

Leon Kapeller
Matrikelnummer: 119295977

**Mechanische Therapien: Technik und Menschenbilder in der
Geschichte der Ultraschall-Neuromodulation (tFUS) und der
Lobotomie**

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
„Bachelor of Arts“ (BA)

Begutachter/in:
Florian Bettel

Studienrichtung:
DEX

Begleitende Lehrveranstaltung:
Technische Utopien. Erzählungen aus den Geschichten des Fortschritts

Datum: SS24



Inhaltsverzeichnis

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>1. EINLEITUNG</u> | 2 |
| 1.1 HINTERGRUND UND RELEVANZ..... | 2 |
| 1.2 FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE UND ZIELE..... | 3 |
| 1.3 METHODIK UND ANSATZ | 3 |
| <u>2. UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND</u> | 5 |
| 2.1 ÜBERBLICK ÜBER DIE ULTRASCHALL-NEUROMODULATION (TFUS) | 5 |
| 2.2 FRÜHE ENTWICKLER: ALFRED LEE LOOMIS UND DIE FRY BROTHERS | 5 |
| 2.3 DAS SPEZIFISCHE GERÄT DER FRY'S UND SEINE FRÜHEN MEDIZINISCHEN ANWENDUNGEN | 8 |
| <u>3. HISTORISCHER KONTEXT MECHANISCHER GEHIRNTHERAPIEN</u> | 13 |
| 3.1 EINFÜHRUNG IN MECHANISCHE HIRNTHERAPIEN..... | 4 |
| 3.2 ENTWICKLUNG UND ANWENDUNGEN DER LOBOTOMIE | 13 |
| 3.3 VERGLEICH VON LOBOTOMIE UND ULTRASCHALL-NEUROMODULATION | 14 |
| 3.4 PHILOSOPHISCHE UND ETHISCHE PERSPEKTIVEN IM HISTORISCHEN KONTEXT..... | 15 |
| 4. TECHNOLOGISCHE NARRATIVE UND ÖFFENTLICHE REZEPTION | 16 |
| <u>5. ANTHROPOLOGISCHE UND PHILOSOPHISCHE ÜBERLEGUNGEN ZU GEHIRNTECHNOLOGIEN.....</u> | 21 |
| <u>6. FAZIT</u> | 24 |
| 6.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE..... | 24 |
| 6.2 ÜBERLEGUNGEN ZU TECHNOLOGISCHEM UND ETHISCHEM ASPEKTEN | 25 |
| 6.3 ZUKÜNFTIGE FORSCHUNGSRICHTUNGEN..... | 26 |
| <u>LITERATURVERZEICHNIS</u> | 28 |
| <u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u> | 29 |

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Relevanz

Die Erforschung von Neuromodulationstechnologien hat ihre Wurzeln in historischen Versuchen, die Gehirnaktivität durch mechanische und Mittel zu beeinflussen. Die transkranielle (durch den Schädel hindurch) fokussierte Ultraschallstimulation (tFUS) stellt die neueste Entwicklung in einer langen Reihe von Eingriffen dar, die auf die Veränderung neurologischer Funktionen abzielen. Im Gegensatz zu früheren invasiven Verfahren wie zum Beispiel der Lobotomie wendet tFUS fokussierte Ultraschallwellen auf bestimmte Gehirnregionen an und ermöglicht so eine präzise Neuromodulation, sprich eine gezielte Beeinflussung der neuronalen Aktivität und der Funktion des Nervensystems ohne chirurgischen Eingriff (Bilstein et al., 2020, S. 113-115). Die Entstehung von tFUS muss jedoch in einem breiteren historischen Kontext verstanden werden, der sowohl seine technologische Entwicklung als auch die soziopolitischen Bedingungen umfasst, die seine Einführung geprägt haben.

Der Übergang von invasiven mechanischen Therapien wie der Lobotomie zu nicht-invasiven Neuromodulationstechniken wie tFUS spiegelt die sich entwickelnden Ansätze der Hirnstimulation wider. Bei frühen Eingriffen lag der Schwerpunkt häufig auf physischen Veränderungen neuronaler Strukturen, die auf einem unvollständigen wissenschaftlichen Verständnis psychiatrischer und neurologischer Störungen beruhten. Die Arbeit von Alfred Lee Loomis und den Brüdern Fry spielte eine entscheidende Rolle bei der Verlagerung der Forschung von destruktiven Eingriffen zu gezielteren Stimulationsmethoden. Loomis' frühe Experimente mit Ultraschall in den 1920er und 1930er Jahren bildeten die Grundlage für spätere medizinische Anwendungen, während die Fortschritte der Brüder Fry im Bereich des fokussierten Ultraschalls in den 1950er Jahren dessen Potenzial für selektive Neuromodulation, also die Behandlung von Nervenfehlfunktionen zeigten (Freissmuth et al., 2020, S. 267–269).

Die historische Entwicklung von tFUS kann nicht von den gesellschaftlichen Kräften getrennt werden, die seine Einführung beeinflusst haben. Die Versprechen von Ingenieuren und Medizinern vom Potenzial ultraschallbasierter Eingriffe spiegeln frühere Behauptungen im Zusammenhang mit Lobotomie, Elektrokrampftherapie und anderen psychiatrischen Behandlungen wider. Das Verständnis dieser historischen Muster gibt Aufschluss darüber, wie der wissenschaftliche Fortschritt von medizinischen Bedürfnissen, technischen Möglichkeiten und kulturellen Erwartungen geprägt wird (Manzeschke & Niederlag, 2020, S. 83-85). Diese Arbeit positioniert Ultraschall Neuromodulation (tFUS) im Rahmen einer technikhistorischen Analyse und konzentriert sich dabei auf seine Entwicklung, die

Personen, die zu seiner Weiterentwicklung beigetragen haben, und die gesellschaftlichen Faktoren, die seine Entwicklung beeinflusst haben.

1.2 Forschungsschwerpunkte und Ziele

Diese Arbeit untersucht die historische Entwicklung von tFUS im Vergleich zu früheren mechanischen Gehirntherapien, insbesondere der Lobotomie, um die technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen zu verstehen, die seine Entstehung geprägt haben. Der Schwerpunkt liegt darauf, wie frühe Ultraschallpioniere wie Alfred Lee Loomis und die Brüder Fry zur Weiterentwicklung der Hirnstimulationstechniken beigetragen haben und wie ihre Arbeit zur Akzeptanz von Ultraschall als praktikable Methode der Neuromodulation geführt hat (Freissmuth et al., 2020, S. 267-269). Die Untersuchung dieser frühen Innovatoren bietet eine historische Grundlage für die Beurteilung der Entwicklung von tFUS. Ein zentrales Ziel dieser Forschung ist es, die mit tFUS verbundenen Versprechen und Erwartungen im historischen Kontext zu analysieren.

Die Entwicklung neuer medizinischer Technologien ging oft mit utopischen Behauptungen hinsichtlich ihres Potenzials einher, die Behandlung zu revolutionieren. Frühe Befürworter der Lobotomie stellten sie trotz ihrer verheerenden Langzeitfolgen als bahnbrechende Lösung für schwere psychiatrische Störungen dar (Manzeschke & Niederlag, 2020, S. 27-29). In ähnlicher Weise haben Ingenieure und Forscher, die tFUS propagieren, es als hochpräzise, nicht-invasive Alternative zu bestehenden Neuromodulationsmethoden dargestellt. Das Verständnis der historischen Kontinuität solcher Versprechen hilft dabei, die Erzählungen von technologischer Innovation bei der Hirnstimulation zu kontextualisieren. Darüber hinaus werden die soziopolitischen und wirtschaftlichen Bedingungen, die die Entwicklung und Rezeption von tFUS geprägt haben, untersucht. Indem die Arbeit die Entwicklung von tFUS in diesem breiteren Umfeld nachzeichnet, gibt sie Aufschluss darüber, wie wissenschaftliche, medizinische und wirtschaftliche Interessen seine Einführung und Entwicklung beeinflusst haben.

1.3 Methodik und Ansatz

Diese Arbeit verwendet einen historischen und vergleichenden Ansatz zur Analyse von tFUS und Lobotomie. Sie beginnt induktiv mit der Konzentration auf Personen wie Alfred Lee Loomis und die Fry-Brüder, die bedeutende Beiträge zum Bereich der Hirnstimulation geleistet haben (Keller et al., 2018, S. 20-22). Ihre Arbeit wird nicht nur auf ihre technologischen Auswirkungen hin untersucht, sondern auch auf die philosophischen und anthropologischen Perspektiven, die in ihren Innovationen stecken.

Die Analyse basiert auf historischen und philosophischen Quellen, wie den Schriften von Ernst Kapp und anderen Denkern, die für das Feld der Technikanthropologie relevant sind. Diese Perspektiven sind wesentlich, um zu verstehen, wie sich technologische Fortschritte mit kulturellen und ethischen Überlegungen überschneiden (Gaede-Illig & Lücking, 2024, S.

56-58). Die Arbeit erforscht auch die gesellschaftlichen und technologischen Narrative, die rund um tFUS und Lobotomie entstanden sind, und untersucht, wie diese Narrative breitere Trends in der Medizinwissenschaft und gesellschaftliche Werte widerspiegeln.

Ein wichtiger Aspekt der Methode ist der Vergleich der technologischen und gesellschaftlichen Versprechen, die mit tFUS und Lobotomie verbunden sind. Dieser Vergleich ist in den breiteren historischen Kontext medizinischer Fortschritte eingebettet und zeigt, wie Technologie aufgenommen, reguliert und genutzt wurde (Keller et al., 2018, S. 79-81). Dieser Ansatz ermöglicht ein differenziertes Verständnis der Rolle technologischer Innovationen bei der Gestaltung menschlicher Erfahrungen und Erwartungen.

1.4 Einführung in mechanische Hirntherapien

Die Geschichte mechanischer Gehirntherapien spiegelt den anhaltenden Wunsch wider, bei neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen durch physische Manipulation von Gehirnstrukturen einzutreten. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden verschiedene Methoden zur Veränderung der Gehirnfunktion, oft ohne ein umfassendes Verständnis der zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen erforscht (Jörg, 2013, S. 270-272).

In dieser Zeit entstanden sowohl die Lobotomie als auch der fokussierte Ultraschall als technologische Antworten auf die begrenzten psychiatrischen Behandlungsmöglichkeiten der damaligen Zeit. Während bei der Lobotomie, entwickelt von Walter Freeman (1895-1972) und António Egas Moniz (1874-1955), Nervenverbindungen im Frontallappen chirurgisch durchtrennt wurden, führte das fokussierte Ultraschallsystem der Gebrüder Fry eine Technik ein, die akustische Energie tief im Gehirn konzentrierte und so eine Läsion (Verletzung oder Schädigung von Gewebe) ohne Schnitt ermöglichte (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 142-144), (Jürgensen, 2021, S. 82-84).

Dieser Ansatz basierte auf der Überzeugung, dass psychiatrische Störungen durch physische Veränderungen des Gehirns „geheilt“ werden könnten. Solche Verfahren führten jedoch häufig zu schweren kognitiven Beeinträchtigungen und ethischen Kontroversen, was die Risiken verdeutlichte, die mit mechanischen Ansätzen zur Behandlung psychischer Erkrankungen verbunden sind.

