



DOSSIER · THERAPIE

Transkranielle Pulsstimulation (TPS)

Transkranielle Pulsstimulation (TPS) ist ein nicht-invasives neuromodulatorisches Verfahren, das fokussierten Ultraschall nutzt, um gezielt Hirnareale zu stimulieren. Die Forschung konzentriert sich auf kognitive Funktionen und neuropsychiatrische Erkrankungen, doch die Studienlage ist heterogen: Während kontrollierte Studien Sicherheit und Machbarkeit belegen, bleibt die klinische Wirksamkeit in vielen Anwendungsgebieten noch unzureichend geprüft.

171

STUDIEN
INSGESAMT

99

AM MENSCHEN

30

DAVON
KONTROLLIERT

2

AN TIEREN

5

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

Transkranielle Pulsstimulation (TPS) auf einen Blick

HERKUNFT:

Transkranielle Pulsstimulation (TPS) ist ein nicht-invasives neuromodulatorisches Verfahren, das fokussierten Ultraschall niedriger Intensität nutzt, um gezielt neuronale Netzwerke im Gehirn zu beeinflussen. Entwickelt als Weiterentwicklung elektromagnetischer Stimulationsmethoden wie TMS und tDCS, stammt die Technik aus der Ultraschallforschung und wurde zunächst in der Diagnostik erprobt, bevor ihr Potenzial zur neuronalen Modulation entdeckt wurde. Die Stimulation erfolgt über einen Handapplikator, der kurze Ultraschallpulse mit hoher räumlicher Präzision aussendet.

STUDIENLAGE:

171 ausgewertete Arbeiten · 30 kontrollierte Studien am Menschen · 69 Beobachtungsstudien · 22 Übersichtsarbeiten · 2 Tierversuche · 5 Zellkulturarbeiten

STÄRKSTE BELEGE:

- **Motorische Effekte und Neuroplastizität** Kontrollierte Studien zeigten, dass TPS die motorische Erregbarkeit (MEP-Amplituden) bei gesunden Probanden für bis zu 30 Minuten steigert. Niedrige Pulswiederholungsfrequenzen (10 Hz) führten zu inhibitorischen Effekten, während höhere Frequenzen keine signifikanten Veränderungen bewirkten.
- **Kognition und Psyche:** (Depression) Eine randomisierte, einfach verblindete Studie mit 30 Erwachsenen mit Major Depression zeigte eine signifikante Reduktion der depressiven Symptomatik (HDRS-17) nach sechs TPS-Sitzungen, mit anhaltendem Effekt über drei Monate.
- **Kognition und Psyche:** (Alzheimer-Demenz) Eine randomisierte, doppelblinde Crossover-Studie mit 60 Alzheimer-Patienten ergab Verbesserungen im CERAD-korrigierten Gesamtscore (CTS) nach TPS, mit Effekten bis zu drei Monate.
- **Sicherheit und Verträglichkeit:** Eine systematische Übersichtsarbeit mit 677 Teilnehmern bestätigte das günstige Sicherheitsprofil von TUS/TPS. Leichte Nebenwirkungen traten bei 3,4 % der Teilnehmer auf, schwere Nebenwirkungen wurden nicht berichtet.
- **Parkinson-Symptomatik** Eine Pilotstudie mit 14 Parkinson-Patienten lieferte Hinweise auf Verbesserungen in der Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) und kognitiver Leistung (SCOPA-COG) nach zwölf TPS-Sitzungen, allerdings ohne Kontrollgruppe.

GRENZEN:

- Die Heterogenität der Stimulationsparameter (Frequenz, Pulsmuster, Intensität) erschwert direkte Vergleiche zwischen Studien und schränkt die Generalisierbarkeit ein.
- Viele Pilotstudien sind mit kleinen Stichproben, fehlenden Langzeitdaten oder aktiven Kontrollgruppen durchgeführt, was die klinische Relevanz der Ergebnisse einschränkt.
- Die Sham-Kontrolle ist methodisch herausfordernd, da TPS keine spürbaren Empfindungen auslöst, was die Verblindung in kontrollierten Studien beeinträchtigen kann.

EINORDNUNG:

Transkranielle Pulsstimulation (TPS) ist ein vielversprechendes, nicht-invasives neuromodulatorisches Verfahren mit nachgewiesener Sicherheit und vorläufigen Wirksamkeitshinweisen bei kognitiven und neuropsychiatrischen Erkrankungen, dessen klinische Evidenz jedoch noch am Anfang steht und systematischer Prüfung bedarf.

1. Was Transkranielle Pulsstimulation ist

Transkranielle Pulsstimulation (TPS) ist ein **nicht-invasives neuromodulatorisches Verfahren**, das **fokussierten Ultraschall** mit niedriger Intensität einsetzt, um gezielt neuronale Netzwerke im Gehirn zu beeinflussen. Entwickelt als Weiterentwicklung der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) und transkraniellen Gleichstromstimulation (tDCS), nutzt TPS mechanische Wellen, die durch den Schädel hindurch auf spezifische Hirnareale gerichtet werden. Die Methode stammt aus der **Ultraschallforschung** und wurde zunächst in der Diagnostik (z. B. Doppler-Sonographie) erprobt, bevor ihre potenzielle Anwendung zur **neuronalen Modulation** entdeckt wurde. Die Stimulation erfolgt über einen **Handapplikator**, der auf die Kopfhaut aufgesetzt wird und kurze Ultraschallpulse aussendet. Die Technik ermöglicht eine **hohe räumliche Präzision** (im Millimeterbereich) und kann tiefer liegende Hirnstrukturen erreichen als elektromagnetische Verfahren.

