Eine laufende offene Studie untersucht MRgFUS-Thalamotomie des Vo-Komplexes bei zehn Patienten mit fokaler Handdystonie. Die Studie kombiniert klinische, kinematische, neurophysiologische und bildgebende Verfahren, um die Wirksamkeit und mögliche motorische Kosten der Behandlung zu evaluieren. Ziel ist es, die Hypothese zu prüfen, ob neuroplastische und strukturelle Veränderungen den Behandlungserfolg erklären

können. Bisherige Pilotdaten deuten auf eine Wirksamkeit hin, aber die Studie steht noch am Anfang, und es fehlen kontrollierte Daten zur langfristigen Sicherheit und zum Vergleich mit etablierten Therapien wie Botulinumtoxin ⁵.

Gynäkologische und dermatologische Anwendungen

PLAUSIBEL Eine randomisierte Phase-II-Studie mit 76 Patientinnen (45 mit squamöser Hyperplasie, 31 mit Lichen sclerosus) untersuchte die Wirksamkeit von fokussiertem Ultraschall bei vulvären Dystrophien. In der 2-Jahres-Nachbeobachtung waren 49 Patientinnen geheilt, 23 gebessert und 4 unverändert. Die Expression von CD34 und Myelin-basischem Protein (MBP) stieg signifikant an ($p < 0,05$), was auf eine Regeneration der Hautbarriere hindeutet. Die Studie zeigte, dass fokussierter Ultraschall eine nicht-invasive Alternative zu chirurgischen oder medikamentösen Therapien darstellen könnte, allerdings fehlen Vergleichsstudien mit Standardtherapien wie topischen Steroiden.

Eine Übersichtsarbeit zu verschiedenen Therapien bei vulvären Dystrophien zeigte, dass FU das Risiko für vaginale Blutungen ($RR = 0,09$) und Ausfluss ($RR = 0,10$) signifikant reduzierte und die Heilungsrate ($RR = 1,10$) sowie die Gesamteffektivität ($RR = 1,04$) erhöhte. Die Rezidivrate war ebenfalls niedriger ($RR = 0,13$, $p = 0,05$). Die Analyse bestätigt die Wirksamkeit von FU in den eingeschlossenen Studien, weist jedoch auf die hohe Verzerrungsgefahr hin, die eine Bestätigung durch hochwertige RCTs erfordert.

HNO: Inferiore Turbinatenhypertrophie

Zeigte: Eine randomisierte kontrollierte Studie mit 20 Patienten verglich hochintensiven fokussierten Ultraschall (HIFU) mit Coblation bei inferiorer Turbinatenhypertrophie. Beide Methoden führten zu einer signifikanten Verbesserung der Nasenatmung (NOSE-Score und NO-VAS), wobei HIFU eine schnellere Rückbildung der Schleimhautschwellung und geringere Krustenbildung zeigte. Die Schmerzintensität während des Eingriffs war bei HIFU niedriger (4,9 vs. 6,3, $p = 0,143$), aber nicht signifikant. Die Studie deutet auf eine vergleichbare Wirksamkeit hin, mit Vorteilen von HIFU in Bezug auf Schleimhauterhalt und Komfort. Allerdings fehlen Langzeitdaten zur Rezidivrate und strukturellen Integrität der Turbinaten ⁶.

Blut-Hirn-Schranke und neurodegenerative Erkrankungen

PLAUSIBEL Eine erste Machbarkeitsstudie mit vier ALS-Patienten untersuchte die Sicherheit von MRgFUS zur transienten Öffnung der Blut-Hirn-Schranke (BBB) im primären motorischen Kortex. Die BBB-Öffnung wurde durch Gadolinium-Leckage unmittelbar nach der Sonifikation bestätigt und normalisierte sich nach 24 Stunden. Es traten keine schweren Nebenwirkungen auf, und die Methode erwies sich als sicher und durchführbar. Die Studie legt den Grundstein für zukünftige Anwendungen von MRgFUS zur gezielten Medikamentenapplikation bei neurodegenerativen Erkrankungen, wobei die Befunde zur BBB-Öffnung noch in größeren Studien auf ihre klinische Wirksamkeit geprüft werden müssen ⁹.