Fortschritte in der Elektro- und Ultraschalltechnologie ermöglichten die Entwicklung von Neuromodulationstechniken, die darauf abzielten, neuronale Schaltkreise zu stimulieren, statt sie zu zerstören. Die Beiträge von Alfred Lee Loomis und den Gebrüdern Fry waren für diesen Übergang von entscheidender Bedeutung, da sie die Möglichkeit demonstrierten, mit fokussiertem Ultraschall gezielt Gehirnregionen anzusprechen, ohne die irreversiblen Folgen früherer mechanischer Therapien (Jörg, 2013, S. 270-272). Die Geschichte der mechanischen Gehirntherapien spiegelt somit eine Entwicklung von einfachen chirurgischen Techniken zu immer ausgereiften Neuromodulationstechniken wider, die von

wissenschaftlichen Entdeckungen, technischen Innovationen und medizinischer Notwendigkeit geprägt war.

2. Untersuchungsgegenstand

2.1 Überblick über die Ultraschall-Neuromodulation (tFUS)

Die transkranielle fokussierte Ultraschallstimulation (tFUS) stellt einen bedeutenden Schritt in der nicht-invasiven Neuromodulationstechnologie dar. Im Gegensatz zu anderen Methoden, die oft elektrische oder magnetische Stimulation beinhalten, verwendet tFUS Ultraschallwellen, um bestimmte Regionen des Gehirns präzise anzusprechen, so die beiden Ingenieure Tim C. Lüth und Matthias F. Träger (2024). Diese Technologie hat aufgrund ihrer Fähigkeit, in tiefe Gehirnstrukturen einzudringen und gleichzeitig ein hohes Maß an räumlicher Auflösung bzw. Präzision aufrechtzuerhalten, Aufmerksamkeit erregt. Der Mechanismus beinhaltet die Erzeugung akustischer Energie, die die neuronale Aktivität durch mechanische Effekte auf Zellmembranen und Ionenkanäle modulieren kann (Dössel, 2016, S. 146-148). Eine solche Modulation hat sich sowohl für die Forschung als auch für therapeutische Anwendungen als wertvoll erwiesen.

Forscher:innen haben laut Dössel (2016) das Potenzial von tFUS bei der Behandlung von Erkrankungen wie Depressionen, chronischen Schmerzen und Parkinson untersucht. Die Fähigkeit, den Schädel ohne invasive Eingriffe zu durchdringen, hat tFUS zur bevorzugten Wahl in Situationen gemacht, in denen traditionelle Methoden ungeeignet sind. Trotz dieser Vorteile ist tFUS immer noch eine sich entwickelnde Technologie, und viele seiner Anwendungen sind nach wie vor experimentell (Lüth & Träger, 2024, S. 67-69). Ethische Überlegungen und Bedenken hinsichtlich der langfristigen Auswirkungen müssen ebenfalls fortlaufend geprüft werden, da die umfassenderen Auswirkungen einer Modulation der Gehirnaktivität mit einer solchen Präzision noch erforscht werden.

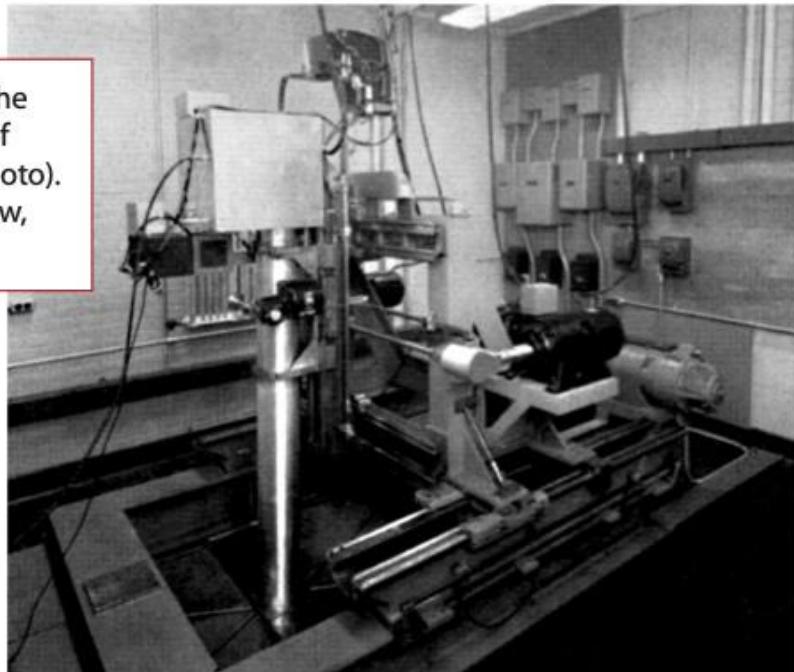
2.2 Frühe Entwickler: Alfred Lee Loomis und die Fry Brothers

Alfred Lee Loomis (1887-1975) war einer der ersten, der hochfrequente Schallwellen für medizinische Zwecke einsetzte. In seiner privaten Forschungseinrichtung in Tuxedo Park, New York führte Loomis in den 1920er und 1930er Jahren gemeinsam mit Robert W. Wood (1868-1955) bahnbrechende Experimente zur Erforschung der biologischen Wirkungen von Ultraschallwellen durch. In ihrer 1932 erschienenen Veröffentlichung *The Biological Effects of High-Frequency Sound Waves* schrieben Loomis und Wood: „Wir haben beobachtet, dass Schallenergie über einem bestimmten Schwellenwert eine lokale Erwärmung von tierischem Gewebe erzeugen und reversible physiologische Reaktionen hervorrufen kann“ (Loomis & Wood, 1932, S. 922).

Loomis testete Variablen wie Schallfrequenz, Gewebeabsorption und Kavitationseffekte. Wie Anderegg et al. (2013, S. 11–13) anmerken, legte Loomis grundlegende Konzepte für die Manipulation lebenden Gewebes durch Schallenergie und legte damit den Grundstein für die klinische Anwendung in den folgenden Jahrzehnten.

Die Gebrüder Fry, William J. Fry (1918-1968) und Francis J. Fry (1920-2005), erweiterten Loomis' experimentelle Konzepte auf gezielte neurologische Anwendungen. Dank ihrer Ausbildung in Elektrotechnik und ihrer Zusammenarbeit mit der University of Illinois und militärischen Partnern wie dem Office of Naval Research entwickelten sie eines der ersten stereotaktisch geführten Ultraschallsysteme für die Gehirnintervention. In ihrem 1953 im Journal of the Acoustical Society of America erschienenen Artikel stellte William Fry fest: „Lokalisierte Hirnläsionen können durch extern angewendete fokussierte Ultraschallstrahlen mit minimaler kollateraler Gewebeschädigung erzeugt werden“ (Fry et al., 1953, S. 1234). Diese frühe Beschreibung definierte ihre Methode als präzise, extern und für neurochirurgische Zwecke in tiefen Geweben geeignet.

e structure in the
ie positioning of
below (lower photo).
rolled from below,



Quelle: O'Brien, W. D., & Dunn, F. (2015). *An early history of high-intensity focused ultrasound*. *Physics Today*, 68(10), 40–46.

Datum des Geräts: Um 1957

Das abgebildete Gerät wurde im Rahmen der Ultraschall-Neurochirurgie und der präzisen Bestrahlungspositionierung eingesetzt und in den 1950er Jahren entwickelt. Der Artikel besagt, dass Russell Meyers 1957 mit diesem Gerät die erste Ultraschallopoperation am menschlichen Gehirn erfolgreich durchführte.

Die Fry-Brüder begannen mit subkortikalem (tiefer im Gehirn liegend) Targeting in Tiermodellen und gingen dann zu klinischen Untersuchungen unter stereotaktischen Bedingungen, also Behandlung in einen bestimmten Punkt über. Ihre Ergebnisse skizzieren die physikalischen Parameter, die für wiederholbare Läsionen erforderlich sind sowie deren verhaltensbezogene und physiologische Folgen (Anderegg, et al., 2013, S. 11-13). Anders als Loomis, der über eine allgemeine biologische Modulation spekuliert hatte, präsentierten die Fry's einen funktionierenden Prototyp, der Ultraschallenergie an klar definierte Gehirnstrukturen abgab.

Während Loomis die theoretischen und experimentellen Grundlagen schuf, institutionalisierten die Gebrüder Fry die Anwendung von Ultraschallenergie in der klinischen Neurowissenschaft. Wie sie in einem ihrer technischen Berichte feststellten, „hat Ultraschall das Potenzial, konventionelle neurochirurgische Verfahren in ausgewählten Anwendungsgebieten zu ersetzen, in denen Zugänglichkeit und Präzision von größter Bedeutung sind“ (Fry et al., 1956, S. 88). Ihr Gerätedesign, ihre Frequenzabstimmung und die Möglichkeiten zur Energiemodulation machten die ultraschallbasierte Läsion zu einer konzeptionell eigenständigen Alternative zu der Zeit aktuellen vorherrschenden psychiatrischen Interventionen. Sie vermieden direkte Versprechungen hinsichtlich therapeutischer Ergebnisse, doch frühe institutionelle Reaktionen interpretierten ihre Arbeit oft als Vorboten einer neuen, unblutigen Form der Psychochirurgie.

2.3 Das spezifische Gerät der Fry's und seine frühen medizinischen Anwendungen
Das erste fokussierte Ultraschall-Neuromodulationssystem für medizinische Zwecke wurde zwischen 1952 und 1956 von William J. Fry und Francis J. Fry an der University of Illinois entwickelt. Laut Geipel et al. (2022) entstand ihre Arbeit im Kontext der amerikanischen Forschungskultur der Nachkriegszeit, in der akustische Technologien, die ursprünglich für militärische Zwecke wie U-Boot-Sonar entwickelt wurden, in medizinische und neurologische Experimente Eingang fanden. Unterstützt vom Office of Naval Research und anderen Verteidigungsbehörden entwickelten die Gebrüder Fry ein System, das hochintensiven fokussierten Ultraschall nutzte, um gezielt Strukturen tief im Gehirn zu erreichen und so eine nicht-invasive Alternative zu herkömmlichen psychochirurgischen Verfahren einzuführen (Görg & Schmidt, 2015, S. 78-80).

