

Marc Strotmann

In Zwischenräumen

Eine wissenschaftssoziologische Analyse
neurotechnologischer Forschung

432 Seiten · broschiert · € 49,90

ISBN 978-3-95832-422-0

© Velbrück Wissenschaft 2025

Einleitung

»Das Leben liegt in den Zwischenräumen jeder lebenden Zelle und in den Zwischenräumen des Gehirns verborgen.«

(Whitehead 1987: 206)

Am 29. Januar 2024 war es endlich so weit: Der Multimilliardär und »Technikoptimist« (Tutton 2021) Elon Musk gab auf der ihm inzwischen selbst gehörenden Social-Media-Plattform X (früher *Twitter*) bekannt, dass es seinem Unternehmen *Neuralink* gelungen war, ein Gehirn-implantat in einen menschlichen Probanden einzusetzen (Drew 2024a). Musks Nachricht, fortan in der Lage zu sein, das von *Neuralink* produzierte Elektroden-System ins menschliche Gehirn zu implantieren, war von Wissenschaftler:innen¹ und Wissenschaftsjournalist:innen gleichermaßen erwartet wie befürchtet worden. Seit der 2016 erfolgten Gründung des Unternehmens hatte der Tesla-Erfinder mehrfach angekündigt, die Forschung an so bezeichneten *Brain-Computer-Interfaces (BCIs)* revolutionieren zu wollen. Dass *Neuralink* interne Studien mit Versuchstieren durchführt, war bekannt, wenngleich nur spärliche Informationen über die konkreten Studienprotokolle, die verwendete Technologie und die Ergebnisse der Experimente an die Öffentlichkeit gedrungen waren (Vance 2023). Musk spielte »Neuroscience Theater«, hielt der renommierte Wissenschaftsjournalist Antonio Regalado (2020) bissig fest, und habe wenig mehr vorzuweisen als das, was die jahrelange Forschung an Neurotechnologien längst ermöglicht habe. Die nur wenig später nach der Implantation erfolgte Mitteilung, dass der an der Studie von *Neuralink* teilnehmende Patient bereits in der Lage sei, mit seinen Gedanken einen Maus-Cursor zu steuern, wurde entsprechend ernüchtert (und keinesfalls bewundernd) von Neurowissenschaftler:innen registriert (Drew 2024b). Musks Statement entbehre noch immer relevanter Informationen über das experimentelle Vorgehen von *Neuralink* und liege weiter hinter der von ihm mantraartig vorgetragenen Vision zurück, eine über Gehirnimplantate vermittelte Symbiose zwischen Mensch und künstlicher Intelligenz (KI) herzustellen.

Im April 2024 veröffentlichte die ARD die vierte Staffel ihrer Serie *Charité*. Während sich die Vorläuferstaffeln an der wechselhaften

Geschichte einer der bekanntesten klinischen Einrichtungen Deutschlands und einiger ihrer wichtigsten historischen Persönlichkeiten (Robert Koch, Paul Ehrlich usw.) abgearbeitet hatte, wagt die aktuelle Produktion Neuland und führt ihre Zuschauer:innen in die Zukunft. Zur Charité gehört im Jahr 2049 u.a. die Abteilung Neurotechnologien, geleitet von Dr. Ferhat Williamson (gespielt von Timus Işık). Mit Hilfe von prothetischen Leggings ist es bewegungseingeschränkten Patient:innen wieder möglich zu gehen und ein neuronales Implantat sorgt dafür, dass epileptische Anfälle kontrolliert werden können. Auch depressive Stimmungen lassen sich durch eine veränderte Einstellung des *Gehirnchips* aufhellen. Im Zentrum der Forschung von Ferhat Williamson steht allerdings eine Gruppe von Patient:innen mit *Locked-In-Syndrom (LIS)*. Bis auf ihre Augen sind sie bewegungsunfähig, wenngleich bei wachem Bewusstsein. Durch die digitale Simulation einer Welt, dem *Cyberverse*, in der sich die Betroffenen virtuell bewegen können, soll die zur realen Bewegung notwendige mentale Aktivität wieder angeregt werden, sodass der Zustand einer nahezu vollständig eingeschränkten Motorik langsam überwunden werden kann. Als das Projekt zu scheitern droht und die zugesicherten Fördergelder abgezogen werden sollen, gelingt es einem der Patienten unerwartet nach jahrelanger Paralyse einen Finger zu regen.

Die medial wirkungsvollen Auftritte von Elon Musk und *Neuralink* sowie die populäre Darstellung der Serie *Charité* sind nur zwei Beispiele dafür, dass der Einsatz von Neurotechnologien in einer breiteren gesellschaftlichen Öffentlichkeit als eine vielversprechende Zukunftstechnologie präsentiert wird. Die Attraktion von Neurotechnologien geht von Vorstellungen aus, das menschliche Gehirn in naher Zukunft zu einem Gegenstand zu machen, welcher durch den Einfluss von miniaturisierten technologischen Objekten (Sensor- und Elektroden-technologien) und digitalisierten Forschungsmethoden zunehmend präziser vermessen und beeinflusst werden kann (Naddaf 2024; Roelfsema et al. 2018; Valeriani et al. 2022). Neurotechnologien haben sich seit Ende der 1990er-Jahre als ein experimentell verwendetes und klinisch genutztes Vorgehen etabliert, bei dem neuronale Aktivitäten des zentralen Nervensystems (ZNS) entweder durch die Aufzeichnung elektrischer Signale ausgelesen oder durch Stimulation moduliert werden können (Kübler 2020; Lebedev/Nicolelis 2017). Eine größere Aufmerksamkeit haben bislang *BCIs* und die Tiefe Hirnstimulation (THS) auf sich gezogen, wobei sie keineswegs das Spektrum und die Einsatzmöglichkeiten von Neurotechnologien abdecken (Nasr et al. 2022; Vázquez-Guardado et al. 2020; Vosskuhl et al. 2018). Allerdings stehen sie exemplarisch für die Entwicklung so bezeichneter *Interface-Methoden*, deren Einsatz zunächst auf überaus spezifische und ansonsten als austerapiert geltende Patient:innen-gruppen begrenzt gewesen war. Inzwischen werden mit Neurotechnologien weitreichendere und nicht auf einzelne Einsatzgebiete festgelegte

¹ Für eine gendergerechte Sprache verwende ich in dieser Arbeit in der Regel den Doppelpunkt (z.B. Patient:innen). Ausnahmen bilden dabei Wörter, die in dieser Form den Lesefluss stark beeinträchtigen (z.B. Forscherpersönlichkeit) oder Bezeichnungen, die beide Geschlechter einschließen (z.B. Mitglieder).

Chancen in der neurowissenschaftlichen Forschung, der klinischen Behandlung und der ingenieurwissenschaftlichen Technologieentwicklung antizipiert.