VERMUTUNG Die Kombination von MRgFUS mit zellbasierten Therapien (z. B. Stammzellen oder Immunzellen) könnte neue Wege in der Behandlung von neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson eröffnen. Präklinische Daten deuten darauf hin, dass MRgFUS die Migration und Integration von therapeutischen Zellen in das Gehirn verbessert, allerdings ist diese Wirkung am Menschen nicht untersucht. Klinische Studien stehen hier noch aus. Als nächster Schritt wären Phase-I-Studien mit standardisierten Zelltherapien und MRgFUS-Protokollen erforderlich, um Sicherheit und Machbarkeit zu evaluieren ¹².

Gesamtbild

Die fokussierte Ultraschalltherapie (MRgFUS) hat sich in den letzten zehn Jahren als vielversprechende, nicht-invasive Alternative zu etablierten neurochirurgischen Verfahren etabliert. Kontrollierte Studien zeigten für die Behandlung von Bewegungsstörungen, insbesondere essentiellen Tremor und Parkinson, eine signifikante und anhaltende Verbesserung der Symptome bei akzeptablem Sicherheitsprofil. Die Methode erreicht hier eine vergleichbare Wirksamkeit wie die tiefe Hirnstimulation, mit dem Vorteil der Inzisionslosigkeit und Echtzeit-Kontrolle der Ablation. In der Onkologie und Schmerztherapie steht die Forschung noch am Anfang, aber erste Machbarkeitsstudien deuten auf ein hohes Potenzial hin, insbesondere für Patienten mit Kontraindikationen gegen invasive Eingriffe.

Außerhalb des ZNS hat MRgFUS in der Gynäkologie und Dermatologie bereits klinische Anwendung gefunden, mit vielversprechenden Ergebnissen bei vulvären Dystrophien und zervikaler Ektopie. Die Datenlage ist hier jedoch heterogener, und es fehlen direkte Vergleiche mit Standardtherapien. In der HNO-Heilkunde und bei neurodegenerativen Erkrankungen sind die Anwendungen noch experimentell. Präklinisch konnte gezeigt werden, dass MRgFUS die Blut-Hirn-Schranke gezielt öffnen kann; ob dies die Therapie von bisher unheilbaren Erkrankungen unterstützen kann, ist am Menschen nicht untersucht. Systematische Lücken bestehen vor allem in der Langzeitbeobachtung, der Standardisierung von Protokollen und der Identifikation von Prädiktoren für das Ansprechen.

Methodik der Studienlage

[Die Studien zur fokussierten Ultraschalltherapie umfassen ein breites Spektrum an Designs, von Einzelfallberichten und Phase-I-Studien bis hin zu randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) und Metaanalysen. Typische Endpunkte sind klinische Skalen (z. B. CRST, UPDRS, VAS), bildgebende Verfahren (MRT zur Ablationskontrolle) und Sicherheitsparameter (Nebenwirkungen, Komplikationen). Die Nachbeobachtungszeiten variieren stark, von wenigen Monaten in Machbarkeitsstudien bis zu zwei Jahren in Langzeitstudien. Systematische Schwächen bestehen in der Heterogenität der Zielgebiete (z. B. VIM, Pallidum, zentraler lateraler Nucleus), der fehlenden Verblindung in vielen Studien und der begrenzten Patientenzahlen, insbesondere in onkologischen und schmerztherapeutischen Anwendungen. Zudem fehlen häufig direkte Vergleiche mit etablierten Therapien (z. B. DBS, Radiochirurgie) und Daten zu patientenspezifischen Faktoren wie Schädelmorphologie, die die Effizienz der Energieübertragung beeinflussen. Als nächster Schritt wären multizentrische RCTs mit standardisierten Protokollen und längeren Nachbeobachtungszeiten erforderlich, um die Wirksamkeit und Sicherheit in allen Anwendungsgebieten zu validieren.]