Entscheidend für das Verständnis der Studienlage ist die **Variabilität der Stimulationsparameter**. TPS kann in unterschiedlichen **Frequenzbereichen**, **Pulsmustern** (z. B. kontinuierlich vs. burst) und **Intensitäten** angewendet werden, was direkte Vergleiche zwischen Studien erschwert. Zudem hängt die Wirkung von der **Zielregion** ab: Während einige Arbeiten den **motorischen Kortex** adressieren, untersuchen andere den **präfrontalen Kortex** oder **temporale Areale**. Die **Dosimetrie** – also die genaue Bestimmung der im Gehirn ankommenden Energie – ist technisch anspruchsvoll und wird in vielen Studien nicht standardisiert erfasst. Ein weiterer zentraler Punkt ist die **Sham-Kontrolle**: Da TPS keine spürbaren Empfindungen auslöst, ist die Verblindung in kontrollierten Studien methodisch herausfordernd. Die **International Transcranial Ultrasonic Stimulation Safety and Standards (ITRUSST)**-Initiative hat hierzu Konsensuspapiere vorgelegt, um die **Reproduzierbarkeit** und **Sicherheitsstandards** zu verbessern.

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
Kognition und Psyche	20
Sicherheit und Verträglichkeit	20
Erschöpfung und Stress	3
Herz und Kreislauf	1
Bewegungsapparat	1
Haut	1

Motorische Effekte und Neuroplastizität

In einer randomisierten, doppelblinden Crossover-Studie mit 14 gesunden Probanden wurde der Einfluss von Theta-Burst-Transkranieller Ultraschallstimulation (tbTUS) auf die motorische Kortexpplastizität untersucht. Die Teilnehmer erhielten an fünf Terminen jeweils eines von vier Pharmaka (Carbamazepin, Nimodipin, Lorazepam, Dextromethorphan) oder Placebo, gefolgt von 80 Sekunden tbTUS. Die Plastizitätseffekte wurden über motorisch evozierte Potentiale (MEP) gemessen. Alle Wirkstoffe reduzierten die durch tbTUS induzierte Erhöhung der MEP-Amplituden, was auf eine Beteiligung von Natrium-, Calciumkanälen, GABA-A-Rezeptoren und NMDA-Rezeptoren an den Mechanismen der tbTUS hinweist. Die Studie liefert einen Hinweis, dass tbTUS die motorische Erregbarkeit für bis zu 30 Minuten steigern kann, jedoch bleibt die klinische Relevanz dieser Effekte aufgrund der kleinen Stichprobe und der fehlenden Langzeitbeobachtung offen ¹.

Eine doppelblinde, sham-kontrollierte Studie mit 21 neurologisch gesunden Teilnehmern untersuchte die Auswirkungen unterschiedlicher Puls wiederholungsfrequenzen (PRF: 10, 100, 1000 Hz) von TUS auf die kortikospinale Erregbarkeit. Die Stimulation erfolgte mit einem konstanten Duty Cycle von 10 % und wurde an separaten Tagen appliziert. Eine PRF von 10 Hz führte zu einer signifikanten Reduktion der MEP-Amplituden ($p = 0,007$), die mindestens 30 Minuten anhielt. Höhere PRFs (100 Hz, 1000 Hz) zeigten keine signifikanten Effekte. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass niedrige PRFs inhibitorische Effekte auf die motorische Erregbarkeit haben können, während die zugrundeliegenden Mechanismen und die Übertragbarkeit auf klinische Populationen noch nicht geprüft sind ².

In einer randomisierten, doppelblinden Crossover-Studie mit 20 gesunden Teilnehmern wurde der Effekt von niedrigintensiver TUS auf die Handmotorik und kortikale Erregbarkeit untersucht. Die Teilnehmer erhielten an separaten Tagen TUS oder Sham-Stimulation. Nach der Stimulation zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Finger-Tapping-Scores (TPS: $90,4 \pm 11,0$ vs. Sham: $86,1 \pm 8,4$; $p = 0,002$) sowie eine Verkürzung der MEP-Latenz (TPS: $21,85 \pm 1,33$ ms vs. Sham: $22,42 \pm 1,43$ ms; $p < 0,001$) und eine Erhöhung der MEP-Amplitude (TPS: $132,18 \pm 23,28$ μ V vs. Sham: $114,74 \pm 25,5$ μ V; $p = 0,005$). Die Studie liefert Hinweise auf akute motorische und neurophysiologische Effekte von TUS, jedoch fehlen Daten zur Dauerhaftigkeit dieser Effekte und zur Anwendung bei motorischen Störungen ⁸.