So uneinheitlich und vielfältig Neurotechnologien sind, so deutlich verweisen die Versuche, den bislang mit ihnen erzielten Nutzen einzuordnen und die noch nicht verwirklichten Chancen zu antizipieren, auf eine fragile Balance in der Bewertung aktueller wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen hin. Dabei ist bereits in der jüngeren Vergangenheit von der Wissenschafts- und Technikforschung² konstatiert worden, dass Wissenschaft und Technologie zunehmend an gesellschaftlichen Innovationen bemessen werden (Nowotny 2005; Nowotny et al. 2004; Passoth/Rammert 2016) und dass Innovationen wiederum verstärkt durch die Integration digitaler Medien in bestehende Wissensfelder zu erwarten sind (Davies et al. 2013; Kitchin 2014; Leonelli 2016). Neurotechnologische Methoden machen darauf aufmerksam, dass die Neurowissenschaften und die Neuromedizin diesbezüglich keine Ausnahme sind. Warum sollten sie das auch sein? Denn trotz der breiten Rezeption der Neurowissenschaften als einer neuen Leitwissenschaft um die Jahrtausendwende (Ehrenberg 2019; Hagner 2006; Heinemann 2012), wird das menschliche Gehirn weiterhin als eines der größten wissenschaftlichen Rätsel bezeichnet. Hinzukommt, dass neurologische und psychische Krankheiten vor allem in post-industriellen, alternden Gesellschaften eine enorme soziale und ökonomische Belastung darstellen (GBD 2021 Nervous System Disorders Collaborators 2024; Grisold 2024). Pharmakologische Behandlungen stecken in einer »Innovationskrise« (Dumit 2018; Langlitz 2022): Zu viele neurologische und psychische Störungen verlaufen chronisch und das mit ihnen verbundene Leid, insbesondere bei neurodegenerativen Krankheiten wie Parkinson, Demenz oder Multiple Sklerose, lässt sich bislang nicht effizient lindern. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass technologische Interventionen in das menschliche Gehirn als eine reale, ja gar eine wünschenswerte und faszinierende Möglichkeit von Wissenschaftler:innen, Forschungsnetzwerken, Kliniken, politischen Entscheidungsträger:innen und ambitionierten Tech-Unternehmen hervorgehoben werden. Dass der methodische Wert von Neurotechnologien, das Gehirn besser zu verstehen (Chang 2015; Moxon/Foffani 2015) und die mit ihnen verbundenen therapeutischen Versprechen, neue Behandlungsalternativen zu

2 Ich verwende die Bezeichnung Wissenschafts- und Technikforschung als einen Sammelbegriff für verschiedene sozial- und geisteswissenschaftliche Forschungsbereiche, die die Wechselbeziehung von Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft untersuchen. Zu ihnen gehören u.a. die Wissenschaftssoziologie und die *Science & Technology Studies*. Sofern ich spezifisch auf einen dieser Forschungsbereiche referiere, mache ich dies kenntlich.

eröffnen (Patel/Lieber 2019; Slutzky 2019; White et al. 2015), erst in Ansätzen verwirklicht werden konnten, tut der Zuversicht auf bevorstehende Innovationen keinen Abbruch. Allerdings ist die Euphorie, welche die Entwicklungen von Neurotechnologien begleitet, nicht zu lösen von *normativen Ungewissheiten* (Shapin 2008), welche die andere Seite der Medaille aktueller wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen abbilden und ihre fragile Balance begründen.

Die vorliegende wissenschaftssoziologische Arbeit interpretiert Neurotechnologien als einen Fall dafür, wie neu auftretende Wissensfelder sich zwischen verschiedenen etablierten wissenschaftlichen Disziplinen, Professionen sowie außerwissenschaftlichen Gesellschaftsbereichen wie der Politik, dem Recht und der Ökonomie ansiedeln. Sie kann dabei an eine Reihe von Arbeiten in der Wissenschafts- und Technikforschung anschließen, die die Emergenz von neuen Wissensfeldern als einen Gegenstand bestimmt haben (vgl. u.a. Bensaude-Vincent 2013, 2016; Biniok 2013; Dan-Cohen 2021; Kastenhofer 2020; Marcovich/Shinn 2014). Die Betonung der folgenden Analyse liegt auf dem *Dazwischen*: Forschungen, die wie diejenige an Neurotechnologien auf ein virulentes gesellschaftliches Problem reagieren (z.B. mentale Gesundheit), durch einen hohen Grad an Technisierung ausgezeichnet sind, weitere wissenschaftliche und technologische Innovationen herbeiführen, aber hinsichtlich ihrer sozialen Konsequenzen als »ungewiss« gekennzeichnet werden, finden in *sozioepistemischen Zwischenräumen* (Eyal 2013; Saner 2022) statt. Es ist eine der Ausgangsbeobachtungen dieser Arbeit, dass diese Verortung kein Nachteil ist. Im Gegenteil: Zwischenräumliche Konstellation ermöglichen einer Forschungspraxis, Verknüpfungen zwischen heterogenen Wissensbeständen herzustellen, Verbindungen mit außerwissenschaftlichen Akteur:innen und Institutionen einzugehen und zusätzliche Legitimationsinstanzen einzuholen, um das eigene Tun als innovativ und relevant zu rechtfertigen. Dennoch sind weder der Aufenthalt in Zwischenräumen noch der von ihnen ausgehende Wert voraussetzungslos: Im Dazwischen zu sein, verlangt den Akteur:innen, die sich dafür entscheiden, eine stetige *Arbeit am Selbst* (vgl. Bourdieu 1993a: 35) ab, die mit widersprüchlichen Anforderungen umzugehen hat und ein hohes Maß an Beweglichkeit notwendig werden lässt. Worin diese Arbeit am Selbst besteht, welche Anforderungen sie zu bewältigen hat und was sie über die Praxis und Organisation von Wissenschaft im Zeitalter von Innovationsverlangen und Verantwortungsbedürfnissen aussagt, ist Gegenstand dieser Arbeit.

1.1 Ausgangsbeobachtung: Die Hirnforschung baut um

Bevor ich aber im Genaueren auf die diese Arbeit leitende Problematik spreche, ist es hilfreich, kurz innezuhalten, um zu

vergegenwärtigen, wie eine Forschungspraxis und eine Behandlungstechnik, wie sie die Verwendung von Neurotechnologien darstellt, zu einem Gegenstand der Wissenschafts- und Technikforschung wird. Was macht sie aus einer sozialwissenschaftlichen Perspektive zu einer *Sache von Belang*? Zwei Antworten erscheinen naheliegend. Die erste Antwort besteht in einer kritischen Reflexion neurowissenschaftlicher Geltungsansprüche, das Denken, Fühlen und Handeln von Individuen und Kollektiven auf Grundlage des Wissens über das menschliche Gehirn erklären zu können. Dieser historisch bekannte Anspruch der Neurowissenschaften (Breidbach 1997; Hagner 2000; Vidal 2009) nimmt durch die wachsende Technisierung und Datafizierung der Hirnforschung neue Formen an (Brenninkmeijer 2016; Gardner 2017b; Moutaud 2016). Denn bereits die bisherigen Verwendungsmöglichkeiten von Neurotechnologien vermitteln einen Eindruck darüber, dass Wahrnehmungen, Stimmungen und Erinnerungsleistungen durch technologische Interventionen gezielt beeinflusst werden können. Seit es Neurowissenschaftler:innen in experimentellen Studien zu zeigen gelungen ist, dass nahezu vollständig paralysierten Patient:innen mittels der Aufzeichnung von Gehirnsignalen eine basale Kommunikation ermöglicht werden kann (Birbaumer et al. 1999; Kübler et al. 2001), und Neurochirurg:innen in der Behandlung von Bewegungsstörungen therapeutische Erfolge dadurch erzielen konnten, dass sie eine Reihe von Mikroelektroden gezielt tief ins Hirn implantieren (Benabid et al. 2009), werden die Entwicklungen neurotechnologischer Methoden durch sozialwissenschaftliche und ethische Reflexionen begleitet (Hildt 2009; Illes/Bird 2006; Müller et al. 2009; Dubiel 2006). Zumindest eine Zeit lang überschritten sich diese Reflexionen mit einer umfassenderen Kritik der Geistes- und Sozialwissenschaften an den vermeintlichen Erfolgen der jüngeren Hirnforschung.³ Während diese kritischen Auseinandersetzungen mit den Neurowissenschaften als eine intellektuelle Mode inzwischen weitestgehend vergangen sind, haben Fragen danach, ob der Einsatz von Neurotechnologien

3 Die Kritik der Sozial- und Geisteswissenschaften in den 2000er-Jahren richtete sich gegen einen verbreiteten neurobiologischen Reduktionismus, der zum einen durch populäre Arbeiten prominenter Neurowissenschaftler:innen (z.B. Antonio Damasio, Wolfgang Singer und Gerhard Roth) Aufmerksamkeit erzeugte (vgl. Heinemann 2012). Zum anderen sind gehirnbasierte Erklärungen menschlichen Handelns, Fühlens und Denkens durch die Rezeption neurowissenschaftlicher Thesen und Methoden in Bereichen wie u.a. den Wirtschaftswissenschaften, den Rechtswissenschaften und der Theologie beachtet worden. Vgl. u.a. Borck (2005), Hagner/Borck (2001), Ehrenberg (2019) Maasen/Sutter (2007), Vidal (2009) sowie Vidal/Ortega (2019). Die Beiträge in Choudhury/Slaby (2011) formulieren explizit das Projekt einer *Critical Neuroscience*. Für eine jüngere Auseinandersetzung mit der Kritik an den Neurowissenschaften vgl. die Arbeit von Eileen Wengemuth (2023).

das Verständnis darüber verändert, wie die Integrität individueller Gedanken und persönlicher Gefühle zu definieren und vor fremden Eingriffen zu schützen sind, nicht an normativer Dringlichkeit verloren (Goering et al. 2021; Goering/Yuste 2016; Kellmeyer 2019b).