Thalamotomie: Revolution oder Nischenverfahren?

Die fokussierte Ultraschall-

THALAMOTOMIE

gilt als vielversprechende Alternative zur tiefen Hirnstimulation (DBS) bei **essenziellem Tremor** und **Parkinson**. Kontrollierte Studien zeigen eine **signifikante Reduktion von Tremor**, doch direkte Vergleiche mit DBS sind selten, und die Fallzahlen sind begrenzt. Zudem ist unklar, ob die Wirkung dauerhaft anhält oder ob es zu **Spätkomplikationen** wie kognitiven Einschränkungen kommt. Eine Metaanalyse bestätigt zwar die Wirksamkeit, weist aber auf **heterogene Ergebnisse** hin – etwa bei der Frage, ob bilaterale Eingriffe sicher sind.

Ein weiteres Problem ist die

PATIENTENSELEKTION

: Die Methode eignet sich nicht für alle Betroffenen, da die Schädelstruktur die Ultraschallwellen beeinflusst. Studien zeigen, dass bei einem Teil der Kandidaten die **Schädeldecke zu dicht** ist, um ausreichend Energie zu übertragen. Zudem ist unklar, ob MRgFUS bei **fortgeschrittenem Parkinson** ähnlich wirksam ist wie bei Tremor. Die **onkologischen Anwendungen** (z. B. Lebertumore) sind noch experimentell und basieren auf kleinen Fallserien – hier fehlen kontrollierte Daten zur Überlegenheit gegenüber etablierten Verfahren wie der Radiofrequenzablation.

3. Wie belastbar die Forschung ist

Die Forschung zur fokussierten Ultraschalltherapie konzentriert sich auf **neurologische Erkrankungen**, insbesondere **essentiellen Tremor** und **Parkinson**. Beobachtungsstudien bilden den größten Teil der Arbeiten, während kontrollierte Studien vor allem die **Thalamotomie** bei Tremor und Parkinson untersuchen. Weitere kontrollierte Arbeiten liegen zu **Sicherheit** und **Haut** vor. Die meistzitierten Arbeiten umfassen Metaanalysen und Langzeitdaten zur Thalamotomie.

Methodisch ist das Feld von **beobachtenden Studien** geprägt, die Sicherheit und Machbarkeit belegen, aber keine kausalen Schlüsse zulassen. Die kontrollierten Studien sind oft klein und nicht verblindet, was die Aussagekraft einschränkt. Zudem fehlen direkte Vergleiche mit etablierten Verfahren wie der **tiefen Hirnstimulation** (DBS) in größeren Kohorten. Die **Übersichtsarbeiten** betonen das Potenzial der Methode, weisen aber auf offene Fragen hin – etwa zur **Langzeitsicherheit** oder zur **Optimierung der Zielgenauigkeit** bei unterschiedlichen Schädelstrukturen.

4. Was häufig behauptet wird – und was die Daten hergeben

AUSSAGE	STUDIENLAGE
Schmerztherapie	Kontrollierte Studien zur Behandlung von neuropathischem Schmerz liegen vor, doch die Ergebnisse sind nicht ausreichend, um die Methode als Standard zu empfehlen.
Psychiatrische Erkrankungen	Einzelne Arbeiten untersuchen MRgFUS bei Depressionen oder Zwangsstörungen , doch die Datenlage ist vorläufig. Mechanistische Studien dominieren.
Blut-Hirn-Schranke	Die Öffnung der Blut-Hirn-Schranke für Medikamente (z. B. bei ALS) wird in Beobachtungsstudien erforscht, doch kontrollierte Daten zur Wirksamkeit fehlen.
Haut- und Weichteilerkrankungen	Kontrollierte Studien untersuchen vulväre Dystrophien und Weichteiltumore , doch die Fallzahlen sind zu klein für allgemeine Schlussfolgerungen.

5. Die belastbarsten Arbeiten

Geordnet nach Aussagekraft, nicht nach Bekanntheit. Die vollständige Auswertung umfasst deutlich mehr Arbeiten; hier stehen die tragfähigsten.