In einer randomisierten, sham-kontrollierten Crossover-Studie mit vier männlichen Parkinson-Patienten wurde die Wirkung von pallidaler TUS (130 Hz) auf pathologische Beta-Oszillationen im Nucleus subthalamicus (STN) untersucht. Die Beta-Band-Leistung reduzierte sich ipsilateral um 10,34 % (95 % CI: 3,81–16,87 %; $p < 0,05$), und die Reaktionszeit als Maß für Bradykinesie verbesserte sich um 17,70 % (95 % CI: 8,95–26,41 %; $p < 0,05$). Die Studie liefert einen Hinweis darauf, dass TUS pathologische Oszillationen modulieren kann, jedoch sind die Ergebnisse aufgrund der sehr kleinen Stichprobe und des Fehlens einer Langzeitbeobachtung als vorläufig zu betrachten ¹¹.

VERMUTUNG Die vorliegenden Studien deuten darauf hin, dass TUS sowohl exzitatorische als auch inhibitorische Effekte auf die motorische Kortexpplastizität ausüben kann, abhängig von Stimulationsparametern wie PRF und Duty Cycle. Die beobachteten Veränderungen der MEP-Amplituden und -Latenzen könnten auf eine Modulation kortikaler Erregbarkeit hinweisen, die für die Rehabilitation motorischer Störungen relevant sein könnte. Allerdings fehlen systematische Untersuchungen zur optimalen Stimulationsdosis und -dauer für klinische Anwendungen.

Was fehlt: Systematische Studien zur Langzeitwirkung von TUS auf motorische Funktionen bei neurologischen Erkrankungen wie Parkinson oder Schlaganfall sowie zur Übertragbarkeit der Ergebnisse aus gesunden Populationen auf Patienten.

Kognition und Psyche

In einer randomisierten, einfach verblindeten Studie mit 30 Erwachsenen mit Major Depression (MDD) wurde die Wirkung von Transkranieller Pulsstimulation (TPS) untersucht. Die Teilnehmer erhielten über zwei Wochen sechs 30-minütige TPS-Sitzungen oder wurden einer Wartelisten-Kontrollgruppe zugeteilt. Die depressive Symptomatik, gemessen mit der Hamilton-Depressionsskala (HDRS-17), reduzierte sich in der TPS-Gruppe signifikant (Gruppen-Zeit-Interaktion: $F(1, 28) = 18,8$; $p < 0,001$; mittlere Differenz: -6,60; $p = 0,02$; Cohen's d = -0,93). Der Effekt war auch nach drei Monaten noch nachweisbar. Die Studie liefert einen Hinweis auf eine Wirkung von TPS auf depressive Symptome, jedoch fehlen Vergleiche mit etablierten Therapien und Daten zur Langzeitwirkung ³.

Eine randomisierte, doppelblinde, sham-kontrollierte Studie mit Patienten mit Major Depression untersuchte die Wirkung von niedrigintensiver transkranieller fokussierter Ultraschallstimulation (tFUS) auf die linke dorsolaterale Präfrontalkortex (DLPFC). Die Teilnehmer erhielten sechs tFUS-Sitzungen über zwei Wochen. Die Montgomery-Åsberg-Depressionsskala (MADRS) zeigte eine signifikante Verbesserung in der Verum-Gruppe, und die funktionelle Konnektivität (rsfMRI) zwischen dem subgenualen anterioren Cingulum (sgACC) und anderen Hirnregionen nahm zu. Die Studie liefert einen Hinweis auf die Sicherheit und mögliche Wirksamkeit von tFUS, jedoch sind die Ergebnisse aufgrund der kleinen Stichprobe und des Fehlens einer aktiven Kontrollgruppe als vorläufig zu betrachten ⁴.

In einer randomisierten, doppelblinden, sham-kontrollierten Crossover-Studie mit 60 Alzheimer-Patienten (AD) wurde die Wirkung von TPS auf kognitive Funktionen untersucht. Die Teilnehmer erhielten sechs Verum- und sechs Sham-Sitzungen (6000 Pulse, 0,20 mJ/mm², 5 Hz) über frontoparietale Hirnareale. Der primäre Endpunkt, der CERAD-korrigierte Gesamtscore (CTS), verbesserte sich in der Verum-Gruppe signifikant ($p < 0,05$), wobei der Effekt bis zu drei

Monate anhielt. Die Studie zeigt, dass TPS die kognitive Leistung bei AD verbessern kann, jedoch fehlen Daten zur Wirkung auf andere Demenzformen und zur Langzeitwirkung ⁵.

Eine offene Studie mit 19 älteren Erwachsenen mit leichter neurokognitiver Störung (NCD) untersuchte die Wirkung von TPS auf kognitive Funktionen. Die Teilnehmer erhielten über zwei Wochen drei TPS-Sitzungen pro Woche. Es zeigten sich signifikante Verbesserungen in der Hong Kong-Montreal Cognitive Assessment (HK-MoCA; $F(3, 54) = 4,99$; $p = 0,004$), im verbalen Fluency-Test ($F(3, 54) = 2,94$; $p = 0,041$) und im Stroop-Interferenztest ($F(3, 54) = 3,46$; $p = 0,023$). Die Studie deutet auf eine Verbesserung exekutiver Funktionen hin, jedoch fehlen eine Kontrollgruppe und Daten zur Nachhaltigkeit der Effekte ⁶.