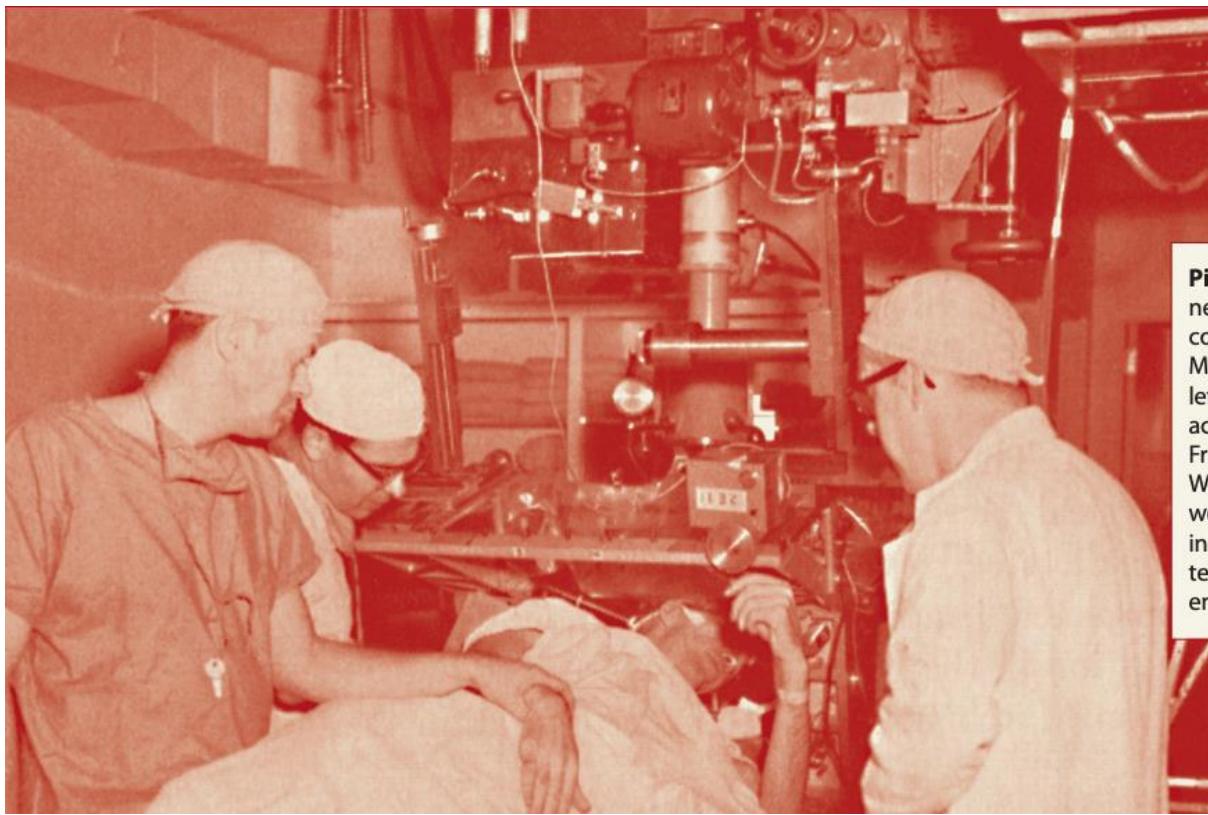
Das Gerät bestand aus einem oder mehreren sphärisch gekrümmten piezoelektrischen Wändlern, die in entgastes Wasser getaucht und so positioniert waren, dass sie einen konvergenten Strahl durch den intakten Schädel leiteten. Laut ihrem Bericht von 1955 „gewährleistet die Wandlergeometrie, dass der Fokusbereich auf eine Kugel mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm in einer Tiefe von 8–10 cm im Schädelinneren begrenzt werden kann“ (Fry et al., 1955, S. 273). Die räumliche Auflösung des Systems markierte

einen technologischen Durchbruch gegenüber früheren mechanischen und chemischen Verletzungstechniken.

Tierversuche halfen dabei den Funktionsumfang des Geräts zu ermitteln. Die Gebrüder Fry wendeten akustische Frequenzen zwischen 0,5 und 3 MHz an und passten die Intensität je nach Zielregion an. Ihr Kontrollprotokoll umfasste einen stereotaktischen Rahmen, Röntgenzielerfassung und Thermoelement-Feedback zur Überwachung der intrakraniellen Temperatur. In einer Studie aus dem Jahr 1957 stellten sie fest: „Wir haben nachgewiesen, dass eine kontrollierte lokale Temperaturerhöhung auf etwa 52 °C ausreicht, um neuronale Störungen ohne allgemeine Gewebekreose zu induzieren“ (Fry et al., 1957, S. 601). Dieses Maß an thermischer Kalibrierung war zu dieser Zeit in der nicht-invasiven Hirntherapie beispiellos.

Sieb und Zettl (2022, S. 153–155) betonen, dass das Gerät dreidimensionale Fokuseinstellungen ermöglichte. Mithilfe von Gelenkhalterungen und automatisierten Positionierungstischen konnten die Forscher Ultraschallenergie gezielt ins Gehirn, genauer an die Thalamuskerne oder Basalganglien abgeben. Die Kombination aus radiologischer Bildgebung und akustischer Linsenwirkung verlieh ihrem Aufbau trotz seines experimentellen Status klinisches Potenzial (Hofer, 2023, S. 40-42). Jeder Versuchsdurchlauf wurde mit Gewebehistologie, Verhaltensänderungen und Überlebensraten nach dem Eingriff protokolliert.

Hofer (2023, S. 83–85) beschreibt das Konstruktionsprinzip des Fry-Geräts als modular und adaptiv. Die Modularität ermöglichte den Austausch von Wandlerelementen je nach Fokustiefe oder Wellenformbedarf. Ihr Aufbau nutzte außerdem akustisches und visuelles Feedback, um den Ausrichtungs- und Energieabgabeprozess zu signalisieren (Sieb & Zettl, 2022, S. 153-155). Diese Closed-Loop-Konfiguration bot den Forschern ein Maß an Verfahrenskontrolle, das von anderen zeitgenössischen neurotherapeutischen Geräten nicht erreicht wurde.



Quelle: O'Brien, W. D., & Dunn, F. (2015). *An early history of high-intensity focused ultrasound*. *Physics Today*, 68(10), 40–46.

Datum des Geräts: Um 1957

Dieses Bild zeigt die erste erfolgreiche Ultraschall-Neurochirurgie am menschlichen Gehirn, die Russell Meyers 1957 mit dem Ultraschallgerät der Gebrüder Fry durchführte. Dies war ein historischer Meilenstein, wie das Time Magazine am 2. Dezember 1957 berichtete und im Artikel von Physics Today dokumentiert wurde.

Laut Fry et al. (1954) lag die wichtigste technische Innovation in der Fähigkeit, Energie mithilfe akustischer Linsen durch den intakten Schädel zu leiten. Geipel et al. (2022) unterstreicht, dass William J. Fry in einem ihrer Berichte feststellte: „Ultraschallstrahlung ausreichender Intensität kann, wenn sie fokussiert wird, verwendet werden, um lokalisierte Läsionen in tierischen Gehirnstrukturen zu erzeugen, wobei die Präzision nur durch die Wellenlänge des Schalls und die Auflösung des Zielsystems begrenzt ist.“ Diese Fähigkeit, die durch sorgfältige Tierstudien dokumentiert wurde, zeigte, dass bestimmte Hirnregionen gezielt und mit minimaler Auswirkung auf das umliegende Gewebe verändert werden konnten (Görg & Schmidt, 2015, S. 113-115). Diese Versuche umfassten zunächst anästhesierte Katzen und Hunde, bei denen Läsionen im Thalamus und den Nuclei caudatus erzeugt wurden, und wurden später auf Primaten ausgeweitet.

Röntgenaufnahmen halfen bei der Bestimmung der genauen Koordinaten, während die physiologische Überwachung Vitalfunktionen und Reaktionen auf Läsionen verfolgte (Lüth & Träger, 2024, S. 67-69). In ihrer Veröffentlichung von 1955 betonten Fry und Kollegen, dass die Ultraschallbestrahlung „keine sichtbare Zerstörung des darüber liegenden Hirngewebes“ hervorrief, es jedoch zu einer „irreversiblen Veränderung der Funktion der Zielkerne“ kam (Fry et al., 1955).

Diese Ergebnisse, führten zu der Idee, dass Schallenergie mechanische Kraft in der Neurochirurgie ersetzen könnte. Laut Lüth und Träger (2024) beschrieb Francis Fry ihre Methode in einem Artikel von 1956 als „funktionelles neurochirurgisches Instrument“ und präzisierte, dass sie „die Erzeugung diskreter subkortikaler Läsionen mit einem Grad an Kontrolle und Reproduzierbarkeit ermöglicht, der mit bestehenden Methoden nicht erreicht wird“. Solche Aussagen unterstrichen den Kontrast zwischen ihrer Technik und invasiveren chirurgischen Verfahren wie der Lobotomie, die eine umfassende Zerstörung des Hirngewebes mit unsicherem Ergebnis erforderte (Dössel, 2016, S. 146-148).

Das Fry-Gerät entstand nicht isoliert. Seine konzeptionellen Wurzeln gehen auf kriegsbedingte Innovationen während des 1. Weltkrieg im Sonar- und RadARBereich zurück, bei denen Ingenieure Schallwellen manipulierten, um Objekte unter Wasser zu orten. Wie Lüth und Träger (2024) betonen, war der Übergang von der Ortung von U-Booten zur Veränderung von Gehirnschaltkreisen kein Zufall – er spiegelte den allgemeinen Trend wider, dass Militärtechnologien in die biomedizinische Forschung einflossen. Die Brüder Fry, ausgebildet in Elektrotechnik und Physik, übertrugen diese akustischen Prinzipien in eine biomedizinische Anwendung, indem sie metallische Ziele durch neuroanatomische ersetzten (Freissmuth, et al., 2020, S. 69-71).

Wichtig ist, dass die Brüder nicht behaupteten, ihre Erfindung könne die psychiatrische Therapie ersetzen. Vielmehr beschrieben sie ihre Fähigkeit, in neurologische Strukturen einzugreifen, die mit bestimmten Symptomen in Zusammenhang stehen. In einem ihrer Vorträge von 1957 bemerkte William Fry: „Das Gerät ist nicht zur Behandlung psychiatrischer Erkrankungen an sich gedacht, kann aber zur Linderung von Symptomen beitragen, die mit bestimmten Hirnherden verbunden sind.“ Diese Unterscheidung – zwischen klinischer Wirksamkeit und experimenteller Möglichkeit – unterschied ihre Kommunikation von der Vermarktung der Lobotomie im gleichen Zeitraum (Freissmuth, et al., 2020, S. 84-86).

Kommentatoren in *Science* und *Scientific American* spekulierten, fokussierter Ultraschall könne bald „eine unblutige Alternative zur Psychochirurgie“ oder sogar „eine neue Dimension der Gehirnkontrolle“ bieten, obwohl solche Behauptungen nicht von den Fry-Brüdern selbst stammten. Laut Dössel (2016) veranschaulicht dieser Wahrnehmungswandel, wie wissenschaftliche Zurückhaltung in der Primärliteratur auch

dann noch utopische Interpretationen befeuern kann, wenn eine Technologie in den breiteren öffentlichen Diskurs gelangt.