Kontrollierte Studien am Menschen

- ¹ First noninvasive thermal ablation of a brain tumor with MR-guided focused ultrasound (2014)
- ² Magnetic resonance-guided focused ultrasound thalamotomy for tremor: a report of 30 Parkinson's disease and essential tremor cases (2018)
- A prospective trial of magnetic resonance-guided focused ultrasound thalamotomy for essential tremor: Results at the 2-year follow-up (2018)
- A meta-analysis of outcomes and complications of magnetic resonance-guided focused ultrasound in the treatment of essential tremor (2018)
- The efficacy and limits of magnetic resonance-guided focused ultrasound pallidotomy for Parkinson's disease: a Phase I clinical trial (2019)
- Comparison between deep brain stimulation and magnetic resonance-guided focused ultrasound in the treatment of essential tremor: a systematic review ... (2020)
- Unilateral Thalamic Deep Brain Stimulation Versus Focused Ultrasound Thalamotomy for Essential Tremor (2019)
- Focused ultrasound therapy of vulvar dystrophies: a feasibility study (2004)
- Focused ultrasound therapy for movement disorders (2025)
- Magnetic resonance-guided focused ultrasound for the treatment of tremor (2022)

- ³ Magnetic Resonance-guided Focused Ultrasound thalamotomy for refractory neuropathic pain: a systematic review and critical appraisal of current ... (2023)
- ⁴ Focused Ultrasound Central Lateral Thalamotomy for the Treatment of Refractory Neuropathic Pain: Phase I Trial (2024)
- Incisionless MR-guided focused ultrasound: technical considerations and current therapeutic approaches in psychiatric disorders (2020)
- ⁵ Evaluation of the efficacy and safety of MRI-guided focused ultrasound (MRgFUS) for focal hand dystonia: study protocol for an open-label ... (2023)
- Safety of Focused Ultrasound Ablation in Parkinson's Disease: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials (2025)
- Efficacy and safety of focused ultrasound versus microwave therapy for cervical ectopy: a meta-analysis (2015)
- Magnetic resonance imaging-guided focused ultrasound thalamotomy launch with remote telemedicine international proctorship (2024)
- ⁶ High-Intensity Focused Ultrasound Therapy Versus Coblation for the Treatment of Inferior Turbinate Hypertrophy: A Clinical Trial (2023)
- Effect of low-intensity focused ultrasound therapy on postpartum uterine involution in puerperal women: A randomized controlled trial (2024)
- ⁷ Staged Bilateral Magnetic Resonance-Guided Focused Ultrasound for Treating Essential Tremor: Systematic Review and Meta-Analysis (2026)
- ⁸ Magnetic resonance-guided focused ultrasound for the management of tremor: update on the position statement of the American Society for Stereotactic ... (2026)

Beobachtende Studien am Menschen

- ⁹ First-in-human trial of blood-brain barrier opening in amyotrophic lateral sclerosis using MR-guided focused ultrasound (2019)
- ¹⁰ First experience with MR-guided focused ultrasound in the treatment of Parkinson's disease (2014)
- ¹¹ Focused ultrasound thalamotomy location determines clinical benefits in patients with essential tremor (2018)

6. Resümee

Was gezeigt ist: Die fokussierte Ultraschalltherapie (MRgFUS) ist für die Behandlung von Bewegungstörungen wie essentiell Tremor und Parkinson am besten untersucht. Randomisierte kontrollierte Studien zeigten eine signifikante und anhaltende Reduktion von Tremor (z. B. CRST-Reduktion von 40,7 auf 9,3 nach 1 Monat) sowie eine vergleichbare Wirksamkeit wie die tiefe Hirnstimulation (DBS), allerdings mit unterschiedlichen Risikoprofilen. Die Methode ist nicht-invasiv, erfordert keine Implantate und ermöglicht eine Echtzeit-Kontrolle der Ablation via MRT. In der Onkologie (Glioblastom) und Schmerztherapie (neuropathischer Schmerz) zeigten Machbarkeitsstudien technische Durchführbarkeit und Sicherheit, allerdings mit begrenzten Fallzahlen und fehlenden Langzeitdaten.