In einer offenen Pilotstudie mit 14 Parkinson-Patienten (PD) wurde die Wirkung von TPS auf motorische und nicht-motorische Symptome untersucht. Die Teilnehmer erhielten über vier Wochen zwölf TPS-Sitzungen. Die Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) verbesserte sich um 9,43 Punkte ($p < 0,001$; Cohen's $d = -0,566$), und die kognitive Leistung (SCOPA-COG) stieg um 7,28 Punkte ($p < 0,001$; $d = 1,161$). Die Studie zeigt vielversprechende Effekte auf motorische und kognitive Symptome, jedoch fehlen eine Kontrollgruppe und Daten zur Langzeitwirkung ¹².

VERMUTUNG Die vorliegenden Studien legen nahe, dass TPS bei neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson kognitive und affektive Symptome verbessern kann. Die beobachteten Effekte auf funktionelle Konnektivität und Neuroplastizität könnten auf eine Modulation neuronaler Netzwerke hinweisen. Allerdings sind die Mechanismen dieser Effekte noch nicht vollständig verstanden, und die Übertragbarkeit auf andere psychiatrische oder neurologische Erkrankungen steht noch aus.

Was fehlt: Kontrollierte Studien mit größeren Stichproben, aktiven Kontrollbedingungen und Langzeit-Follow-ups zur Bewertung der Nachhaltigkeit der Effekte sowie systematische Untersuchungen zur optimalen Stimulationsdosis und -lokalisation für verschiedene kognitive und affektive Störungen.

Sicherheit und Verträglichkeit

In einer randomisierten, doppelblinden, sham-kontrollierten Pilotstudie mit 30 Jugendlichen (12–17 Jahre) mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) wurde die Sicherheit und Wirksamkeit von TPS untersucht. Die SNAP-IV-Skala zeigte eine 30%ige Reduktion der Symptome in der TPS-Gruppe, die bis zu drei Monate anhielt. Es wurden keine schwerwiegenden Nebenwirkungen berichtet. Die Studie zeigte die Sicherheit und vorläufige Wirksamkeit von TPS bei ADHS, jedoch fehlen Daten zur Langzeitwirkung und Vergleich mit etablierten Therapien ⁷.

Eine systematische Übersichtsarbeit zur Sicherheit von TUS bei 677 Teilnehmern aus 35 Studien (gesunde Probanden, Patienten mit chronischen Schmerzen, Demenz, Epilepsie, Depression) zeigte, dass keine schweren Nebenwirkungen auftraten. Leichte Symptome wie Kopfschmerzen, Stimmungsverschlechterung oder lokale Hautreizungen wurden bei 3,4 % der Teilnehmer berichtet. Die Übersichtsarbeit umfasst viele Stimulationsverfahren, darunter auch TPS, und liefert daher keine spezifischen Daten zu Langzeitriskis oder Nebenwirkungen von TPS selbst ¹⁶.

Ein Konsensuspapier der International Transcranial Ultrasonic Stimulation Safety and Standards Consortium (ITRUSST) definiert Sicherheitsgrenzen für mechanische und thermische Effekte von TUS. Für mechanische Effekte gilt ein mechanischer Index (MI) oder transkranieller MI (MI_{tc}) von $\leq 1,9$ als unbedenklich. Für thermische Effekte werden drei Kriterien genannt: ein Temperaturanstieg von ≤ 2 °C, eine absolute Temperatur von ≤ 39 °C oder eine thermische Dosis von ≤ 2 CEM43 in Hirngewebe. Die Empfehlungen basieren auf Expertenkonsens und dienen als Orientierung, ersetzen jedoch keine regulatorischen Vorgaben ¹⁷.

VERMUTUNG Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass TPS ein günstiges Sicherheitsprofil aufweisen könnte, insbesondere im Vergleich zu invasiven oder hochintensiven Stimulationsverfahren. Die berichteten leichten Nebenwirkungen sind meist transient und lokal begrenzt. Dennoch stehen systematische Langzeitstudien zur Bewertung seltener oder verzögert auftretender Risiken, insbesondere bei wiederholter Anwendung oder in vulnerablen Populationen, noch aus.

Was fehlt: Systematische Langzeitstudien zur Sicherheit von TUS bei wiederholter Anwendung, insbesondere in klinischen Populationen mit komorbiden Erkrankungen, sowie standardisierte Protokolle zur Erfassung und Meldung von Nebenwirkungen.

Gesamtbild

Die vorliegenden Studien zeigen, dass Transkranielle Pulsstimulation (TPS) ein vielversprechendes nicht-invasives Verfahren zur Modulation neuronaler Funktionen darstellt. In den Bereichen Motorik, Kognition und Psyche wurden Effekte auf kortikale Erregbarkeit, motorische Funktionen, depressive Symptome und kognitive Leistungen beobachtet. Die Studien liefern Hinweise auf akute und teilweise nachhaltige Verbesserungen, insbesondere bei neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson sowie bei depressiven Störungen. Die Mechanismen dieser Effekte sind jedoch noch nicht vollständig aufgeklärt und scheinen von Stimulationsparametern wie Puls wiederholungs-frequenz, Intensität und Zielareal abzuhängen.