Die Reaktionen innerhalb der medizinischen Fachwelt waren unterschiedlich. Einige Neurologen begrüßten das Fry-Gerät als vielversprechenden Schritt in Richtung minimalinvasiver Gehirnchirurgie, während andere Bedenken hinsichtlich unbeabsichtigter Gewebeschäden und des Mangels an Langzeitstudien äußerten. In einem Kommentar von 1957 in den *Archives of Neurology* warnte ein Arzt: „Die Präzision des Geräts ist bewundernswert, aber die Auswirkungen der Anwendung von Energiestrahlen im Gehirn müssen mit äußerster Vorsicht betrachtet werden, bis weitere Studien Sicherheitsmargen ermittelt haben.“ Die Gebrüder Fry räumten diese Einschränkungen ein und betonten erneut, dass ihr System sich noch in der Versuchsphase befindet und noch nicht für den routinemäßigen klinischen Einsatz geeignet sei (Manzeschke & Niederlag, 2020, S. 30-32). Auch die ethischen Aspekte des Geräts erregten Aufmerksamkeit. Wie Manzeschke und Niederlag (2020) feststellen, war das Fry-System zwar weniger invasiv als die Lobotomie, basierte aber dennoch auf der Logik, pathologisches Verhalten durch direkte Gehirnintervention zu kontrollieren. Der entscheidende Unterschied lag jedoch in der Betonung von Parametrisierung und Reversibilität. Im Gegensatz zu chirurgischen Instrumenten, die einmalig und irreversibel schneiden, bot Ultraschall eine Methode, die feinjustiert, pausiert oder kalibriert werden konnte (Bilstein et al., 2020, S. 113–115). Diese Betonung der Kontrolle entsprach dem Nachkriegsideal einer wissenschaftlich regulierten Medizin, auch wenn die technologischen Möglichkeiten damals noch begrenzt waren. Abbildungen des Fry-Geräts aus technischen Berichten und Veröffentlichungen zwischen 1953 und 1957 zeigen ein sperriges Gerät, bestehend aus einem Wassertank, Montagearmen, stereotaktischen Rahmen und einer Reihe von Oszillatoren. Der Patient oder das Tier wurde immobilisiert, während der Wandler manuell ausgerichtet und mit Röntgenkontrolle bestätigt wurde (Freissmuth et al., 2020, S. 115–117). Diese Geräte sind zwar mittlerweile veraltet, zeigen aber den mechanischen Einfallsreichtum, der erforderlich ist, um theoretische Akustik in medizinische Instrumente umzusetzen. Rückblickend betrachtet fand das System der Gebrüder Fry nicht sofort klinische Anwendung. Seine Größe, seine Kosten und die Abhängigkeit von hochspezialisierten Geräten beschränkten seinen Einsatz auf wenige Versuchszentren. Doch die von ihnen entwickelten Prinzipien – akustische Fokussierung, subkortikale Läsion und stereotaktische Führung – bildeten den technischen Kern dessen, was später im 21. Jahrhundert als MRT-gesteuerte fokussierte Ultraschall-Neuromodulation wiederbelebt wurde (Manzeschke & Niederlag, 2020, S. 16-18).

Die größere historische Bedeutung ihrer Arbeit liegt in dem von ihnen eingeführten Paradigma: Die Gehirnfunktion kann nicht durch stumpfe chirurgische Gewalt, sondern

durch gezielt eingesetzte Energie verändert werden. Obwohl ihr Gerät zu ihren Lebzeiten weitgehend experimentell blieb, deuteten die von ihnen entwickelten Methoden einen Wandel im therapeutischen Denken an – vom Schneiden zum Zielen, vom Entfernen zum Modulieren (Bilstein, et al., 2020, S. 73-75).

3. Historischer Kontext mechanischer Gehirntherapien

3.1 Entwicklung und Anwendungen der Lobotomie

Die Lobotomie, auch Leukotomie genannt, war ein chirurgischer Eingriff zur Behandlung schwerer psychiatrischer Störungen durch Durchtrennung von Verbindungen im präfrontalen Kortex des Gehirns. In den 1930er Jahren vom portugiesischen Neurologen António Egas Moniz entwickelt, basierte die Lobotomie ursprünglich auf der Hypothese, dass psychische Erkrankungen auf abnormale Verbindungen zwischen verschiedenen Teilen des Gehirns zurückzuführen seien (Jörg, 2013, S. 82-84). Moniz führte das Verfahren als radikale Lösung für Erkrankungen wie Schizophrenie, schwere Depressionen und Zwangsstörungen ein, die oft gegen andere Behandlungen resistent waren.

Bei den frühen Lobotomietechniken wurden Löcher in den Schädel gebohrt und Alkohol injiziert, um das Hirngewebe zu zerstören. Laut Jörg (2013) wurden diese Methoden später zum „Standard“-Lobotomieverfahren verfeinert, bei dem ein Leukotom, ein Drahtschlingeninstrument, verwendet wurde, um weiße Substanzbahnen in den Frontallappen zu durchtrennen. Die Technik gewann erheblich an Popularität, nachdem sie in den Vereinigten Staaten von Walter Freeman und James Watts (1905-1994) übernommen wurde (Jürgensen, 2021, S. 126-128). Freemans Befürwortung des Verfahrens sowie seine Innovation der transorbitalen Lobotomie, bei der ein eispickelähnliches chirurgisches Instrument durch die Augenhöhle eingeführt wird, trugen erheblich zur weit verbreiteten Einführung und Zugänglichkeit der Lobotomie in den 1940er und 1950er Jahren bei.

Die Lobotomie wurde bei einer Vielzahl psychiatrischer Erkrankungen angewandt, oft ohne Rücksicht auf die Einwilligung des Patienten oder alternative Behandlungsmethoden.

Jürgensen (2021) zeigt, dass das Verfahren zunächst als Durchbruch gefeiert wurde, und Moniz erhielt für seine Arbeit 1949 den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin. Die Ergebnisse der Lobotomie waren jedoch höchst inkonsistent. Während einige Patienten weniger psychiatrische Symptome zeigten, erlitten viele schwere kognitive und emotionale Beeinträchtigungen wie Apathie, verminderte intellektuelle Funktionen und Persönlichkeitsveränderungen (Jörg, 2013, S. 104-106). Die ethische und medizinische Kritik an der Lobotomie sowie das Aufkommen psychotroper Medikamente in den 1950er Jahren führten zu ihrem Niedergang.

Dennoch bleibt die Lobotomie eine wichtige Fallstudie in der Geschichte der Gehirntherapien. Jörg (2013) zeigt, dass sie die Konsequenzen der Priorisierung

zweckmäßiger Lösungen gegenüber strenger wissenschaftlicher Validierung und ethischen Überlegungen aufzeigt. Darüber hinaus verdeutlicht sie die Gefahren, die sich daraus ergeben, dass Behandlungen psychischer Erkrankungen in zu vereinfachten Modellen der Gehirnfunktion dargestellt werden, eine Lektion, die in den gegenwärtigen Debatten über Neuromodulationstechnologien weiterhin nachhallt (Jürgensen, 2021, S. 226-228).

3.3 Vergleich von Lobotomie und Ultraschall-Neuromodulation

Die Lobotomie geht auf die Arbeit von António Egas Moniz zurück, der 1935 die präfrontale Leukotomie einführte. Sie wurde rasch von Walter Freeman in den USA übernommen und modifiziert, der die transorbitale Lobotomie als vereinfachtes, ambulantes Verfahren propagierte. 1942 bezeichnete ein Leitartikel in *The Lancet* die Lobotomie als „einen mutigen Eingriff, der hoffnungslos Geisteskranken ein nützliches Leben zurückgeben könnte“. Freeman selbst beschrieb den Eingriff in öffentlichen Vorträgen und Artikeln als „chirurgische Heilung von Geisteskrankheiten“ und spiegelte damit den vorherrschenden Optimismus in der Nachkriegspsychiatrie wider (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 105-107). Im Gegensatz dazu war der Ansatz der Brüder Fry von Vorsicht und technischer Detailliertheit geprägt. In ihrem 1954 im *Journal of the Acoustical Society of America* veröffentlichten Artikel schrieben sie: „Es erscheint möglich, Ultraschallenergie in einem scharf abgegrenzten Fokusbereich zu konzentrieren und so diskrete Läsionen in tiefliegenden Hirnstrukturen zu erzeugen, ohne das dazwischenliegende Gewebe zu verletzen“ (Fry, WJ & Fry, FJ, 1954, S. 694). Anstatt die Technik als therapeutischen Durchbruch darzustellen, positionierten sie sie als experimentelles Werkzeug für neurochirurgische Eingriffe.

Während die Lobotomie weit verbreitet war, veränderte sich ihre Rezeption unter Medizinern allmählich. Ein Bericht in *der JAMA aus dem Jahr 1950* stellte fest: „Es wächst das Bewusstsein, dass die Lobotomie, obwohl sie in ausgewählten Fällen nützlich ist, das Risiko einer Persönlichkeitsverflachung und intellektuellen Abstumpfung birgt.“ Diese wachsende Skepsis spiegelte sich nicht in der Rezeption des fokussierten Ultraschalls wider, der auf Forschungseinrichtungen beschränkt blieb. Die Methode der Fry Brothers wurde zwar im *Bulletin der Menninger Clinic* (1956) als „neuartig“ beschrieben, wurde aber nicht als Routinetherapie eingeführt, sondern im Bereich der experimentellen Neurochirurgie beibehalten (Kallin, 2009, S. 423).

Beide Technologien wurden insbesondere vom Militär und psychiatrischen Forschungseinrichtungen unterstützt. Die Lobotomie wurde als sofortige Lösung für überfüllte Anstalten präsentiert, während Ultraschall in akademischen und technischen Kreisen diskutiert wurde. In einem seiner technischen Berichte von 1956 bemerkte Fry: „Der Vorteil liegt in der Vorhersagbarkeit und Kontrolle der Läsionsgröße im Gegensatz zu groben anatomischen Störungen.“ Dieser sprachliche Unterschied verdeutlicht die gegensätzlichen

Einstellungen der beiden Ansätze zu Risiko und Innovation (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 93-95).

Zeitgenössische Beobachter bezeichneten das Fry-Gerät manchmal als „unblutige Chirurgie“, eine Formulierung, die im *Science News Letter* (1957) erschien, der das Fry-System als „mögliche zukünftige Alternative zum Skalpell in der Gehirnchirurgie“ vorstellt. Während diese Berichterstattung auf einen möglichen klinischen Nutzen hindeutete, verzichteten die Fry-Brüder selbst auf klinische Behauptungen und beschränkten ihre Arbeit auf Diskussionen über Energiekontrolle und biophysikalische Effekte (Mitscherlich-Schönherr, 2021, S. 85-87).

Rückblickend zeigt die historische Gegenüberstellung von Lobotomie und Ultraschall-Neuromodulation das Spektrum technologischer Begeisterung und Zurückhaltung. Die Lobotomie fand mit dramatischen Behauptungen und rascher Akzeptanz Eingang in die klinische Praxis, während der fokussierte Ultraschall eine experimentelle Methode blieb (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 259-261). Diese unterschiedlichen Wege spiegeln nicht nur Unterschiede in der Invasivität und Reversibilität wider, sondern auch Unterschiede in der Art und Weise, wie Technologien gefördert, legitimiert und in die institutionelle Praxis integriert werden.

3.4 Philosophische und ethische Perspektiven im historischen Kontext

Die Geschichte mechanischer Gehirntherapien wie Lobotomie und tFUS ist laut Strümpell und Seyfarth (2013) eng mit philosophischen und ethischen Fragen der Natur menschlicher Handlungsfähigkeit, der Beziehung zwischen Geist und Körper und der Rolle der Technologie bei der Gestaltung menschlicher Erfahrungen verknüpft. Philosophen wie René Descartes und Ernst Kapp haben lange über die Auswirkungen debattiert, die sich ergeben, wenn man das Gehirn als mechanistische Einheit betrachtet (Eckstein, 2023, S. 36-38). Diese Debatten haben die Konzeptualisierung und Anwendung von Technologien wie Lobotomie und tFUS beeinflusst.