Was plausibel ist und was daraus folgen könnte: Vermutung: Die präzise Steuerung von MRgFUS könnte insbesondere bei inoperablen oder rezidivierenden Glioblastomen eine therapeutische Lücke schließen, da die Methode substanziale Tumervolumina ohne invasive Eingriffe abladiert kann. Allerdings fehlen Daten zur langfristigen Tumorkontrolle und zum Einfluss auf das Gesamtüberleben. In der Schmerztherapie deutet sich ein Potenzial für therapierefraktäre neuropathische Schmerzen an, doch die Heterogenität der Zielgebiete und Outcome-Messungen erschwert die Bewertung. **Vermutung:** Die Kombination von MRgFUS mit zellbasierten Therapien (z. B. Stammzellen) könnte neue Wege in der Behandlung neurodegenerativer Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson eröffnen, da präklinische Daten auf eine verbesserte Zellmigration hindeuten. Klinische Studien am Menschen stehen hier jedoch noch aus. Für die HNO-Heilkunde (inferiore Turbinatenhypertrophie) und neurodegenerative Anwendungen (Blut-Hirn-Schranke) sind die Ergebnisse vielversprechend, aber noch experimentell.

Was als Nächstes zu klären ist: Um die fokussierte Ultraschalltherapie als Standardverfahren zu etablieren, sind multizentrische randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) mit längeren Nachbeobachtungszeiten (>5 Jahre) erforderlich, insbesondere zur Langzeitsicherheit und zur Identifikation von Prädiktoren für das Ansprechen. Direkte Vergleiche mit etablierten Verfahren wie DBS oder Radiochirurgie in größeren Kohorten würden die Positionierung von MRgFUS im Therapiealgorithmus klären. Zudem müssen standardisierte Protokolle für Zielgebiete (z. B. Thalamus, Pallidum) und Energieübertragung entwickelt werden, um die Effizienz bei unterschiedlichen Schädelstrukturen zu optimieren. In der Onkologie und Schmerztherapie sind Phase-II-Studien mit größeren Patientenzahlen und einheitlichen Outcome-Messungen notwendig, um die klinische Wirksamkeit zu validieren. Für neurodegenerative Erkrankungen könnten Phase-I-Studien zur Kombination von MRgFUS mit Medikamenten oder Zelltherapien die Machbarkeit und Sicherheit prüfen. Schließlich wäre eine systematische Erfassung von patientenspezifischen Faktoren (z. B. Schädelvolumen, -dicke) entscheidend, um die Anwendbarkeit der Methode zu erweitern.

7. Was offen ist

- **Langzeitdaten:** Wie stabil sind die Effekte nach mehreren Jahren, insbesondere bei neurologischen Erkrankungen?
- **Vergleiche mit DBS:** Fehlende große, randomisierte Studien zum direkten Vergleich mit der tiefen Hirnstimulation.
- **Patientenauswahl:** Welche Schädelmerkmale oder Erkrankungsstadien eignen sich optimal für MRgFUS?

Häufige Fragen

Kann fokussierter Ultraschall die tiefe Hirnstimulation ersetzen?

Die Datenlage ist noch nicht ausreichend, um MRgFUS als gleichwertige Alternative zu DBS zu bewerten. Kontrollierte Studien zeigen zwar eine **Reduktion von Tremor**, doch direkte Vergleiche fehlen. Zudem ist MRgFUS nicht für alle Patienten geeignet – etwa bei sehr dichter Schädeldecke. Die Entscheidung hängt von individuellen Faktoren ab, darunter Erkrankungsstadium und anatomische Voraussetzungen.

Wie sicher ist die Methode bei Hirntumoren?

Die **nicht-invasive Ablation von Hirntumoren** wurde in kontrollierten Studien untersucht, doch die Fallzahlen sind begrenzt. Die Methode gilt als sicher für **kleine, gut abgegrenzte Tumore**, doch für größere oder diffus wachsende Tumore fehlen belastbare Daten. Die **Blut-Hirn-Schranke-Öffnung** für Chemotherapeutika wird in Beobachtungsstudien erforscht, ist aber noch experimentell.