Die Evidenz zur Sicherheit und Verträglichkeit von TPS ist vielversprechend, wobei systematische Untersuchungen zur Langzeitwirkung, insbesondere bei wiederholter Anwendung oder in vulnerablen Populationen, noch ausstehen. Die vorhandenen kontrollierten Studien berichten keine oder nur leichte, transiente Nebenwirkungen. Dennoch fehlen häufig aktive Kontrollbedingungen, größere Stichproben und standardisierte Protokolle, um die klinische Relevanz und Übertragbarkeit der Ergebnisse zu bewerten.

Methodik der Studienlage

Die Studien zu TPS umfassen ein breites Spektrum an Designs, darunter randomisierte, doppelblinde, sham-kontrollierte Studien, offene Pilotstudien und systematische Übersichtsarbeiten. Typische Studien dauern zwischen zwei und vier Wochen, mit Stimulationssitzungen von 30 bis 60 Minuten und Follow-up-Zeiträumen von bis zu drei Monaten. Primäre Endpunkte sind häufig neurophysiologische Maße wie motorisch evozierte Potentiale (MEP), funktionelle Bildgebung (fMRI, MEG) oder klinische Skalen (z. B. UPDRS, MADRS, CERAD). Systematisch fehlen jedoch Langzeitstudien mit Follow-ups über mehrere Monate oder Jahre, aktive Kontrollbedingungen (z. B. Vergleich mit etablierten Therapien) und standardisierte Stimulationsprotokolle. Zudem sind die Stichproben oft klein und heterogen, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt.

TPS: Ein Verfahren mit vielversprechenden Ansätzen, aber begrenzter klinischer Evidenz

TRANSKRANIELLE PULSSTIMULATION (TPS)

wird in der Fachliteratur oft als „**neuartiges, nicht-invasives Verfahren mit hohem Potenzial**“ beschrieben. Tatsächlich zeigen **kontrollierte Studien** erste Hinweise auf **Machbarkeit und Sicherheit**, insbesondere bei **kognitiven Störungen** und **neuropsychiatrischen Erkrankungen**. Allerdings ist die **Datenlage zur klinischen Wirksamkeit** noch **begrenzt**. Die Mehrzahl der kontrollierten Studien sind **Pilotstudien** mit kleinen Stichproben, die zwar **signifikante Effekte** berichten, aber keine **abschließende Bewertung** zulassen. Zudem fehlen **Langzeitstudien**, die **nachhaltige Effekte** oder **Risiken** untersuchen. Ein weiteres Problem ist die **mangelnde Standardisierung**: Unterschiedliche **Stimulationsparameter**, **Zielregionen** und **Outcome-Maße** erschweren die **Vergleichbarkeit** der Ergebnisse. Die ITRUSST-Initiative hat hier zwar **Leitlinien** vorgelegt, doch diese sind noch nicht flächendeckend umgesetzt.

EIN ZENTRALER KRITIKPUNKT

betrifft die **Übertragbarkeit von Laborbefunden auf die klinische Praxis**. Viele Grundlagenstudien zeigen **neuronale Plastizitätseffekte** oder **Veränderungen in Hirnaktivitätsmustern**, doch diese **korrelieren nicht zwangsläufig mit klinischen Verbesserungen**. Beispielsweise belegen einige Studien **Veränderungen in der Theta-Wellen-Aktivität** oder **motorischen Erregbarkeit**, ohne dass daraus **therapeutische Konsequenzen** abgeleitet werden können. Zudem ist die **Sham-Kontrolle** in TPS-Studien **methodisch anspruchsvoll**, da die **Stimulation keine spürbaren Empfindungen** auslöst. Dies erhöht das Risiko von **Placebo-Effekten** oder **Erwartungshaltungen**, die die Ergebnisse verfälschen können. Die **Forschung steht hier noch am Anfang**, und es bedarf **größerer, multizentrischer Studien**, um die **klinische Relevanz** der Befunde zu prüfen.

3. Wie belastbar die Forschung ist

Die ausgewerteten Arbeiten zur TPS verteilen sich auf Studien am Menschen, wobei der Schwerpunkt auf **beobachtenden Untersuchungen** liegt. Unter den **kontrollierten Studien** adressieren viele **kognitive Funktionen** und **Sicherheitsaspekte**, gefolgt von Anwendungen bei **Erschöpfungssymptomen**, **neurologischen Erkrankungen** und **psychiatrischen Störungen**. Die **kontrollierten Studien** untersuchen vor allem **Depression**, **Alzheimer-Demenz** und **Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS)**, wobei die **Pilotstudien** oft kleine Stichproben aufweisen. **Übersichtsarbeiten** und **Mechanismusstudien** sind unter den zitierten Publikationen vertreten, was auf ein **Interesse an grundlagenwissenschaftlichen Fragen** hindeutet. Auffällig ist, dass **ältere Arbeiten** oft **beobachtende Designs** nutzen, während **kontrollierte Studien** erst in den letzten Jahren häufiger werden.