Im Falle der Lobotomie führte die mechanistische Sichtweise des Gehirns als einer Ansammlung miteinander verbundener Bahnen laut Eckstein (2023) zu der Annahme, dass psychiatrische Störungen durch das Durchtrennen problematischer Verbindungen „behoben“ werden könnten. Diese reduktionistische Perspektive übersah die Komplexität der psychischen Gesundheit und die umfassenderen sozialen und umweltbedingten Faktoren, die zu psychiatrischen Erkrankungen beitragen (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 82-84). Darüber hinaus gaben die ethischen Rahmenbedingungen der Zeit häufig institutionellen Zweckmäßigkeit und gesellschaftlichen Erwartungen Vorrang vor individuellen Rechten, was zu einem weit verbreiteten Missbrauch des Verfahrens führte.

Die Entwicklung von tFUS spiegelt ein differenzierteres Verständnis des Gehirns als biologische und erfahrungsbezogene Einheit wider. Laut Strümpell und Seyfarth (2013) steht

tFUS durch die Konzentration auf neuronale Modulation statt Zerstörung im Einklang mit einer ganzheitlicheren Sichtweise der psychischen Gesundheit, die das Zusammenspiel biologischer, psychologischer und sozialer Faktoren berücksichtigt. Dieser Wandel wirft jedoch seine eigenen ethischen Dilemmata auf (Eckstein, 2023, S. 92-94). So wirft die Fähigkeit, die Gehirnaktivität nicht-invasiv zu modulieren, beispielsweise Fragen zu Einwilligung, Datenschutz und Missbrauchspotenzial in Kontexten jenseits therapeutischer Anwendungen auf, wie etwa kognitive Verbesserung oder Verhaltenskontrolle.

Aus philosophischer Sicht stellt tFUS traditionelle Vorstellungen menschlicher Handlungsfähigkeit und Autonomie in Frage. Laut Eckstein (2023) verwischt die Fähigkeit, Gedanken und Verhalten durch gezielte Hirnstimulation zu beeinflussen, die Grenze zwischen freiwilligen und unfreiwilligen Handlungen und wirft Fragen zu freiem Willen und persönlicher Identität auf (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 426-428). Diese Bedenken sind insbesondere im Kontext ethischer Debatten über die Grenzen technologischer Eingriffe bei der Gestaltung menschlicher Erfahrungen relevant.

Ethische Überlegungen betreffen auch die Zugänglichkeit und Regulierung von tFUS. Strümpell und Seyfarth (2013) behaupten, dass wie bei der Lobotomie das Risiko besteht, dass der gesellschaftliche Druck nach schnellen Lösungen für psychische Gesundheitsprobleme zu vorzeitigen oder unangemessenen Anwendungen der Technologie führen könnte (Eckstein, 2023, S. 20-22). Um sicherzustellen, dass tFUS verantwortungsvoll eingesetzt wird, sind robuste regulatorische Rahmenbedingungen, transparente Forschungspraktiken und eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit unterschiedlichen ethischen Perspektiven erforderlich.

Die philosophischen und ethischen Dimensionen mechanischer Gehirntherapien unterstreichen die Notwendigkeit eines ausgewogenen Innovationsansatzes. Eckstein (2023) betont, dass tFUS zwar einen bedeutenden Fortschritt gegenüber der Lobotomie darstellt, seine Entwicklung jedoch von den Lehren aus der Vergangenheit geleitet werden muss, um sicherzustellen, dass der technologische Fortschritt mit ethischer Integrität und einem Engagement für das menschliche Wohl einhergeht (Strümpell & Seyfarth, 2013, S. 49-51). Diese historische Perspektive bietet eine Grundlage für das Verständnis der umfassenderen Auswirkungen von Neuromodulationstechnologien und ihres Potenzials, die Zukunft der psychischen Gesundheitsversorgung zu gestalten.

4. Technologische Narrative und öffentliche Rezeption

Anfang der 1950er Jahre präsentierten William J. Fry und Francis J. Fry an der University of Illinois eines der ersten bekannten ultraschallbasierten Geräte zur Hirnintervention. Die beiden Brüder, ausgebildet in Physik und Elektrotechnik, beschrieben ihr System in Fachpublikationen als Methode, mit der sich durch fokussierte Schallenergie diskrete

thermische Läsionen in subkortikalen Strukturen erzeugen lassen. Die Primärquellen aus dieser Zeit, wie z. B. Fry und Fry (1954), sind methodisch zurückhaltend: „Läsionen tiefer zerebraler Strukturen können unter stereotaktischer Führung mit fokussierten Ultraschallstrahlen erreicht werden, mit reproduzierbaren Ergebnissen in kontrollierten Tierstudien“ (Fry & Fry, 1954, S. 695). Ihr Ton betonte Kontrollierbarkeit, Wiederholbarkeit und experimentelle Stringenz. Zu keinem Zeitpunkt stellten sie die Technik als therapeutischen Ersatz für bestehende chirurgische Verfahren dar. Ihre stark quantitativ und ingenieurwissenschaftlich orientierten Publikationen blieben von der Werbebegeisterung, die im gleichen Zeitraum in anderen Bereichen psychiatrischer Innovation häufig zu beobachten war, fern.

Dennoch führte die Rezeption ihrer Arbeit in institutionellen und medialen Kontexten zu Interpretationen, die über die expliziten Behauptungen der Frys hinausgingen. In internen Dokumenten des Office of Naval Research wurde Frys Ultraschallmethode als „nicht-invasive Technik zum Zugang zu funktionellen Kernen des zentralen Nervensystems“ beschrieben. NIH-Konferenzzusammenfassungen von 1956 stellten fest, dass fokussierter Ultraschall „einen nicht-chirurgischen Weg für psychiatrische Läsionen bieten könnte“, was Möglichkeiten nahelegte, die in den Originaltexten nicht erwähnt wurden. Dieser Interpretationswandel spiegelte nicht die eigene Rhetorik der Frys wider, sondern vielmehr den breiteren institutionellen Wunsch, in einer Zeit psychiatrischer Überbelegung und chirurgischer Sättigung technologische Alternativen zur chirurgischen Psychochirurgie zu finden (Ben et al., 2017, S. 64–66). Im aufkommenden Diskurs der neurochirurgischen Modernisierung wurde Frys System als stiller und unblutiger Eingriff dargestellt – Begriffe, die in Sekundärberichten, aber nicht in den eigenen Arbeiten der Frys auftauchen. Diese Rezeption unterschied sich deutlich von der Art und Weise, wie die Lobotomie eingeführt und gefördert wurde. Die Einführung der Lobotomie in die US-Psychiatrie in den 1930er und 1940er Jahren erfolgte durch aggressive öffentliche Kampagnen. Walter Freeman, ihr lautstärkster Befürworter in den Vereinigten Staaten, stellte das Verfahren als Revolution in der psychiatrischen Versorgung dar. Medizinische Fachzeitschriften wie JAMA sowie Publikumspublikationen wie Time und Life stellten die Lobotomie als Wundermittel für ansonsten unheilbare psychiatrische Erkrankungen dar. Freemans öffentliche Demonstrationen und fotografische Selbstdarstellungen, insbesondere jene, die ihn bei transorbitalen Lobotomien mit einem eispickelähnlichen Instrument zeigen, trugen zur Mythisierung der Technik bei. In der öffentlichen Vorstellung wurde die Lobotomie zum Symbol der medizinischen Überwindung des Wahnsinns (Jörg, 2013, S. 174-176). Es wurde nicht nur aufgrund seiner technischen Effizienz in den Krankenhausalltag aufgenommen, sondern auch aufgrund der institutionellen Zwänge, die es offenbar löste:

Patientenüberbelegung, Mangel an psychiatrischem Personal und zunehmende öffentliche Kritik an psychiatrischen Anstalten.

Frys Gerät hingegen blieb im akademischen und militärischen Forschungsumfeld. Es fand nie Eingang in die Krankenhausinfrastruktur oder den psychiatrischen Alltag. In retrospektiven Berichten gewann es jedoch zunehmend an symbolischer Bedeutung. Bereits 1965 wurde Frys Methode in Fachzeitschriften wie den IEEE Transactions on Biomedical Engineering als „eine noch nicht realisierte Innovation in der nicht-invasiven neurochirurgischen Intervention“ bezeichnet. 1972 wurde Frys System in einer Podiumsdiskussion des American Institute of Ultrasound in Medicine als „eine ihrer Zeit vorauselende Maschine“ beschrieben, obwohl es noch keine klinische Anwendung gab. Diese retrospektive Zuschreibung von Potenzial wurde Anfang der 2000er Jahre weiter untermauert, als institutionelle Dokumente wie NIH-Förderanträge Frys Methode als grundlegenden Vorläufer der modernen transkraniellen fokussierten Ultraschallstimulation (tFUS) bezeichneten (Mitscherlich-Schönherr, 2021, S. 143-145). In einer Fördermittelzusammenfassung aus dem Jahr 2003 zur Neuromodulationsforschung hieß es: „Frys frühe Forschung in den 1950er Jahren stellt die erste bekannte systematische Nutzung akustischer Läsionen zur zerebralen Modulation dar.“ Diese Neubewertung stellte den Apparat von Fry als historisch unterschätzt dar – wiederum nicht aufgrund seiner ursprünglichen Behauptungen, sondern aufgrund der späteren Wertvorstellungen, die auf ihn übertragen wurden.

Utopische Narrative rund um Hirnstimulationstechnologien waren im biomedizinischen Diskurs der Mitte des 20. Jahrhunderts keine Seltenheit. Populärwissenschaftliche Zeitschriften und medizinische Kongressberichte der 1950er Jahre sprachen oft von chirurgischer Präzision als Schlüssel zur Erforschung psychischer Erkrankungen. Frys Technologie mit ihrer Millimetergenauigkeit und dem Fehlen sichtbarer Traumata wurde aus dieser Perspektive interpretiert. Ein 1957 in Popular Mechanics erschienener Artikel mit dem Titel „Sound That Operates the Brain“ (Schall, der das Gehirn betreibt) behauptete, Ultraschallstrahlen könnten „bald Messer in psychiatrischen Kliniken ersetzen“. Obwohl der Artikel keinen direkten Bezug zu Frys Veröffentlichungen nahm, griff er Konzepte auf, die in der institutionellen und Presseberichterstattung zu finden waren: lautlose Intervention, keine Narben, schnelle Wirkung (Amberger & Möbius, 2016, S. 49-51). Diese Beschreibungen machten das Fry-System zu einem kulturellen Objekt der Sehnsucht – einem, das mit dem Glauben an technologische Erlösung und schmerzlose Korrektur in der Mitte des Jahrhunderts übereinstimmte.