Während die kritische Reflexion der Neurowissenschaften und ihrer technologischen Interventionsmöglichkeiten eine normative Bewertung darüber anstrebt, wie weit Forschung gehen darf, äußert sich eine zweite Antwort darin, den Kontakt zwischen Mensch und Technologie zu untersuchen und danach zu fragen, inwieweit technologische Innovationen das menschliche Selbstverständnis dauerhaft verändern (werden). Während die Neurowissenschaften um die Jahrtausendwende selbstbewusst eine bevorstehende Erkenntnis der »Biologie des Geistes« (Kandel 2008) vorhersagten, sind in den vergangenen Jahren die technologischen Voraussetzungen einer digitalen Verfügbarmachung kognitiver Leistungen, sinnlicher Wahrnehmungen und affektiver Gestimmtheiten durch die Hirnforschung zu einem Fluchtpunkt zukünftiger Erkenntnisfortschritte geworden (Bösel 2021; Maasen 2017; Rose 2016; Sharon 2014). Die Eingriffstiefe, mit der neurotechnologische Methoden unter die menschliche Haut gehen, auf sinnliche Wahrnehmungen und affektive Stimmungen einwirken und sie modulieren, offeriert einen paradigmatischen Fall dafür, in welcher Hinsicht sich subjektive Erfahrungen der Selbstheit, der Identität und der Verkörperung verändern, insbesondere vor dem Hintergrund einer zunehmenden Digitalisierung der sozialen Welt und einem Fortschreiten des Einflussvermögens, zu der KI fähig ist. Neurotechnologien haben ein anthropologisches und philosophisches Interesse darüber angeregt, die Stellung des Menschen in einer technologisch und digital durchdrungenen Welt neu zu deuten und dabei Fragen nach menschlicher Autonomie und Handlungsträgerschaft in Mensch-Maschinen-Interaktionen aufgeworfen (Friedrich/Seifert 2021; Müller 2010; Müller/Kellmeyer 2023; Şahinol 2016). Die Interpretationen reichen weit über einen technikoptimistischen Post-Humanismus à la Musk hinaus, welcher einfache Formeln einer »Symbiose« und »Hybridisierung« von Mensch und Maschine bedient. Wie sich eine intensive Relation menschlicher Individuen mit technologischen Dingen ereignet, welche Erfahrungen und Empfindungen der Selbst- und Fremdheit sie auslösen, sind bisher unterbestimmte und weiter zu untersuchende Dimensionen. Philosophisch reflektierte sowie sozialtheoretisch interessierte Perspektiven suchen diesbezüglich die Zusammenarbeit mit lebens- und technikwissenschaftlichen Forschungsgebieten und werden damit selbst zu Akteur:innen, die an der Beurteilung wissenschaftlicher und technologischer Innovationen beteiligt sind (Borck 2019; Smolka 2020).

Eine kritische Reflexion der normativen Voraussetzungen, unter denen sich technologische Innovationen in lebenswissenschaftlichen Wissensfeldern wie den Neurowissenschaften vollziehen und explorative

Untersuchungen, in welcher Hinsicht technische Neuerungen das menschliche Selbstverständnis wandeln und neue Erfahrungen der Selbst- und Fremdheit hervorbringen, sind zwei typische Strategien in den Sozial- und Geisteswissenschaften, auf wissenschaftliche und technologische Entwicklungen zu reagieren (Lakoff 2021). Ich habe keine Absicht, ihnen ihre Relevanz abzusprechen, gerade angesichts dessen, dass technologische Machbarkeiten, auf das menschliche Selbst und den Körper einzuwirken, permanent durch die Lebens- und Technikwissenschaften erweitert werden (Adam et al. 2015; Carolis 2009; Hörl 2011). Im Zuge der weiter voranschreitenden Digitalisierung sämtlicher Lebensbereiche und Erfahrungsweisen werfen technologische Innovationen und ihre Anwendung in lebenswissenschaftlichen Forschungsbereichen völlig neue Herausforderungen auf, wie die Beziehung zwischen Mensch und Technologie zu denken ist. Dennoch halte ich beide Antworten wissenschaftssoziologisch für unbefriedigend. Sie berücksichtigen kaum die Bedingungen und Konstellationen, die wissenschaftliche und technologische Neuheiten voraussetzen. Die Rezeption der Neurowissenschaften verdeutlicht diese Leerstelle bei genauerer Betrachtung überaus klar. Denn auch wenn sozial- und geisteswissenschaftliche Arbeiten zu neurowissenschaftlichen Feldern keinesfalls fehlen – wenngleich sie, ein wenig aus der Mode sind – und die (neuro-)ethische Literatur zu Neurotechnologien kaum noch überschaubar ist, so ist die Hirnforschung bisher als eine Wissenskultur kaum hinreichend analysiert worden. Dies trifft umso mehr unter dem Vorzeichen der technischen und datenzentrierten Vorgehensweisen zu, das menschliche Gehirn hinsichtlich seiner Funktionsweise zu erforschen, die den Neurowissenschaften aktuell einen neuen Schub verleihen (Dumit 2015; Mahfoud 2014). Es handelt sich um eine Bewegung, für die Neurotechnologien exemplarisch stehen, auch wenn sie nur einen Ausschnitt davon präsentieren, wie die Neurowissenschaften und an sie angrenzende Tätigkeitsbereiche seit ein paar Jahren hinsichtlich ihrer Forschungspraxis und Wissenschaftsorganisation materiell und infrastrukturell umgestaltet werden. Daher ziehe ich es in der vorliegenden Arbeit vor, die Forschung an Neurotechnologien hinsichtlich der Wandlungsbedingungen und den sich daraus ergebenden Dynamiken zu untersuchen, unter denen neue Wissensfelder auftreten und bestehende Verhältnisse zwischen epistemischen Kulturen und außerwissenschaftlichen Feldern rekonfiguriert werden.