Die **methodische Qualität** der TPS-Forschung variiert. Während **einige kontrollierte Studien** mit **randomisiertem, doppelblindem Design** (z. B. zu Depression oder Alzheimer) eine **interne Validität** zeigen, fehlen oft **Langzeitdaten** und **Replikationsstudien**. Viele Arbeiten sind **Pilotstudien** mit kleinen Fallzahlen, was die **Generalisierbarkeit** einschränkt. Die **Sicherheitsdaten** zeigen in den untersuchten Parametern **keine schwerwiegenden Nebenwirkungen**, allerdings sind **Langzeitfolgen** noch nicht ausreichend untersucht. Ein **zentrales Problem** ist die **Heterogenität der Stimulationsprotokolle**, die direkte Vergleiche zwischen Studien erschwert. Die **ITRUSST-Konsensuspapiere** zur **standardisierten Berichterstattung** und **biophysikalischen Sicherheit** sind ein wichtiger Schritt, um die **Reproduzierbarkeit** zu erhöhen. Die **klinische Evidenz** in vielen Anwendungsgebieten bleibt vorläufig und steht für weitere Klärung offen.

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

AUSSAGE	STUDIENLAGE
Kontrollierte Studien zeigen Hinweise auf kurzfristige Effekte bei Alzheimer-Demenz, doch Langzeitdaten und Replikationen fehlen. Die Evidenz ist vorläufig .	Kontrollierte Studien zeigen Hinweise auf kurzfristige Effekte , doch Langzeitdaten und Replikationen fehlen. Die Evidenz ist vorläufig .
Sicherheitsdaten aus kontrollierten Studien sind robust für Kurzzeitanwendungen , doch Langzeitfolgen sind nicht ausreichend untersucht .	Sicherheitsdaten aus kontrollierten Studien sind robust für Kurzzeitanwendungen , doch Langzeitfolgen sind nicht ausreichend untersucht .
Pilotstudien berichten signifikante Effekte bei Depression, doch direkte Vergleiche mit etablierten Verfahren fehlen. Die Datenlage ist nicht belastbar genug .	Pilotstudien berichten signifikante Effekte bei Depression, doch direkte Vergleiche mit etablierten Verfahren fehlen. Die Datenlage ist nicht belastbar .

AUSSAGE	STUDIENLAGE
Eine kontrollierte Pilotstudie zeigt kurzfristige Effekte bei ADHS, doch Langzeitdaten und größere Stichproben sind notwendig .	Eine kontrollierte Pilotstudie zeigt kurzfristige Effekte bei ADHS, doch Langzeitdaten und größere Stichproben sind notwendig .

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 Mechanisms of theta burst transcranial ultrasound induced plasticity in the human motor cortex (2023)
- ² The effect of transcranial ultrasound pulse repetition frequency on sustained inhibition in the human primary motor cortex: A double-blind, sham-contr (2024)
- ³ Effects of Transcranial Pulse Stimulation (TPS) on Adults with Symptoms of Depression-A Pilot Randomized Controlled Trial (2023)
- ⁴ Effect of Low-Intensity Transcranial Focused Ultrasound Stimulation in Patients With Major Depressive Disorder: A Randomized, Double-Blind, Sham-Contr (2024)
- Current state of clinical ultrasound neuromodulation (2024)
- ⁵ Ultrasound Neuromodulation With Transcranial Pulse Stimulation in Alzheimer Disease: A Randomized Clinical Trial (2025)
- Inhibition of midfrontal theta with transcranial ultrasound explains greater approach versus withdrawal behavior in humans (2023)
- ⁶ Transcranial pulse stimulation in the treatment of mild neurocognitive disorders (2023)
- Transcranial pulse stimulation in Alzheimer's disease (2024)
- ⁷ Efficacy and safety of transcranial pulse stimulation in young adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: a pilot, randomized, double- (2024)
- A retrospective analysis of ultrasound neuromodulation therapy using transcranial pulse stimulation in 58 dementia patients (2025)
- ⁸ Low-intensity transcranial ultrasound stimulation facilitates hand motor function and cortical excitability: A crossover, randomized, double blind stu (2022)
- Evaluating the efficacy and safety of transcranial pulse stimulation on adolescents with attention deficit hyperactivity disorder: Study protocol of a (2023)
- Transcranial ultrasound stimulation parameters for neurological diseases: a systematic review (2025)
- Focused low-intensity hippocampal transcranial ultrasound stimulation (TUS) for sleep disturbances in patients with chronic tinnitus: A study protocol (2025)
- ⁹ Neuromodulatory Effects of Transcranial Pulse Stimulation (TPS) in Neurological and Psychiatric Disorders-A Systematic Review and Meta-Analysis (2025)
- ¹⁰ Effect of Transcranial Pulse Stimulation for the Treatment of Alzheimer's Disease and its Related Symptoms (2023)
- ¹¹ Suppression of pathological oscillations with transcranial focused ultrasound in Parkinson's disease (2026)
- ¹² Neuromodulation in Parkinson's disease with transcranial pulse stimulation: evidence of clinical efficacy and cortical oscillatory changes (2025)
- Commentary: Treating Diseases from Alzheimer's to Parkinson's Using Transcranial Pulse Stimulation: Mechanistic Insights, Recent Evidence, and Ethical (2025)
- A review of transcranial pulse stimulation: innovations in neuromodulation (2025)
- ¹³ Prefrontal Transcranial Pulse Stimulation for Major Depressive Disorder: A Randomized Clinical Trial (2026)
- ¹⁴ Focused and unfocused transcranial ultrasound stimulation in Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial (2026)
- ¹⁵ Transcranial Pulse Stimulation for Alzheimer's Patients (2025)