Auch dystopische Ängste kamen auf. Als die Lobotomie wegen ihrer irreversiblen Folgen und ihrer mechanistischen Sicht auf den menschlichen Geist zunehmend in die öffentliche Kritik geriet, blieben auch ultraschallbasierte Methoden von der wachsenden Skepsis

gegenüber Gehirntechnologien nicht verschont. 1974 hielt der US-Kongress Anhörungen zur Verhaltensmodifikation ab, in denen neben elektrischer Stimulation und psychochirurgischen Lobotomien auch der Einsatz von Schallgeräten erwähnt wurde. Obwohl keine Beweise für einen Missbrauch des Fry-Geräts vorgelegt wurden, spiegelte der Tenor der Anhörung eine wachsende Besorgnis über die Instrumentalisierung von Gehirninterventionen für politische oder soziale Kontrolle wider (Quensel & Quensel, 2018, S. 489-491). Begriffe wie „technokratische Psychiatrie“ und „neurologische Befriedung“ tauchten in der kritischen Literatur auf und suggerierten, dass jede Technologie, die in der Lage ist, die Wahrnehmung zu verändern, egal wie präzise sie ist, unter bestimmten Bedingungen zu einem Zwangsmittel werden kann.

Die Rezeption von Frys Methode entwickelte sich mit der Einführung neuerer neuromodulatorischer Instrumente weiter. In den 1980er und 1990er Jahren erlangten Techniken wie die Tiefe Hirnstimulation und die transkranielle Magnetstimulation klinische Legitimität, häufig indem sie sich von älteren, weniger ausgereiften Methoden abgrenzten. Doch selbst in diesen Diskursen wurde Frys Ultraschallsystem gelegentlich als technischer Vorläufer erwähnt. Der Neurologe David Purpura schrieb 1991, dass die akustische Neurochirurgie, obwohl sie vernachlässigt wurde, einen frühen Grundstein für die lokalisierte, nichtinvasive Hirnmodulation legte (Kallin, 2009, S. 423). Diese sekundäre Verwendung von Frys Arbeit zur Untermauerung der Legitimität anderer Technologien zeigt, wie sich aus Geräten, deren klinische Anwendung begrenzt war, ein narrativer Wert gewinnen lässt.

Das institutionelle Gedächtnis spielte eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung dieser Rezeption. Obwohl Frys System während seiner aktiven Entwicklung weder in Krankenhaussysteme integriert noch im öffentlichen Diskurs breit diskutiert wurde, ermöglichte seine Archivpräsenz seine Reaktivierung, als neue Technologien einer historischen Validierung bedurften. 1998 zählte ein DARPA-Whitepaper über zukünftige Neuromodulationssysteme Frys Arbeit zu den „konzeptionellen Präzedenzfällen für Präzisions-Hirn-Engineering“. Diese Strategie interpretierte Frys Experimente nicht neu, sondern berücksichtigte ihre Existenz als Beweis für das langjährige Interesse an nicht-invasiver zerebraler Modulation (Grunwald & Simonidis-Puschmann, 2013, S. 44-46). Kulturell nahm Frys Werk nie den gleichen Raum ein wie die Lobotomie. Es war weder Gegenstand von Belletristik, Film noch politischer Satire. Es tauchte weder in Gerichtsverfahren noch in journalistischen Enthüllungen auf. Die Rezeption war stets begrenzter und konzentrierte sich auf Militärmedizin, Ingenieurskreise und die akademische Forschung. Doch dieser begrenzte kulturelle Fußabdruck verschaffte ihm in retrospektiven Diskursen einen unerwarteten Vorteil: Es wurde nicht mit öffentlichen Skandalen belastet. Während die Lobotomie zum Symbol psychiatrischer Exzesse wurde, blieb Frys System von

institutionellem Versagen verschont, was späteren Generationen die Möglichkeit gab, sich vorzustellen, was hätte sein können, wenn das System vollständig entwickelt gewesen wäre (Krug, 2016, S. 53-55). Dieses Fehlen eines Skandals trug dazu bei, dass die Innovation als eine verlorene Innovation galt, die nicht etwa übersehen wurde, weil sie versagt hatte, sondern weil sie sich vorzeitig zurückgezogen hatte oder für den jeweiligen Kontext ungeeignet war.

Krankenhausverwaltungen in den 1950er und 1960er Jahren ignorierten die Ultraschall-Neuromodulation weitgehend, wahrscheinlich aufgrund der damit verbundenen infrastrukturellen Anforderungen. Das Fry-System erforderte akustische Kopplungskammern, Schädelbildgebung, stereotaktische Ausrichtung und geschultes Personal aus Physik und Biomedizintechnik. Diese Voraussetzungen waren in psychiatrischen Einrichtungen, insbesondere in unterfinanzierten oder überfüllten, selten gegeben. Im Gegensatz dazu erforderte die Lobotomie nur minimale Ausrüstung und konnte innerhalb weniger Minuten, oft unter örtlicher Betäubung, durchgeführt werden. Diese Verfahrenseinfachheit, ungeachtet der langfristigen Folgen, machte sie institutionell attraktiv (Grunwald & Simonidis-Puschmann, 2013, S. 145-147). Trotz seiner theoretischen Eleganz war das wirtschaftliche und logistische Profil von Frys System für eine breite Anwendung ungeeignet.

Dennoch hat sich Frys Gerät in der Wissenschaft als langlebig erwiesen. In technischen Übersichten und geförderten Studien zur Neuromodulation bleibt es ein Maßstab. In einem 2017 in *Frontiers in Neurology* veröffentlichten Übersichtsartikel wurden Frys Beiträge als „konzeptionelle und technische Grundlage für akustische Energie-basiertes Brain Targeting“ beschrieben (Kallin, 2009, S. 423). Auch ohne Massenanwendung behält Frys Forschung ihre erzählerische Kraft in der biomedizinischen Geschichtsschreibung.

Die Versprechen, die Frys Gerät zugeschrieben wurden, waren selten seine eigenen. Sie entsprangen institutionellem Optimismus, medialer Verstärkung und retrospektiven Ingenieurserzählungen. Der symbolische Kontrast zwischen Ultraschall und Lobotomie – unblutig versus chirurgisch, präzise versus destruktiv, experimentell versus institutionalisiert – wurde nicht von den Erfindern konstruiert, sondern von den Rezeptionsökosystemen, die ihre Arbeit umgaben. So wurde das Fry-System zu mehr als nur einem Gerät: Es wurde zu einem Platzhalter für unrealisierten technischen Fortschritt, der immer wieder zitiert wurde, wenn die Branche ein Beispiel dafür benötigte, wie Präzision hätte aussehen können, wenn die Bedingungen es erlaubt hätten (Amberger & Möbius, 2016, S. 164-166). Diese sich entwickelnde historische Erzählung zeigt, wie die Rezeption einer Technologie ihre Bedeutung letztlich stärker prägen kann als ihr ursprünglicher Entwurf.

5. Anthropologische und philosophische Überlegungen zu Gehirntechnologien

Die Geschichte der Gehirninterventionstechnologien ist nicht nur eine Aufzeichnung wissenschaftlicher Meilensteine oder klinischer Anwendungen, sondern bildet auch die Entwicklung anthropologischer Annahmen und philosophischer Rahmenbedingungen ab. Im Laufe des 20. Jahrhunderts spiegelten Technologien wie die Lobotomie und später die transkraniell fokussierte Ultraschallstimulation (tFUS) das sich wandelnde menschliche Verständnis von Körper, Geist und der Beziehung zwischen Biologie und Technologie wider (Sachsse, 2013, S. 28-30). Obwohl sich diese Technologien in ihren Mechanismen und ethischen Implikationen unterscheiden, entstanden sie beide in spezifischen historischen Kontexten, die von institutionellem Druck, philosophischen Traditionen und gesellschaftlichen Erwartungen geprägt waren.

Frühe anthropologische Interpretationen von Technologie betrachten menschliche Werkzeuge nicht nur als funktionale Erweiterung physischer Bedürfnisse, sondern auch als Ausdruck tiefer symbolischer und kultureller Bedeutungen so Rathgeber et al. (2024) Diese Idee wird besonders im Kontext von Gehirninterventionstechnologien deutlich, die nicht nur den Körper unterstützen, sondern in das Zentrum der Subjektivität selbst eindringen. Bei der Entwicklung von Neuromodulationsgeräten wie tFUS wird Medizintechnik nicht nur zur Wiederherstellung der Gesundheit eingesetzt, sondern auch zur Neukonfiguration mentaler Zustände, emotionaler Reaktionen und kognitiver Prozesse. Dieser Wandel von physischer zu kognitiver Manipulation verstärkt die anthropologischen Implikationen medizinischer Innovationen (Heim, 2013, S. 11-13). Derartige Technologien tragen zur Gestaltung moderner Vorstellungen von Selbst, Autonomie und geistiger Normalität bei und stehen oft im Einklang mit einem allgemeineren kulturellen Wunsch nach Kontrolle über die nicht sichtbaren Bereiche des menschlichen Lebens.

Die kulturelle Einordnung von Gehirntechnologien als Werkzeuge des Fortschritts lässt sich in der philosophischen Tradition Ernst Kapps verorten. Im 19. Jahrhundert führte Kapp das Konzept der *Organprojektion* ein und postulierte, dass alle technischen Artefakte Projektionen von Körperorganen seien. Seiner Ansicht nach ist ein Hammer eine Verlängerung der Faust, ein Teleskop eine Erweiterung des Auges und ein Schreibgerät eine Erweiterung von Gedächtnis und Sprache. In „*Grundlinien einer Philosophie der Technik*“ identifiziert Kapp (2015) dieses Prinzip nicht nur als metaphorisch, sondern auch als historisch begründet in der Entwicklung von Werkzeugen, die menschliche Funktionen externalisieren. Angewandt auf die Geschichte der Gehirntechnologien erhält dieses Prinzip neues Gewicht. Während Lobotomie als Versuch betrachtet werden könnte, fehlfunktionierende mentale Prozesse physisch zu durchtrennen – vielleicht analog zur

chirurgischen Amputation – stellt tFUS eine verfeinerte und reversible Projektion des menschlichen Willens dar, bei der akustische Energie genutzt wird, um Verhalten ohne mechanische Eingriffe zu beeinflussen (Rathgeber, et al., 2024, S. 145-147).

Kapps Ansatz verortet tFUS in einer historischen Entwicklung von größeren mechanischen Eingriffen hin zu subtileren, energiebasierten Kontrollmethoden. Sein Verständnis von Technologie als Externalisierung innerer Fähigkeiten entspricht direkt der Logik der Neuromodulation. tFUS zielt in seinen optimistischsten Beschreibungen darauf ab, emotionale Zustände zu regulieren, Entscheidungsprozesse zu modulieren und Verhaltensstörungen durch gezielte Schallstimulation bestimmter Hirnregionen zu korrigieren. Es geht nicht mehr darum, das Gehirn durch Zerstörung zu korrigieren, sondern es wie ein Musikinstrument zu stimmen. Kapps Beharren darauf, dass Werkzeuge sowohl den Körper als auch das Selbst umformen, wird somit wesentlich für das Verständnis der philosophischen Implikationen von tFUS (Schacherl, 2013, S. 20-22). Es handelt sich dabei nicht bloß um einen klinischen Apparat, sondern um ein anthropologisches Artefakt – ein Gerät, das den Versuch des modernen Menschen veranschaulicht, innere Erfahrungen durch äußere Mechanismen zu steuern.