Welche Wandlungsbedingungen stehen im Vordergrund, wenn die Neurowissenschaften als eine Wissenskultur in den Blick geraten und weniger hinsichtlich ihrer Erkenntnisse über das Gehirn und damit verbundenen Annahmen über das Denken, Fühlen und Handeln des Menschen beschrieben werden? Zwei Entwicklungen fallen auf, die Hinweise darauf geben, dass die Neurowissenschaften zuletzt eher als ein Wissensfeld umgebaut worden sind, als dass sie neue Erkenntnisse hervorgebracht hätten (ohne zu bezweifeln, dass die Neurowissenschaften

in den vergangenen Jahren eine Fülle neuen Wissens produziert haben): *Erstens* hat die Integration von Forschungstechnologien aus ingenieurwissenschaftlichen Fachbereichen, allen voran der Elektrotechnik, dazu geführt, dass Praktiken und Prinzipien des *Engineerings* einen immensen Bedeutungsaufschwung in den Neurowissenschaften erfahren haben (Bhidayasiri 2024; Bouton 2017; Stieglitz 2021). Die Verwendung von Sensor- und Mikroelektrodenttechnologien, die in das Gehirn implantiert werden oder auf dem Schädel aufsitzen, sind eine methodische Antwort darauf, dass bildgebende Verfahren wie die funktionale Magnetresonanztomographie (fMRT) – zwischenzeitlich der Inbegriff des neurowissenschaftlichen Könnens, dem Geist bei der Arbeit zuzusehen (Dumit 2003; Joyce 2008) – zwar über eine hohe zeiträumliche Auflösung der Aktivitäten im ZNS verfügen, es aber nicht in vergleichbarer Präzision vermögen, Verbindungen zwischen einzelnen Nervenzellen und Nervenzellpopulationen zu messen, wozu Mikroelektrodenttechnologien hingegen sehr wohl in der Lage sind (Hong/Lieber 2019; Patel/Lieber 2019; Yuste/Church 2014). Diese Präzision ist entscheidend, wenn kognitive Prozesse, sinnliche Wahrnehmungen und affektive Stimmungen als Musterbildungen zwischen Nervenzellen identifiziert werden, die lokal nicht eingegrenzt sind und sich über die Zeit verändern. Dass in den Neurowissenschaften wieder *konnektivistische* Ansätze die Oberhand über *Lokalisationstheorien* gewonnen haben (Yuste 2015), hat eine Öffnung für alternative technologische Methoden freigesetzt. Miniaturisiert, flexibel, hochauflösend und mobil sollen sie sein – Voraussetzungen, die durch ein ingenieurwissenschaftliches Know-how mit Elektroden angegangen werden.

Auffallend ist, dass der Transfer aus in ingenieurwissenschaftlichen Bereichen entwickelten Technologien in neurowissenschaftliche Forschungsfelder nicht nur als Transport von in den Neurowissenschaften bislang unvertrauten Instrumenten behandelt wird. Zu beobachten ist vielmehr, dass über die Mobilisierung von Forschungstechnologien hinausführend Praktiken und Prinzipien des *Engineerings* einen gestiegenen epistemischen Wert erhalten, neurowissenschaftliche Forschung voranzubringen (Ereifej et al. 2019; Panuccio et al. 2018; Prochazka 2017). Akteur:innen aus ingenieurwissenschaftlichen Bereichen agieren in einer Rolle, der weiterführende Interessen und Kompetenzen zugesprochen werden und die sich nicht darauf beschränkt, die zum Einsatz kommende Forschungstechnologie am Laufen zu halten, potenziell auftretende Störungen zu bereinigen und Ausfälle zu reparieren. *Engineers*⁴ wird

4 Die englische Bezeichnung *Engineer* ist in ihrer Verwendung mehrdeutig und kann ins Deutsche auf verschiedene Weisen übersetzt werden (z.B. als Ingenieur:in, Techniker:in oder auch Mechaniker:in). Ich werde im Weiteren in der Regel als Oberbegriff *Ingenieurwissenschaftler:in* verwenden, um Akteur:innen zu bezeichnen, die in ingenieurwissenschaftlichen Bereichen

hingegen Einfluss in epistemische Regionen der Neurowissenschaften gewährt. Sie formulieren eigene Problemstellungen und erkennen das Gehirn als einen reizvollen Gegenstand, um technologische Innovationen zu schaffen (Panuccio et al. 2018; Panuccio et al. 2017; Silva 2018). Dieser veränderte Stellenwert spiegelt den wissenschaftlichen Bedeutungszuwachs ingenieurwissenschaftlicher Forschungsprinzipien und -praktiken in lebenswissenschaftlichen Wissensfeldern wider, eine andauernde Entwicklung, die in der Wissenschaftssoziologie und in den *Science & Technology Studies* (STS) insbesondere im Zuge der wachsenden Dominanz einer technowissenschaftlichen Wissensproduktion beschrieben worden ist (Galison 1997; Keller 2003; Shinn 2005, 2008). Während aber die Position eines ingenieurwissenschaftlichen Forschungsstils in den Biowissenschaften hinsichtlich seiner Historie und gegenwartsbezogener Ausprägungen gründlich untersucht wurde (Bud 2009; Landecker 2007; Rabinow 1996b), ist eine damit vergleichbare Bestandsaufnahme für die Hirnforschung kaum unternommen worden.⁵ Überhaupt sind die Neurowissenschaften als eine Technowissenschaft bislang nur unzureichend analysiert worden.

Der Einfluss von Prinzipien und Praktiken des Engineerings in neurowissenschaftliche Felder ist zusätzlich bedingt durch den Einfluss datenzentrierter Forschungs- und Analyseverfahren sowie Formen einer digitalen Wissenschaftsorganisation (z.B. hinsichtlich der Archivierung und Verteilung von Forschungsdaten; vgl. Bruder 2017, 2019; Fitsch 2022; Sejnowski et al. 2014). Angesprochen ist damit die *zweite* Entwicklung in den Neurowissenschaften, die im Zusammenhang mit Neurotechnologien unmittelbar auffällt. Während der Einsatz von Mikroelektrode-technologien in experimentellen und therapeutischen Feldern dafür sorgt, dass eine bislang nicht erreichte Präzision in der Aufzeichnung von Nervenzellaktivitäten erreicht werden kann, ermöglicht erst die Verwendung von datenwissenschaftlichen Werkzeugen (z.B. neuronale Netzwerke, *Machine Learning*-Verfahren, *Big Data*-Prozeduren), dass die aufgezeichneten Signale überhaupt einen Informationsgehalt für Neurowissenschaftler:innen und Neuromediziner:innen haben (Haslacher et

wie der Elektrotechnik und Signalerkennung spezialisiert sind. Den Begriff *Engineering* greife ich vermehrt auf, um einen Forschungsstil zu bestimmen, der durch sein technologisches Know-how und seine bevorzugte Auseinandersetzung mit Forschungstechnologien definiert ist. Von *Engineers* spreche ich wiederum mit Bezug auf konkrete Kontexte, die ich in der Empirie beobachtet habe. Wichtig erscheint mir dabei, dass der Ausdruck *Engineer* stärker eine Marke ausprägt und seinen Träger:innen darüber ein charakteristisches Profil verleiht als es die deutsche Bezeichnung *Ingenieurwissenschaftler:in* tut.

5 Eine nennenswerte Ausnahme bilden die Arbeiten von Anne Beaulieu (2001, 2004).

al. 2024; Kellmeyer 2019a; Landhuis 2017). Der mit datenzentrierten Forschungsmethoden antizipierte Mehrwert wurde bereits dahingehend bewertet, dass in den Neurowissenschaften kultivierte Weisen des Schauens und Sehens, die sich auf das Gehirn als lebendiges Objekt richten, zunehmend in Richtung einer Forschungspraxis *in silico* tendieren, in der das Gehirn ›nur noch‹ als eine simulierte Berechnung prädiktiv ermittelter Nervenzellaktivitäten erscheint (Haeis/Slaby 2015). Prominent wird diese Bewegung durch eine globale Reihe von *Big Science*-Projekten repräsentiert, die zu Beginn der 2010er-Jahre einen weltweiten Wettlauf darum einleiteten, digitale Modelle des Gehirns zu entwickeln (Frégnac 2017; Savage 2019a). Zu diesen Projekten zählen u.a. die US-amerikanische *BRAIN*-Initiative (Yuste/Bargmann 2017) und das von der Europäischen Union (EU) geförderte *Human Brain Project* (HBP) (Amunts et al. 2016; Amunts et al. 2019). Die Entwicklung datenzentrierter Forschungswerkzeuge und digitaler Infrastrukturen, wofür die genannten Großprojekte stehen, sind überwiegend damit begründet worden, die bestehende Fragmentierung der Neurowissenschaften zugunsten einer verallgemeinerten Theorie des menschlichen Gehirns zu ersetzen.