6. Resümee

Die vorliegenden Studien zeigen die Sicherheit und Machbarkeit der Transkraniellen Pulsstimulation (TPS) als nicht-invasives neuromodulatorisches Verfahren. Kontrollierte Studien lieferten Hinweise auf akute Effekte auf motorische Erregbarkeit, kognitive Funktionen und depressive Symptome, insbesondere bei Alzheimer-Demenz und Major Depression. Die räumliche Präzision und die Fähigkeit, tiefer liegende Hirnstrukturen zu erreichen, heben TPS von elektromagnetischen Verfahren ab. Sicherheitsdaten bestätigen ein günstiges Nebenwirkungsprofil, wobei leichte, transiente Symptome wie Kopfschmerzen oder lokale Hautreizungen berichtet werden. Die methodische Qualität der Studien variiert jedoch stark, und viele Arbeiten sind Pilotstudien mit kleinen Fallzahlen, was die interne Validität einschränkt.

VERMUTUNG

Die beobachteten Effekte von TPS auf motorische und kognitive Funktionen könnten auf eine Modulation neuronaler Netzwerke und Neuroplastizität hinweisen. Die Abhängigkeit der Wirkung von Stimulationsparametern wie Pulswiederholungsfrequenz und Duty Cycle legt nahe, dass TPS sowohl exzitatorische als auch inhibitorische Effekte ausüben kann. Dies könnte für die Rehabilitation motorischer Störungen oder die Behandlung neuropsychiatrischer Erkrankungen relevant sein. Die Verbesserungen der funktionellen Konnektivität bei Depression und Alzheimer deuten darauf hin, dass TPS gezielt Netzwerke beeinflussen kann, die für affektive und kognitive Prozesse entscheidend sind. Allerdings sind die zugrundeliegenden Mechanismen noch nicht vollständig verstanden, und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Erkrankungen oder Populationen steht noch aus. Sollten sich die vorläufigen Befunde in größeren Studien bestätigen, könnte TPS eine vielversprechende Ergänzung zu bestehenden Therapieverfahren darstellen, insbesondere bei Erkrankungen mit begrenzten Behandlungsoptionen.

Um die klinische Evidenz zu stärken, sind systematische Studien mit größeren Stichproben, aktiven Kontrollbedingungen und Langzeit-Follow-ups erforderlich. Insbesondere fehlen Untersuchungen zur Nachhaltigkeit der Effekte, zur optimalen Stimulationsdosis und -lokalisation für verschiedene Anwendungsgebiete sowie zur Übertragbarkeit der Ergebnisse aus gesunden Populationen auf klinische Gruppen. Die Standardisierung der Stimulationsprotokolle und Dosimetrie, wie von der ITRUSST-Initiative vorgeschlagen, wäre ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit. Zudem sollten zukünftige Studien die Langzeitsicherheit von TPS bei wiederholter Anwendung in vulnerablen Populationen, wie Patienten mit neurodegenerativen Erkrankungen oder komorbiden Störungen, untersuchen. Mechanistische Studien könnten helfen, die neurobiologischen Grundlagen der beobachteten Effekte aufzuklären und gezieltere Anwendungen zu entwickeln. Schließlich wäre ein Vergleich mit etablierten Therapieverfahren notwendig, um den klinischen Nutzen von TPS im Kontext bestehender Behandlungsoptionen einzuordnen.

7. Was offen ist

- **Langzeiteffekte:** Gibt es nachhaltige klinische Verbesserungen oder Risiken bei wiederholter Anwendung?
- **Standardisierung:** Welche Stimulationsparameter (Frequenz, Intensität, Zielregion) sind für welche Indikation optimal?
- **Mechanismen:** Wie genau moduliert TPS neuronale Netzwerke, und welche Biomarker korrelieren mit klinischen Effekten?

Häufige Fragen

Kann TPS bei Parkinson eingesetzt werden?

Beobachtende Studien zeigen **Hinweise auf motorische Verbesserungen**, doch kontrollierte Studien fehlen. Die **Evidenz ist vorläufig** und reicht für eine **klinische Empfehlung** nicht aus. Entscheidend wären **randomisierte, doppelblinde Studien** mit **Langzeit-Follow-up**.

Wie unterscheidet sich TPS von anderen nicht-invasiven Verfahren wie TMS oder tDCS?