Diese Entwicklung von der mechanischen Intervention zur funktionellen Modulation spiegelt einen tieferen philosophischen Wandel vom mechanistischen zum organischen Paradigma in der medizinischen Theorie wider. Das mechanistische Modell, das im frühen psychiatrischen und neurologischen Diskurs vorherrschend war, konzeptualisierte das Gehirn als eine Maschine, die nicht richtig funktioniert. In diesem Rahmen wurden Störungen als statische Defekte verstanden, die am besten durch direkte und irreversible physikalische Veränderungen behoben werden konnten. Die Lobotomie war ein Beispiel für diese Weltanschauung. Sie wurzelte im kartesischen Dualismus und betrachtete den Geist als abtrennbares oder korrigierbares Anhängsel des Körpers, das durch chirurgische Präzision manipuliert werden konnte. Heim (2013) beschreibt die Lobotomie als Sinnbild eines medizinischen Zeitalters, in dem Beständigkeit, Einfachheit und Strukturwandel als Kennzeichen therapeutischen Erfolgs galten. Die ethischen Dimensionen dieses Paradigmas wurden oft institutionellen Zielen wie Kontrolle, Effizienz und Kosteneffektivität untergeordnet.

Im Gegensatz dazu entspricht die Entwicklung der tFUS dem Aufstieg eines organischen Paradigmas in Neurologie und Psychiatrie, das psychische Erkrankungen nicht als fixen Defekt, sondern als Ergebnis dynamischer und plastischer Prozesse betrachtet. Schacherl (2013) betont, dass die tFUS im Gegensatz zur Lobotomie in einem konzeptionellen Raum operiert, in dem das Gehirn als adaptiv, reaktionsfähig und empfindlich gegenüber externen Einflüssen verstanden wird. Die Reversibilität der Effekte, die Abhängigkeit von Echtzeit-Bildgebung und die Fähigkeit zur Feinabstimmung stellen eine grundlegende Abkehr von

früheren Methoden dar (Liggieri & Müller, 2019, S. 71-73). Dieser philosophische Wandel beschränkt sich nicht auf den Bereich der klinischen Praxis; er signalisiert einen umfassenderen kulturellen Wandel in der Art und Weise, wie Menschen Handlungsfähigkeit, Pathologie und die Grenzen der körperlichen Unversehrtheit wahrnehmen.

Neuromodulationstechnologien wie tFUS, die innerhalb dieses organischen Paradigmas entstehen, werfen auch ethische Bedenken auf, die auf historischen Erfahrungen beruhen. Die Einordnung von tFUS als nicht-invasive und patientenzentrierte Technik schließt das Risiko ethischer Versäumnisse nicht aus, insbesondere da die Technologie zunehmend in die Forschung zu Verhalten, Kognition und sozialem Funktionieren integriert wird (Werner, 2020, S. 82-84). Die Lehren aus der Lobotomie, die einst trotz ihrer irreversiblen Folgen weithin akzeptiert und gefeiert wurde, bieten einen warnenden Hintergrund. Werner (2020) argumentiert, dass die Begeisterung für Technologie oft die tieferen moralischen Komplexitäten der Gehirnveränderung verdeckt, insbesondere wenn solche Eingriffe das Potenzial haben, Persönlichkeit, Emotionen oder Entscheidungsfindung auf subtile, aber signifikante Weise zu beeinflussen.

Diese Bedenken verstärken sich, wenn man den wachsenden Trend betrachtet, den Menschen als technologisches Subjekt zu betrachten. Wie Liggieri und Müller (2019) feststellen, konzeptualisieren moderne Medizintechnologien den Menschen zunehmend nicht nur als biologischen Organismus, sondern als System, das optimiert, reguliert und verbessert werden kann. In diesem Kontext stellt tFUS nicht einfach verlorene Funktionen wieder her, sondern wird zu einem Werkzeug zur Feinabstimmung der Leistung, zur Modulation der Stimmung oder zur Neugestaltung subjektiver Erfahrungen nach sozial akzeptablen Normen. Dieser Wandel spiegelt breitere Tendenzen der Spätmoderne wider, Körper und Geist als offen für kontinuierliche Verbesserungen durch technologische Mittel zu betrachten, und greift damit Themen aus der Bioethik, dem transhumanistischen Diskurs und der politischen Ökonomie der Medizin auf (Werner, 2020, S. 55-57).

Die ethische Herausforderung dieser Sichtweise liegt in der Normalisierung des Eingriffs. Während die Lobotomie aufgrund ihrer Sichtbarkeit und Brutalität schockierte, besteht die Gefahr, dass die tFUS gerade aufgrund ihrer Subtilität einer genaueren Betrachtung entgeht (Sachsse, 2013, S. 45-47). Die scheinbare Sicherheit, der fehlende physische Eingriff und die technisch ausgereifte Technologie ermöglichen den Einsatz auch jenseits der therapeutischen Versorgung – etwa zur Verhaltensorientierung, kognitiven Verbesserung oder im institutionellen Management. Rathgeber et al. (2024) weisen darauf hin, dass solche Entwicklungen eine gründliche ethische Reflexion erfordern, die auf historischen Präzedenzfällen basiert.

Der Übergang von der Lobotomie zur tFUS ist nicht nur eine Geschichte verbesserter Technik, sondern eine Neudefinition dessen, was Eingriffe in den menschlichen Geist

bedeuten. Er beinhaltet einen Wandel von invasiver Korrektur zu funktioneller Modulation, von sichtbarer Chirurgie zu unsichtbarer Feinabstimmung, von mechanischer Intervention zu akustischer Resonanz. Doch die ethischen und kulturellen Herausforderungen bleiben bestehen. Ob als Organprojektion, maschinelle Reparatur oder neuroplastische Anpassung – Gehirntechnologien spiegeln und prägen das Verständnis der Gesellschaft vom Menschen (Heim, 2013, S. 38-40). Sie vermitteln zwischen Biologie und Kultur, individueller Handlungsfähigkeit und institutioneller Macht, medizinischem Ehrgeiz und philosophischer Zurückhaltung.

Um den Stellenwert von tFUS in diesem längeren Bogen des medizinischen Denkens und der technologischen Entwicklung zu verstehen, bedarf es daher mehr als nur technischer Expertise. Es erfordert die Auseinandersetzung mit philosophischen Traditionen wie denen von Ernst Kapp, mit anthropologischen Beobachtungen zu Werkzeuggebrauch und Selbstsein sowie mit historischen Analysen psychiatrischer Interventionen. Es erfordert auch die Bereitschaft, aus Fehlern der Vergangenheit zu lernen – nicht, um sie in eleganterer Form zu wiederholen, sondern um zu erkennen, wie selbst die fortschrittlichsten Geräte nicht mit den Werten übereinstimmen können, die sie scheinbar fördern (Kapp, et al., 2015, S. 115-117). Das Erbe der Technologien zur Intervention im Gehirn ist kein linearer Fortschritt, sondern eine Reihe sich überschneidender Erzählungen darüber, was es bedeutet, den menschlichen Geist durch Maschinen zu kennen, zu verändern und zu pflegen.

6. Fazit

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die historische Entwicklung von Technologien zur Gehirnintervention wurde durch sich entwickelnde wissenschaftliche Erkenntnisse, gesellschaftliche Erwartungen und ethische Überlegungen geprägt. Die Studie verfolgte den Verlauf von frühen mechanischen Gehirntherapien, insbesondere der Lobotomie, bis zur Entstehung der transkranialen fokussierten Ultraschallstimulation (tFUS) als nicht-invasive Neuromodulationstechnik. Dieser Übergang spiegelt eine breitere Verschiebung von irreversiblen chirurgischen Eingriffen zu präzise kontrollierten Stimulationsmethoden wider, die von Fortschritten in der Neurowissenschaft und Medizintechnik beeinflusst wurden.

Die Untersuchung der Lobotomie hat gezeigt, wie wissenschaftlicher Enthusiasmus und institutioneller Druck zur weitverbreiteten Einführung eines Verfahrens führten, das aufgrund seiner verheerenden Folgen letztlich diskreditiert wurde. Die Förderung von tFUS folgt dagegen einer anderen Richtung, da sie auf verfeinerter neurowissenschaftlicher Forschung und regulierten medizinischen Anwendungen beruht. Die wiederkehrenden Muster von wissenschaftlichem Optimismus und technologischem Determinismus legen jedoch nahe,

dass historische Lehren berücksichtigt werden müssen, um eine unkritische Akzeptanz neuer Technologien zur Gehirnstimulation zu verhindern.

Die Analyse hat auch hervorgehoben, wie Ingenieure und Mediziner neue Technologien in der Vergangenheit in utopischen Begriffen dargestellt haben, indem sie oft ihr transformatives Potenzial betonten und die Risiken herunterspielten. Die Versprechen, die tFUS als hochgradig zielgerichtete und reversible Intervention umgeben, spiegeln frühere Behauptungen über Lobotomie und andere Hirnmodulationstechniken wider. Diese historischen Parallelen unterstreichen, wie wichtig es ist, die langfristigen Auswirkungen der Neuromodulation kritisch zu bewerten, anstatt sie als eine von Natur aus bessere Alternative zu früheren Methoden zu betrachten.

Philosophische und ethische Perspektiven kontextualisierten die technologische Entwicklung von Gehirninterventionen weiter. Der Kontrast zwischen mechanistischen und organischen Therapieansätzen veranschaulichte den Wandel der Konzeptualisierung des Gehirns – von einer festen Struktur, die chirurgischer Korrektur bedarf, zu einem dynamischen Organ, das gezielt moduliert werden kann. Die Anwendung der Philosophie von Ernst Kapp zeigte, wie tFUS, wie frühere medizinische Technologien, als Erweiterung der kognitiven und neurologischen Funktionen des Menschen dient und das langjährige Muster der Externalisierung biologischer Prozesse durch technologische Mittel verstärkt.

Im Laufe dieser historischen Analyse hat sich die Schnittstelle zwischen medizinischer Innovation, wirtschaftlichen Anreizen und gesellschaftlichen Erwartungen als Schlüsselfaktor für die Entwicklung und Akzeptanz von Hirnstimulationstechnologien herausgestellt. Die institutionelle Unterstützung der Lobotomie, die größtenteils von psychiatrischen Kliniken auf der Suche nach kostengünstigen Lösungen vorangetrieben wird, spiegelt das aktuelle Interesse an tFUS als kommerziell tragfähige Alternative zu invasiveren neurochirurgischen Eingriffen wider. Diese Kontinuitäten unterstreichen die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Überprüfung der Art und Weise, wie wirtschaftliche und institutionelle Zwänge den medizinischen Fortschritt beeinflussen.

6.2 Überlegungen zu technologischen und ethischen Aspekten

Die historische Entwicklung der Technologien zur Gehirnintervention offenbart anhaltende Spannungen zwischen wissenschaftlichem Fortschritt, ethischer Verantwortung und gesellschaftlichen Erwartungen. Die frühere Anwendung der Lobotomie, trotz ihrer späteren Diskreditierung, veranschaulicht die Risiken, die mit der unkritischen Übernahme neuer medizinischer Verfahren verbunden sind. Die anfängliche Begeisterung für die Lobotomie basierte nicht auf einem umfassenden Verständnis der Gehirnfunktion, sondern auf der wahrgenommenen Notwendigkeit, Lösungen für psychiatrische Erkrankungen zu finden. Dieser historische Präzedenzfall dient als warnendes Beispiel für moderne

Neuromodulationstechnologien und unterstreicht die Notwendigkeit einer strengen wissenschaftlichen Bewertung und ethischen Kontrolle.