1.2 In Zwischenräumen

Wissenschaftssoziologisch und -historisch geschulte Leser:innen und solche, die vertraut sind mit Studien aus den STS, werden an dieser Stelle berechtigterweise einwenden, dass die Integration technologischer Mittel und ihre Weiterentwicklung nicht allein die Rekonfiguration einer epistemischen Kultur wie den Neurowissenschaften ausmachen. *Wissenskulturen* bezeichnen in der Bestimmung Karin Knorr Cetinas »das gesamte Gewebe technischer, sozialer und symbolischer Elemente«, die einer Praxis der Forschung ihre Textur geben. Wissenskulturen zu untersuchen, bedeutet die »Konstruktion der Maschinerien« zu verstehen, »durch die Erkenntnis konstruiert wird« (Knorr Cetina 2002: 13). Auch wenn der Begriff *Maschinerien* über einen technizistischen Klang verfügt, verweist er vornehmlich auf die sozialen Formen, die verschiedene und spezialisierte Weisen der wissenschaftlichen und technischen Wissensproduktion ermöglichen. Knorr Cetinas Arbeit ist stellvertretend dafür, wie Analysen aus den STS hinlänglich dafür sensibilisiert haben, dass jegliche erkenntnistheoretischen Neuerungen und technologischen Innovationen in wissenschaftlichen Wissensfeldern mit *sozioepistemischen* und -technischen Wandlungsbedingungen verbunden sind (Bauer et al. 2017; Jasanoff 2004; Sismondo 2008). Der durch das Präfix *sozio-* getroffene Hinweis auf die soziale Bedingtheit von Wissenschaft und Technologie vergegenwärtigt, dass Wissenschaft – selbst in ihrem grundlagenorientierten Gewand – auf symbolisch vermittelten Handlungs- und

Wertorientierungen aufbaut und erst durch die praktische Einübung von spezifisch ausgerichteten Erkenntnisformen und Weisen des Tuns innerhalb eines sozial organisierten Kontextes reproduziert wird. Deutlich wird damit, dass die Mobilisierung und die Aneignung von fremden oder bisher nicht vertrauten Kenntnissen, Techniken, Instrumenten und Praktiken in einem bestehenden Wissensfeld stetig Fragen danach aufwerfen, wie sich die *Synthese des Heterogenen* (Ricœur 1996: 174) als ein soziales Geschehen verwirklichen lässt: Auf welche Weisen werden Altes und Neues, Vertrautes und Fremdes, Innovatives und Bekanntes in einer epistemischen Region miteinander verknüpft? Es ist ein Verdienst von Arbeiten aus den STS, wiederholt darauf aufmerksam gemacht zu haben, dass die Verknüpfungsarbeit in Wissensfeldern kein wohlgeordnetes Geschehen darstellt, das sich geräuschlos und ohne Brüche vollzieht. Sie haben vielmehr auf die »messiness« (Felt et al. 2017; Law 2004) wissenschaftlicher Praxis und Ordnungsbildung hingewiesen und zeigen können, dass der wissenschaftliche Alltag permanent Zwischenräume hervorbringt (Dotzler/Schmidgen 2008; Galison 1997).

Die Kenntnis darüber, dass sich wissenschaftliche Neuerungen und technologische Innovationen in Räumen ereignen, die sich nicht durch bewährte Ordnungskategorien, wie sie Disziplin- und Professionszugehörigkeiten ausprägen, verorten lassen, haben sich derweil zu einer wissenschaftspolitischen Maxime verstetigt, wissenschaftliche und technologische Entwicklungen voranzubringen. Wissenschaftspolitische Zielstellungen folgen Deutungsangeboten aus der Wissenschafts- und Technikforschung, etwa der prominenten These des Übergangs wissenschaftlicher Wissensproduktion von einem *Modus 1* zu einem *Modus 2* (Gibbons et al. 1994; Nowotny et al. 2004), welcher durch eine stärkere gesellschaftliche Kontextualisierung von Wissenschaft ausgezeichnet ist. So werden Formate wie *Inter- und Transdisziplinarität*, *Translation* und *Responsivität*⁶ mit großer Selbstverständlichkeit von politischen Geldgebern und Fördereinrichtungen als Leistungskriterien an wissenschaftliche

6 *Responsivität* ist ein weiter Begriff, der zunächst einmal Fragen danach begründet, wie Forschung auf wissenschaftsexterne Probleme antworten kann (z.B. den Klimawandel) und dementsprechend ihre Praxis auf gesellschaftlich relevante Themen umstellt (Maasen/Dickel 2016: 232). Ich verwende *Responsivität* hier als einen Begriff, der genutzt wird, um ethisch-normative Problemstellungen an Forschung zu adressieren. Dabei geht es vorrangig um Fragen danach, welche ethischen Dimensionen Forschung nach sich zieht und wie die an ihr beteiligten Akteur:innen Verantwortung für soziale Folgen übernehmen können, die aus ihrer Forschung resultieren (können). Fragen nach Verantwortung, die durch Forschung aufgeworfen werden und zu denen sich Wissenschaftler:innen zunehmend positionieren müssen, sind prominent durch die wissenschaftspolitische Programmatik *Responsible Research & Innovation (RRI)* formuliert worden (Saille 2015; Stilgoe et al. 2013).

Felder adressiert (Barry et al. 2008; Bensaude-Vincent 2014; Maasen/Dickel 2016; Matthies et al. 2015). Innerhalb der Forschungspraxis werden sie als Qualitätsausweis und Legitimationsinstanz aufgenommen, um angestrebte Projekte zu profilieren und nach den Maßstäben wissenschaftspolitischer Bewertungskriterien evaluierbar zu machen.

Dabei verraten die programmatisch formulierten Strategien, Wissenschaft und Technologieentwicklung inter- und transdisziplinär zu gestalten, translational zu organisieren und responsiv zu reflektieren, etwas über die aktuell hohen Integrationsansprüche und Produktionserfordernisse, die an Forschung gestellt werden. Sie gleichen laufend eingespeisten Innovationstreibern, die eine disziplinübergreifende Wissensproduktion und die Involvierung weiterer sozialer Akteur:innen und Institutionen (sog. *Stakeholder*) erleichtern und beschleunigen sollen. In der Regel haftet ihnen aber auch etwas Managerial-Bürokratisches an (Felt 2017; Maasen 2018), insofern der Wert von Inter- und Transdisziplinarität, Translation und Responsivität vordefiniert wird und ihre Verwirklichung mit origineller Forschung und innovativer Technikherstellung gleichgesetzt ist. Von Forschenden verlangen diese und andere Zielformulierungen, um die Innovation und/oder gesellschaftliche Relevanz ihrer Arbeit vorzeigbar zu machen, indes eine hohe Beweglichkeit und eine immense Flexibilität ab, sodass sie auf dem Laufenden bleiben, was wissenschaftspolitisch und förderstrategisch im Trend liegt. Analysen aus der Wissenschafts- und Technikforschung haben begonnen, diese Anforderungsstruktur ins Licht zu rücken und auf den immensen Druck hinzuweisen, der auf Forscher:innen lastet, um die an sie adressierten Erwartungen zu erfüllen und unter diesen Bedingungen eine wissenschaftliche Karriere zu beschreiten (Davies 2021a; Felt 2009a; Kastenhofer/Molyneux-Hodgson 2021b; Sigl 2016, 2019).

Die Forschungsarbeit an Neurotechnologien bietet einen gehaltvollen Fall, die in Bewegung versetzende Anspruchshaltung an wissenschaftliche und technologische Entwicklungen weiterführend zu untersuchen, da ihr Auftreten und ihre Mobilisierung in verschiedenen neurowissenschaftlichen und -medizinischen Feldern durch Inter- und Transdisziplinarität, Translation und Responsivität legitimiert werden. Zugleich werden dadurch die Auflagen an neurotechnologische Forschung hoch angesetzt: Denn die Strategien zum Beleg einer integrativen und gesellschaftlich relevanten Forschung bestehen nebeneinander, überlappen sich zum Teil und produzieren widersprüchliche, zumindest in einem Spannungsverhältnis zueinander liegende Anforderungen, wie neurotechnologische Methoden als experimentelle und therapeutische Verfahren zu etablieren sind.