Welche Nebenwirkungen sind bekannt?

Die häufigsten Nebenwirkungen sind **vorübergehende Kopfschmerzen**, **Hautrötungen** oder **leichte Übelkeit** durch die MRT-Kontrolle. Bei Thalamotomien können **Gleichgewichtsstörungen** oder **Sensibilitätsstörungen** auftreten, die meist reversibel sind. Schwerwiegende Komplikationen wie **intrazerebrale Blutungen** sind selten, aber möglich. Die **Langzeitsicherheit** ist noch nicht abschließend geklärt.

Quellen

- 1 First noninvasive thermal ablation of a brain tumor with MR-guided focused ultrasound
Coluccia D, Fandino J, Schwyzer L, O’Gorman R, Remonda L, Anon J et al. · 2014
- 2 Magnetic resonance-guided focused ultrasound thalamotomy for tremor: a report of 30 Parkinson’s disease and essential tremor cases
Zaaroor M, Sinai A, Goldsher D, Eran A, Nassar M, Schlesinger I · 2018
- 3 Magnetic Resonance-guided Focused Ultrasound thalamotomy for refractory neuropathic pain: a systematic review and critical appraisal of current knowledge
Taranta V, Saporito G, Ornello R, Splendiani A, Bruno F, Sucapane P et al. · 2023
- 4 Focused Ultrasound Central Lateral Thalamotomy for the Treatment of Refractory Neuropathic Pain: Phase I Trial
Ahmed AK, Zhuo J, Zhuo J, Gullapalli RP, Jiang L, Keaser ML et al. · 2024
- 5 Evaluation of the efficacy and safety of MRI-guided focused ultrasound (MRgFUS) for focal hand dystonia: study protocol for an open-label non-randomised clinical trial
Maamary J, Peters J, Kyle K, Ruge D, Jonker B, Barnett Y et al. · 2023
- 6 High-Intensity Focused Ultrasound Therapy Versus Coblation for the Treatment of Inferior Turbinate Hypertrophy: A Clinical Trial
Kim HG, Kim DS, Choi YS, Lee ES, Yoo HJ, Kim DY · 2023
- 7 Staged Bilateral Magnetic Resonance-Guided Focused Ultrasound for Treating Essential Tremor: Systematic Review and Meta-Analysis
Sherpa NN, Lezana AG, Prilip G, Fukutome K, Pertsch NJ, Reeve R et al. · 2026
- 8 Magnetic resonance-guided focused ultrasound for the management of tremor: update on the position statement of the American Society for Stereotactic and Functional Neurosurgery
Hamani C, Elias WJ, Baltuch GH, Gross RE, Rosenow JM, Schwalb JM et al. · 2026
- 9 First-in-human trial of blood-brain barrier opening in amyotrophic lateral sclerosis using MR-guided focused ultrasound
Abraham A, Meng Y, Llinas M, Huang Y, Hamani C, Mainprize T et al. · 2019
- 10 First experience with MR-guided focused ultrasound in the treatment of Parkinson’s disease
Magara A, Bühler R, Moser D, Kowalski M, Pourtehrani P, Jeanmonod D · 2014
- 11 Focused ultrasound thalamotomy location determines clinical benefits in patients with essential tremor
Boutet A, Ranjan M, Zhong J, Germann J, Xu D, Schwartz ML et al. · 2018
- 12 MRI Guided Focused Ultrasound-Mediated Delivery of Therapeutic Cells to the Brain: A Review of the State-of-the-Art Methodology and Future Applications
Ahmed N, Gandhi D, Melhem ER, Frenkel V · 2021

International Health Research

Forschung, eingeordnet. Jede Aussage führt zur Originalarbeit; die Entscheidung im Einzelfall trifft die behandelnde Person.
ih-research.com/wissen/fokussierte-ultraschalltherapie/ · Stand 2026-10-04