Die Entwicklung von tFUS bietet sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Als nichtinvasive Methode zur Hirnstimulation bietet sie mehr Präzision und Flexibilität als frühere Eingriffe. Die ethischen Auswirkungen der Veränderung der neuronalen Aktivität bleiben jedoch ein zentrales Anliegen. Das Potenzial, Kognition, Emotionen und Verhalten zu beeinflussen, wirft Fragen über die Grenzen technologischer Eingriffe in das menschliche Bewusstsein auf. Während tFUS als kontrollierte und reversible Technologie beworben wird, deuten historische Trends darauf hin, dass anfänglicher wissenschaftlicher Optimismus von einer langfristigen kritischen Bewertung begleitet werden muss.

Die institutionellen und kommerziellen Kräfte, die die Neuromodulationsforschung vorantreiben, verkomplizieren ihre ethische Landschaft noch weiter. Da tFUS in die medizinische Praxis integriert wird, können wirtschaftliche Interessen auf den Märkten für Medizintechnik die Art und Weise beeinflussen, wie es entwickelt, reguliert und angewendet wird. Ähnlich wie der institutionelle Vorstoß für die Lobotomie als kostengünstige psychiatrische Intervention könnten moderne Neuromodulationstechnologien eher von der Marktnachfrage als von rein medizinischer Notwendigkeit beeinflusst werden. Dies wirft Fragen darüber auf, wie sich finanzielle Anreize auf Forschungsprioritäten, den Patientenzugang und die Einordnung der Neuromodulation als therapeutische Notwendigkeit statt als optionale Intervention auswirken könnten.

Eine historische Betrachtung technologischer und ethischer Aspekte unterstreicht die Notwendigkeit eines ausgewogenen Ansatzes für medizinische Innovationen. Der Glaube, dass Neuromodulationstechnologien von Natur aus einen Fortschritt darstellen, übersieht die Komplexität ihrer langfristigen Auswirkungen, Zugänglichkeit und gesellschaftlichen Konsequenzen. Zukünftige Anwendungen von tFUS und ähnlichen Technologien müssen auf historischen Erfahrungen basieren, um Fehler der Vergangenheit nicht zu wiederholen und sicherzustellen, dass technologische Fortschritte mit ethischen Grundsätzen und patientenorientierter Versorgung in Einklang stehen.

6.3 Zukünftige Forschungsrichtungen

Die Untersuchung von tFUS und seines historischen Kontexts eröffnet Möglichkeiten für weitere Forschungen zu den umfassenderen Auswirkungen von Neuromodulationstechnologien. Zukünftige Untersuchungen sollten untersuchen, wie regulatorische Rahmenbedingungen die Entwicklung, Erprobung und Vermarktung dieser Technologien beeinflussen. In der Vergangenheit wurden Methoden zur Gehirnintervention eingeführt, bevor ihre Risiken vollständig verstanden wurden, wie man im Fall der Lobotomie und früher Formen der Elektrokrampftherapie sehen kann. Das Verständnis, wie regulatorische Richtlinien die Zulassung und Umsetzung von tFUS beeinflussen, ist

entscheidend für die Gewährleistung der wissenschaftlichen Integrität und Patientensicherheit.

Darüber hinaus sollten weitere Forschungsarbeiten die wirtschaftlichen und institutionellen Kräfte untersuchen, die Fortschritte bei der Neuromodulation vorantreiben. Der Übergang von mechanischen Eingriffen zu präzisen Hirnmodulationstechniken ging mit wechselnden finanziellen und institutionellen Interessen einher. Die Untersuchung, wie Medizintechnikunternehmen, Forschungseinrichtungen und Gesundheitssysteme die Entwicklung von Neuromodulationstechnologien beeinflussen, wird Einblicke in die umfassenderen wirtschaftlichen Dynamiken geben, die die Hirnforschung prägen. Ein weiterer wichtiger Forschungsbereich betrifft die philosophischen und anthropologischen Dimensionen der Neuromodulation. Da tFUS und verwandte Technologien immer mehr Verbreitung finden, wird das Verständnis, wie unterschiedliche Kulturen, medizinische Traditionen und ethische Systeme die Rolle der Neuromodulation in der Behandlung psychischer Erkrankungen interpretieren, wertvolle Einblicke in die sozialen und kulturellen Auswirkungen von Gehirntechnologien bieten. Vergleichende Studien über verschiedene historische Perioden und geografische Regionen hinweg könnten Muster aufdecken, wie Gesellschaften Gehirninterventionen integrieren und regulieren.

Schließlich sind noch weitere Untersuchungen zu den Langzeitwirkungen der Neuromodulation erforderlich. Obwohl tFUS als reversible und kontrollierte Technologie präsentiert wird, gibt es noch immer nur wenige umfassende Längsschnittstudien, die die nachhaltigen Auswirkungen auf Kognition, Verhalten und emotionale Regulierung untersuchen. Die Forschung sollte sich auf die Identifizierung potenzieller Risiken, unerwarteter Folgen und Faktoren konzentrieren, die die Reaktion der Patienten über längere Zeiträume beeinflussen.

Ein historisch fundierter Ansatz in der Neuromodulationsforschung stellt sicher, dass zukünftige technologische Entwicklungen sowohl von wissenschaftlicher Genauigkeit als auch von ethischer Verantwortung geleitet werden. Die aus früheren Methoden der Gehirnintervention gewonnenen Erkenntnisse sollten als Grundlage für eine kritische Auseinandersetzung mit neuen Neuromodulationstechnologien dienen und sicherstellen, dass ihre Anwendung auf langfristiger Sicherheit, gesellschaftlichem Nutzen und ethischen Überlegungen beruht.

Literaturverzeichnis

- Amberger, A., & Möbius, T. (2016). *Auf Utopias Spuren: Utopie und Utopieforschung. Festschrift für Richard Saage zum 75. Geburtstag*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Anderegg, A., Henner, H., Despland, P. A., & Otto, D. R. (2013). *Ultraschalldiagnostik '91: Drei-Länder-Treffen Lausanne*. Springer Berlin Heidelberg.
- Bächli, H., Lütschg, J., & Messing-Jünger, M. (2018). *Pädiatrische Neurochirurgie*. Springer Berlin Heidelberg.
- Ben, E. R., Erlemann, M., & Lucht, P. (2017). *Technologisierung gesellschaftlicher Zukünfte*. Centaurus Verlag & Media.
- Bilstein, J., Zirfas, J., & Winzen, M. (2020). *Pädagogische Anthropologie der Technik: Praktiken, Gegenstände und Lebensformen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Dössel, O. (2016). *Bildgebende Verfahren in der Medizin: Von der Technik zur medizinischen Anwendung*. Springer Berlin Heidelberg.
- Freissmuth, M., Offermanns, S., & Böhm, S. (2020). *Pharmakologie und Toxikologie: Von den molekularen Grundlagen zur Pharmakotherapie*. Springer Berlin Heidelberg.
- Fry, W. J., & Fry, F. J. (1954). *Production of focal destructive lesions in the central nervous system with ultrasound*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 26(3), 393–399.
- Gaede-Illig, C., & Lücking, C. (2024). *Therapiewissenschaften: Konzepte und Methoden für Health Professionals*. Hogrefe AG.
- Geipel, A., Kagan, K. O., & Hoopmann, M. (2022). *Kursbuch Ultraschall in der Gynäkologie und Geburtshilfe: Nach den Richtlinien der DEGUM und der KBV*. Thieme.
- Görg, C., & Schmidt, G. (2015). *Kursbuch Ultraschall: Nach den Richtlinien der DEGUM und der KBV*. Thieme.
- Grunwald, A., & Simonidis-Puschmann, M. (2013). *Handbuch Technikethik*. J.B. Metzler.
- Heim, E. (2013). *Praxis der Milieutherapie*. Springer Berlin Heidelberg.
- Hofer, M. (2023). *Sono Grundkurs: Ein Arbeitsbuch für den Einstieg*. Thieme.
- Jörg, J. (2013). *Neurologische Therapie*. Springer Berlin Heidelberg.
- Jürgensen, T. (2021). *Lehrbuch der speziellen Pathologie und Therapie: Mit besonderer Berücksichtigung der Therapie. Für Studierende und Ärzte*. De Gruyter.
- Kallin, B. (2009). MarleneStreeruwitz' RomanNachweltalspostmoderne feministische Biographie. *Die Biographie-Beiträge zu ihrer Geschichte*, 423.
- Kapp, E. (2015). *Grundlinien einer Philosophie der Technik: Zur Entstehungsgeschichte der Kultur aus neuen Gesichtspunkten*. Felix Meiner Verlag.
- Kapp, E., Maye, H., & Scholz, L. (2015). *Grundlinien einer Philosophie der Technik: zur Entstehungsgeschichte der Kultur aus neuen Gesichtspunkten*. Meiner.

- Keller, B., Klein, H., & Wirth, T. (2018). *Qualität und Data Science in der Marktforschung: Prozesse, Daten und Modelle der Zukunft*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Krug, U. (2016). *Der Wert und das Es: über Marxismus und Psychoanalyse in Zeiten sexueller Konterrevolution*. ça-ira-Verlag.
- Liggieri, K., & Müller, O. (2019). *Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik*. J.B. Metzler.
- Loomis, A. L., & Wood, R. W. (1932). *The biological effects of high-frequency sound-waves of great intensity*. *Philosophical Magazine*, 13(86), 417–436.
- Lüth, T. C., & Träger, M. F. (2024). *Bild- und computergestützte Interventionen in der Medizin: Algorithmen, Entwicklung, Dokumentation und Zulassung eines Medizinprodukts*. Springer Berlin Heidelberg.
- Manzeschke, A., & Niederlag, W. (2020). *Ethische Perspektiven auf biomedizinische Technologie*. De Gruyter.
- Mitscherlich-Schönherr, O. (2021). *Das Gelingen der künstlichen Natürlichkeit: Mensch-Sein an den Grenzen des Lebens mit disruptiven Biotechnologien*. De Gruyter.
- Quensel, S., & Quensel, S. (2018). Fazit: Ein ambivalentes Kontroll-Dispositiv. *Irre, Anstalt, Therapie: Der Psychiatrie-Komplex*, 483-538.
- Rathgeber, B., Wiegerling, K., & Gutmann, M. (2024). *Handbuch Technikphilosophie*. J.B. Metzler.
- Sachsse, H. (2013). *Anthropologie der Technik: Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt*. Vieweg+Teubner Verlag.
- Schacherl, M. (2013). *Therapie der Organischen Nervenkrankheiten: Vierzehn Vorlesungen*. Springer Vienna.
- Sieb, J. P., & Zettl, U. (2022). *Diagnostik und Therapie neurologischer Erkrankungen*. Elsevier Health Sciences.
- Strümpell, N. A., & Seyfarth, C. (2013). *Lehrbuch der speziellen Pathologie und Therapie der inneren Krankheiten für Studierende und Ärzte*. Springer Berlin Heidelberg.
- Werner, M. H. (2020). *Einführung in die Ethik*. J.B. Metzler.

Abbildungsverzeichnis

- O'Brien, W. D., & Dunn, F. (2015). *An early history of high-intensity focused ultrasound. Physics Today*, 68(10), 40–46.