So bestimmt *Interdisziplinarität* die Bedingungen in der Forschungsarbeit an Neurotechnologien, wie neurowissenschaftliches Wissen mit einem ingenieurwissenschaftlichen Know-how und einer datenwissenschaftlichen

Expertise zusammengebracht werden sollen (Bruder 2019; Ereifej et al. 2019; Panuccio et al. 2018). Zwar hat es in der Geschichte der Hirnforschung immer wieder Versuche gegeben, eine mathematisch begründete Theorie des Gehirns aufzustellen und computerbasierte Methoden zum Repertoire der neurowissenschaftlichen Forschung hinzuzufügen (Abraham 2012, 2016; Dick 2015; Dumit 2016). Mit Ausnahme der Herausbildung einzelner Subdisziplinen – so etwa die *Computational Neurosciences* (Fitsch 2022) – sind diese Versuche aber in arbeitsteiligen Konstellationen steckengeblieben, die eine Integration von Ingenieur:innen in Bereiche der Hirnforschung dauerhaft erschweren. Während die ersten Versuche mit neurotechnologischen Methoden noch an bestehenden Techniken anknüpfen konnten (Gardner 2017b), werden Weiterentwicklungen inzwischen an der Parallelität festgemacht, mit der neurowissenschaftliche Theoriebildung über die Kommunikationsmuster von Nervenzellaktivitäten und ingenieurwissenschaftlich geprägte Methodenkenntnis wechselseitig voneinander profitieren. Neue Einsichten darüber, wie das Gehirn Informationen prozessiert und komplexe kognitive Leistungen realisiert, werden somit mit technologisch-methodischen Innovationen, neuronale Muster aufzeichnen und interpretieren zu können, gekoppelt. Allerdings täuscht der Anspruch, neurowissenschaftliche Forschungen durch eine ausgefeilte technische Methodenkenntnis aufzuwerten, darüber hinweg, dass es sich um verschiedene Wissenskulturen handelt, die jeweils eigene Sprachen sprechen, Werkzeuge nutzen und Konventionen besitzen.

Neben interdisziplinären Ansprüchen sind es *Translationsforderungen* an neurowissenschaftliche Forschungen, welche die Aktualität von Neurotechnologien plausibilisieren, aber auch auf Schwierigkeiten hinweisen, sie in bestehenden neurowissenschaftlichen und -medizinischen Feldern zu etablieren. Translation bezeichnet die Übersetzung von experimenteller Forschung in therapeutische Verfahren (Brosnan/Michael 2014; Cambrosio et al. 2018; Desmoulin-Canselier/Moutaud 2019). Sie kennzeichnet einen komplexen Prozess, der mehr Schritte enthält als den bereits herausfordernden Übergang, die Vorgänge eines Experiments auf eine solche Weise stabilisieren zu können, sodass sie losgelöst vom Entdeckungskontext unter veränderten lokalen Bedingungen reproduziert werden können. Translation hängt von aufwändigen Zertifizierungsverfahren ab, für die Forschende industrielle Partner:innen benötigen, um ein potenziell vielversprechendes therapeutisches Vorgehen zu standardisieren und marktreif zu machen (Paek et al. 2021; Stieglitz 2020). Obgleich neurotechnologische Methoden als eine dringend notwendige Behandlungsalternative für besonders schwerwiegende neurologische und psychische Krankheitsbilder bewertet werden, haben Einschätzungen zu den von ihnen ausgehenden Innovationschancen auf die bislang fehlende Organisation von institutionell gesicherten Translationswegen hingewiesen (Borton et al. 2020; Stieglitz 2020). An dieser Problematisierung

zeigt sich, dass Akteur:innen, die an Neurotechnologien arbeiten, damit konfrontiert werden, zwischen verschiedenen Verwendungskontexten (dem Labor, der Klinik, Bereichen der Rehabilitation usw.) zu übersetzen und verschiedene Interessen (z.B. wissenschaftlich, therapeutisch, ökonomisch) zu berücksichtigen. Da die Behandlungschancen für neurologische und psychische Krankheiten eine relevante Legitimationsinstanz für die Forschung an neurotechnologischen Methoden bilden, sind Forschende gefordert, pragmatische Entscheidungen zwischen originellen Ansätzen und kalkulierbaren Verwertungsgelegenheiten zu treffen, ohne sich an bereits existierenden Translationspfaden orientieren zu können.

Zusätzlich zu der disziplinübergreifenden Forschung und translativ organisierten Produktionsweisen wird die Forschungsarbeit an Neurotechnologien durch *ethisch-normative Fragen* in Bewegung gehalten. Die normative Dringlichkeit, die frühzeitig in Folge des experimentellen und klinischen Einsatzes von neurotechnologischen Methoden durch Ethiker:innen benannt wurde, hat sich von einem Genre philosophischer Fallgeschichten zu einem internationalen Aufruf nach verbindlichen Regeln über die Nutzung von Neurotechnologien gewandelt (Goering/Yuste 2016; Goering et al. 2021; Ienca 2021b). Standen zunächst Fragen danach im Vordergrund, ob technologische Interventionen in das Gehirn die Persönlichkeit von einzelnen Patient:innen auf eine wünschenswerte oder ethisch problematische Weise verändern (Baylis 2013; Gilbert et al. 2021; Kraemer 2013), sind es inzwischen Bemühungen darüber, die mentale Integrität und Autonomie von Individuen als ein Menschenrecht zu verankern (Ienca/Andorno 2017; Ienca 2021b; Bublitz 2024), welche den Ton und den Rahmen normativer Urteile über Neurotechnologien vorgeben. Das (angenommene) epistemische und technische Leistungsvermögen, mit zunehmender Präzision die mentale Verarbeitung von Kognition, Wahrnehmung und Emotion auslesen und in diese Prozesse intervenieren zu können, soll mit einer gesteigerten Reflexion darüber einhergehen, welche sozialen Folgen aus den neuen Möglichkeitsspielräumen resultieren (Goering et al. 2021b). Es ist wichtig hervorzuheben, dass die ethische Bewertung von neurotechnologischen Methoden nicht als eine Kritik an der Forschung an Schnittstellentechnologien und ihren Akteur:innen verstanden wird. Im Gegenteil: Neurowissenschaftler:innen und andere Forscher:innen sind beteiligt an den politischen Aushandlungen darüber, auf welche Weise der Umgang mit neurotechnologischen Methoden zu regulieren ist. Dieser Umstand verdeutlicht eindrücklich, in welcher Weise die *Ethisierung* (Bogner 2011) wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen zu einem Bezugspunkt für Wissenschaftler:innen geworden ist, eine als innovativ und gesellschaftlich relevant bewertete Forschung hinsichtlich ihrer erwarteten Wirkung weiter auszudifferenzieren und ihre Legitimation zu garantieren. Allerdings vervielfältigen sich mit der Annahme ethisch-normativer

Reflexionsprozesse auch die Akteur:innen (Pham et al. 2020), die in Forschungsentscheidungen involviert werden sollen, und die Formen der Expertise, die in Aushandlungen darüber eingebracht werden, in welchen Bahnen die nächsten Entwicklungsschritte verlaufen können.