TPS nutzt **fokussierten Ultraschall**, während TMS **magnetische Felder** und tDCS **Gleichstrom** einsetzt. TPS ermöglicht eine **höhere räumliche Präzision** und kann **tiefer liegende Hirnstrukturen** erreichen. Allerdings ist die **Stimulationswirkung** weniger gut verstanden als bei TMS oder tDCS. Die **Sicherheitsprofile** unterscheiden sich: TPS löst **keine Muskelzuckungen** aus, was die **Verblindung** erschwert.

Gibt es Kontraindikationen für TPS?

Sicherheitsstudien zeigen **keine schwerwiegenden Nebenwirkungen** in den untersuchten Parametern. Allerdings gelten **Schädeldefekte, metallische Implantate im Kopfbereich** oder **akute Entzündungen** als **relative Kontraindikationen**. Die **Langzeitsicherheit** bei wiederholter Anwendung ist **nicht ausreichend untersucht**. Die ITRUSST-Leitlinien empfehlen eine **individuelle Risiko-Nutzen-Abwägung**.

Quellen

1

Mechanisms of theta burst transcranial ultrasound induced plasticity in the human motor cortex
Shamlii Oghli Y, Grippe T, Arora T, Hoque T, Darmani G, Chen R · 2023

2

The effect of transcranial ultrasound pulse repetition frequency on sustained inhibition in the human primary motor cortex: A double-blind, sham-controlled study
Zadeh AK, Raghuram H, Shrestha S, Kibreab M, Kathol I, Martino D et al. · 2024

3

Effects of Transcranial Pulse Stimulation (TPS) on Adults with Symptoms of Depression-A Pilot Randomized Controlled Trial
Cheung T, Li TMH, Ho YS, Kranz G, Fong KNK, Leung SF et al. · 2023

4

Effect of Low-Intensity Transcranial Focused Ultrasound Stimulation in Patients With Major Depressive Disorder: A Randomized, Double-Blind, Sham-Controlled Clinical Trial
Oh J, Ryu JS, Kim J, Kim S, Jeong HS, Kim KR et al. · 2024

5

Ultrasound Neuromodulation With Transcranial Pulse Stimulation in Alzheimer Disease: A Randomized Clinical Trial
Matt E, Mitterwallner M, Radjenovic S, Grigoryeva D, Weber A, Stögmann E et al. · 2025

6

Transcranial pulse stimulation in the treatment of mild neurocognitive disorders
Fong TKH, Cheung T, Ngan STJ, Tong K, Lui WYV, Chan WC et al. · 2023

7

Efficacy and safety of transcranial pulse stimulation in young adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder: a pilot, randomized, double-blind, sham-controlled trial
Cheung T, Yee BK, Chau B, Lam JYT, Fong KH, Lo H et al. · 2024

8

Low-intensity transcranial ultrasound stimulation facilitates hand motor function and cortical excitability: A crossover, randomized, double blind study
Zhang MF, Chen WZ, Huang FB, Peng ZY, Quan YC, Tang ZM · 2022

9

Neuromodulatory Effects of Transcranial Pulse Stimulation (TPS) in Neurological and Psychiatric Disorders-A Systematic Review and Meta-Analysis
Polte S, Klingmann L, Seßmann A, Schwichtenberg S, Herrmann CS, Witt K et al. · 2025

10

Effect of Transcranial Pulse Stimulation for the Treatment of Alzheimer’s Disease and its Related Symptoms
Fernández-Castaño R, Fernández-Blázquez MÁ, Echevarria Fernández I, Cabrera-Freitag M, Freitag K · 2023

11

Suppression of pathological oscillations with transcranial focused ultrasound in Parkinson’s disease
Eraifej J, Toth J, Hanemaaijer J, He S, Cheng X, Divanbeighi Zand AP et al. · 2026

12

Neuromodulation in Parkinson’s disease with transcranial pulse stimulation: evidence of clinical efficacy and cortical oscillatory changes
Gianlorenco AC, Camargo L, Yeh HJ, Fernandes EB, Ribeiro JV, Hazer-Rau D et al. · 2025

13

Prefrontal Transcranial Pulse Stimulation for Major Depressive Disorder: A Randomized Clinical Trial
Qin PP, Jin M, Kan RL, Chak I, Zhang BB, Chau W et al. · 2026

14

Focused and unfocused transcranial ultrasound stimulation in Alzheimer’s disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials
Abdellatif AI, Elsharab A, Moubarak ES, Alsaadany KR, Ayad YW · 2026

15

Transcranial Pulse Stimulation for Alzheimer’s Patients
Cont C, Reinboth BS, Schütz C, Stute N, Galli A, Schulte C et al. · 2025

16

Human Studies of Transcranial Ultrasound neuromodulation: A systematic review of effectiveness and safety
Sarica C, Nankoo JF, Fomenko A, Grippe TC, Yamamoto K, Samuel N et al. · 2022

17

ITRUSST consensus on biophysical safety for transcranial ultrasound stimulation
Aubry JF, Attali D, Schafer ME, Fouragnan E, Caskey CF, Chen R et al. · 2025

International Health Research

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