Es wäre nun ein vollkommen legitimes und aussichtsreiches Vorgehen, eine einzelne der drei genannten Strategien, die Forschungsarbeit an Neurotechnologien zu organisieren und zu gestalten, aufzugreifen und als eine empirische Fallstudie zu untersuchen. Die STS sind ein reiches Reservoir an empirischen Analysen dazu, wie Inter- und Transdisziplinarität in der Praxis umgesetzt werden (Barry et al. 2008; Frickel 2004; Klein 1996); wie Translation auf den Weg gebracht wird, aber auch welche Barrieren sich regelmäßig in diesem Zusammenhang einstellen (Blümel et al. 2015; Michael et al. 2005); und wie ethisch-normative Reflexionen in lebens- und technikwissenschaftlichen Forschungsfeldern angestoßen und am Leben erhalten werden können (Martin et al. 2015; Pickersgill 2012; Smolka et al. 2021), wobei Widerstände und Ambivalenzen in der Begegnung zwischen den Kulturen der Natur- und Technikwissenschaften und der Sozial- und Geisteswissenschaften gleichermaßen zur Sprache kommen (Rabinow/Bennett 2012; Viseu 2015). Allerdings würde ein solches Vorgehen die Problemstellung verfehlen, die ich in der vorliegenden Arbeit zu erforschen suche. Denn es sind gerade das Zusammenwirken der genannten Strategien, den Ansprüchen einer integrativen, innovativen und gesellschaftlich relevanten Forschungspraxis nachzukommen, und die Spannungen, die sich daraus kristallisieren, welche sich mir im Zuge meiner Forschung zu Neurotechnologien zunehmend aufgedrängt haben. Inter- und Transdisziplinarität, Translation und Responsivität sind gewiss besonders avancierte und wiederkehrend aufgerufene Modi, um Gelegenheiten zu schaffen, Interessen und Vorgehensweisen zwischen wissenschaftlichen Disziplinen und Fachkulturen sowie inner- und außerwissenschaftlichen Akteur:innen und Institutionen miteinander zu verbinden. Um aber besser zu verstehen, wie sich diese Ansprüche auf die Praxis und Organisation von Wissensfeldern sowie das Selbstverständnis der ihnen zugehörigen Forschenden auswirken, bedarf es eines sozialtheoretisch weiterführenden Beschreibungsmodells. Daher greife ich in der vorliegenden Arbeit das Konzept der *sozioepistemischen Zwischenräume* auf, um die Arbeit an Neurotechnologien als eine Forschung und Anwendung zu analysieren, die sich in einem *konstitutiven Dazwischen* abspielt.

Das Konzept der Zwischenräume geht auf den Wissenssoziologen Gil Eyal (2013; Eyal/Pok 2016) zurück. In seinem Anliegen, feldtheoretische Annahmen im Anschluss an Pierre Bourdieu mit Ansätzen aus den STS zu diskutieren, argumentiert Eyal für eine analytische Aufmerksamkeit für *Spaces between Fields* (2013). Er charakterisiert Räume zwischen Feldern durch ihre Unabgeschlossenheit sowie durch die sich in ihnen auftuenden Gelegenheiten zu Transaktionen und Verbindungen,

die unter den in der Regel wirksamen Strukturen in sozialen Feldern (wie z.B. innerhalb disziplinär strukturierter Wissensfelder) nicht möglich sind oder nur unter großen Risiken (z.B. des Statusverlusts) verwirklicht werden können. Eyals Verständnis von Zwischenräumen geht nicht von einer Teleologie aus, die zwischenräumlichen Konstellationen inhärent wäre, wonach sich diese früher oder später als ein autonomes Feld stabilisieren oder wieder verschwinden würden. Zwischenräume werden somit nicht mit vorübergehenden und fremdregulierten Zonen gleichgesetzt, die sukzessive die Strukturen einer eigenständigen Logik annehmen und sich über diese von anderen sozialen Feldern abgrenzen. Zu beachten ist viel eher, dass Räume zwischen Feldern sich aufgrund ihrer Zwischenstellung als produktiv erweisen und von Akteur:innen genutzt werden, um sich den Zwängen starrer Feldgrenzen zu entziehen. Der Soziologe Philippe Saner (2022) hat in seiner Studie zur Genese der Datenwissenschaften dargelegt, dass die Beschreibung von Zwischenräumen einen konzeptuell wertvollen Beitrag dazu liefert, das Auftreten neuer Wissensfelder zu untersuchen. Er bezeichnet Zwischenräume als »offene, unterbestimmte Sphären, in denen Akteur*innen aus nahen Feldern aufeinandertreffen und in Interaktionen treten können« (Saner 2022: 25f.). Er fügt hinzu, dass es sich um Räume außerhalb etablierter Handlungslogiken handelt, »die sich durch poröse Grenzen, Vielstimmigkeit sowie eine permanente Instabilität auszeichnen« (2022: 26).

Die Konzeption sozioepistemischer Zwischenräume knüpft an Arbeiten in den STS an, die sich bereits seit einiger Zeit für das Auftreten neuer Wissensfelder interessieren und diese als einen eigenständigen Forschungsgegenstand bestimmen. Gegenüber Studien, die sich dezidiert auf Inter- und Transdisziplinarität, Translation und Responsivität konzentrieren – jeweils als ein Modus, um verschiedene Wissensbestände, Praktiken, Instrumente und Formen der Expertise miteinander zu verbinden –, fasst die Beschreibung sozioepistemischer Zwischenräume diese Formate als Strategien zusammen. Da es mein Anliegen ist, besser zu verstehen, wie verschiedene Modi, heterogene Elemente in und zwischen Wissensfeldern zu verknüpfen, nebeneinander bestehen, zusammenwirken und/oder widersprüchliche Anforderungen an Forscher:innen erzeugen, ist ein Konzept notwendig, welches sich von den zu beschreibenden Strategien distanziert und diese nicht als Erklärungsansatz aufgreift. Die Bezeichnung von Zwischenräumen erweist sich diesbezüglich als vielversprechend.

Ein weiterer Bezug der Konzeption sozioepistemischer Zwischenräume besteht zu Interpretationen neuer Wissensfelder als »hybriden« (Bösch 2016) und/oder »transversalen« (Shinn 2005, 2008; Marcovich/Shinn 2020) Wissensbereichen, in denen epistemische Grenzziehungen zwischen Wissensfeldern unscharf und praktische Kombinationen zwischen ansonsten heterogenen Ansätzen und Problemlösungsstrategien möglich werden. Beide Ansätze deuten auf eine Lockerung disziplinärer

Strukturen und einem Aufweichen der Unterschiede zwischen wissenschaftlichen und außerwissenschaftlichen Wissensformen, Praktiken, Dingen und Akteur:innen hin. Es werden Organisationsweisen von Wissenschaft und Technologie, die soziotechnische Probleme behandeln und ihre Forschungen an diesen orientieren sowie Innovationsbereiche, die epistemische und industrielle Kriterien miteinander verschränken, erkennbar. Wie bereits die Begriffe der Hybridität (Latour 2008) und Transversalität (Guattari 2015) nahelegen, steht die (temporäre) Aufhebung der Differenzen zwischen Wissenskulturen und sozialen Feldern im Vordergrund. Weniger trennscharf werden allerdings die Vielstimmigkeit und das Nebeneinander von divergenten, tendenziell gar einander widersprechenden Interessen, Relevanzsetzungen und Wertverhältnissen behandelt. Diese Leerstelle soll durch die Analyse sozioepistemischer Zwischenräume ausgefüllt werden.

Zuletzt verfügt die Thematisierung sozioepistemischer Zwischenräume über eine inhaltliche Nähe zu in der Wissenschafts- und Technikforschung einflussreichen Arbeiten zum historischen Aufkommen der *Technowissenschaften* (Forman 2007; Haraway 1997; Nordmann 2014; Weber 2003). Der Begriff Technowissenschaften »bezeugt die Preisgabe des Versuchs, ›Wissenschaft‹ und ›Technik‹ zu trennen« (Nordmann 2014: 32). Im Zusammenhang technowissenschaftlicher Wissensproduktion »lassen sich die Forschungsgegenstände nicht von den technischen Eingriffen« separieren, »die nötig sind, um sie zu erzeugen, zu erhalten und zu beobachten« (Nordmann 2014: 32). Ich werde im Verlauf der Arbeit ausführlicher auf Beschreibungen der Technowissenschaften eingehen, da sie einen wichtigen Bezugspunkt für meine Interpretation der Forschungsarbeit an Neurotechnologien darstellen. Dabei werde ich vor allem auf jüngere Studien rekurren, welche die historisch weitreichende Diagnose des Übergangs von den modernen Wissenschaften zu den Technowissenschaften durch lokal begrenzte Untersuchungen *technoepistemischer Kulturen* bzw. *Felder* modifizieren (Kastenhofer 2013a, 2013b; Dan-Cohen 2021; Raimbault/Joly 2021). Diese Zugänge sind überwiegend an den Forschungsbereichen der Nanowissenschaften, der synthetischen Biologie und zuletzt auch an den Datenwissenschaften erprobt worden.

Dass ich in meiner Analyse die Beschreibung *sozioepistemischer Zwischenräume* höher gewichte, resultiert daraus, dass mir in meiner empirischen Forschung wiederkehrend und stetig Fragen und Ungewissheiten darüber begegnet sind, wie die Arbeit an Neurotechnologien zwischen verschiedenen Handlungs- und Wertorientierungen zu verorten ist, wobei sowohl innerwissenschaftliche Demarkationslinien zwischen Disziplinen als auch das Verhältnis zwischen wissenschaftlichen und außerwissenschaftlichen Bewertungskriterien und Legitimationsweisen eine Rolle spielen. Viel beachtete Analysen der Technowissenschaften, wie u.a. diejenige des Wissenschaftshistorikers Peter Galison, haben an

technowissenschaftlichen Produktionsweisen eine »ontologische Indifferenz« (Galison 2017; Daston/Galison 2017) charakterisiert, welche es Forschenden ermögliche, für die modernen Wissenschaften bedeutsame Grenzverläufe – etwa zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung – beliebig zu überschreiten. Wie Evelyn Fox Keller (2009) bemerkt hat, ist die Überschreitung traditioneller Grenzziehungen zum Alltag in wissenschaftlichen Institutionen geworden. Gegenüber diesen Beobachtungen thematisiere ich in meiner Untersuchung sozioepistemischer Zwischenräume hingegen Ambivalenzen und Widersprüche, die aus Erwartungen an ein bewegliches Forschungspersonal resultieren. Ich sehe darin keine Absage der Darstellungen von Autor:innen wie Galison und Keller, nehme aber an, dass die Mobilitäts- und Flexibilitätsansprüche, die an Forschende und ihre Praxis adressiert werden, einer stärkeren Sensibilisierung für Zwischenpositionen bedürfen.

1.3 Auf der Suche nach neuen Formen

Die Analyse sozioepistemischer Zwischenräume ist selbst bereits ein Ergebnis meiner ethnografischen Forschung zu Neurotechnologien über die vergangenen Jahre. In dieser Zeit habe ich mich zunehmend von einer unmittelbaren Interpretation und Bewertung darüber, was Neurotechnologien sind, was sie vermögen und wozu sie führen, entfernt und begonnen, die Forschungsarbeit an ihnen als eine Aufnahme zu betrachten, die etwas über das Innenleben aktueller Wissenskulturen wiedergibt. In dem der vorliegenden Arbeit vorangestellten Motiv – *das Leben liegt in den Zwischenräumen* – kondensiert sich ein Eindruck der Überlegungen und Reflexionen, die in meinen Interviews und Gesprächen mit Forschenden wiederkehrend aufgetreten sind. Die Frage danach, wie es in einem Forschungsbereich möglich ist, in dem das bisher Erreichte hinter den antizipierten Potenzialen und Visionen zurücksteht (vgl. Kastenhofer 2020), zwischen verschiedenen Ansprüchen beweglich zu bleiben, ohne von diesen überformt zu werden, bildete in den Gesprächen einen stetigen Bezugspunkt. Als ich anfang, Interviews mit Forscher:innen zu führen, die dazu beigetragen haben, dass die Arbeit an neurotechnologischen Methoden eine zunehmende Sichtbarkeit erfährt, war ich zuerst überrascht davon, wie spürbar Bestrebungen danach, disziplinäre Zugehörigkeiten zu überwinden und in unterschiedlichen Kontexten das eigene Tun rechtfertigen zu können, das Selbstverständnis meiner Gesprächspartner:innen formten. In der Begegnung mit ihnen wurde ich unschlüssig darüber, ob ich eine mit ihrer Einstellung vergleichbare Beweglichkeit in meine Forschungspraxis integrieren müsste. Es ist eine Unsicherheit, die in den STS in der jüngeren Vergangenheit so oder ähnlich artikuliert wurde: Die Nähe zu den Akteur:innen in lebens- und

technikwissenschaftlichen Feldern wird vermehrt dadurch beantwortet, mit kollaborativen Praktiken zu experimentieren und eine beobachtende Haltung zugunsten der Formulierung gemeinsamer Problemstellungen aufzugeben (Bogusz 2018; Callard/Des Fitzgerald 2015; Niewöhner 2015; Rose 2013). Anstelle einen solchen interdisziplinären Prozess zu forcieren – dessen Schwierigkeiten dokumentiert sind (Viseu 2015) – entschied ich mich für einen anderen Zugang, der die an mir selbst und im Laufe meiner Ethnografie an anderen beobachtete Wirkung, die das Auftreten und die Äußerungen von Forscher:innen mit Bezugnahme auf ihre Arbeit an Neurotechnologien hervorbringt, zum Gegenstand macht. Bevor ich daher zu den empirischen Grundlagen der vorliegenden Arbeit komme, möchte ich zwei zusätzliche Konzepte benennen, die für die weitere Analyse ausschlaggebend sind: *Performanz* und *Formgebung*.

Dass für die Produktion wissenschaftlichen Wissens und technologischer Innovationen die performative Wirkung ihrer Hervorbringung (z.B. in Experimenten, wissenschaftlichen Texten oder bei Testläufen) konstitutiv ist, ist seit den ersten ethnografischen Beschreibungen des wissenschaftlichen Alltags im Labor und anderen Wissensstätten in den STS analytisch aufgegriffen worden (Herzig 2004; Latour/Woolgar 1986). Sowohl praxistheoretische Arbeiten (Mol 2002; Pickering 1992, 1995) als auch solche, die für einen *neuen Materialismus* argumentieren und sich der feministischen Wissenschaftsforschung zurechnen (Barad 2003, 2007), haben sich mit Verweis auf die Performativität von Wissenschaft und Technologie kritisch gegen tradierte Dualismen gewandt – etwa die Unterscheidung zwischen Natur und Kultur, Materialität und Diskurs oder Subjekt und Objekt. Die Aufmerksamkeit dafür, wie Experimente und andere Formen der Wissensproduktion performativ in Szene gesetzt werden, bildete zudem eine wichtige Voraussetzung in den STS dafür, menschliche Handlungsträgerschaft zu de-zentrieren und für einen Akteursbegriff zu plädieren, der menschliche und nicht-menschliche Wesen einschließt (Herzig 2004; Law/Singleton 2000). Auch wenn sich diese theoretische Perspektive als überaus bedeutsam für die Rezeption der STS in den Sozial- und Kulturwissenschaften, insbesondere diejenige der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT), erwiesen hat, so ist dem Historiker Thomas Etzemüller (2015, 2019) dahingehend zuzustimmen, dass in der Wissenschafts- und Technikforschung *Formen der Selbstdarstellung in der Wissenschaft* nicht mit der gleichen Aufmerksamkeit bedacht worden sind:

Für die Wissenschaft dagegen finden wir: soziologische Studien über wissenschaftliche Karrieren und wie WissenschaftlerInnen diese gefährvollen Wege erleben; wissen(schaft)ssoziologische Einführungstexte, die vollkommen ohne Akteure auskommen; Laborstudien, die engbegrenzte Interaktionssituationen in den Blick nehmen [...]. Doch nirgendwo: Performanz. (Etzemüller 2015: 35)

Ohne Zweifel bestehen Ausnahmen: So hat Stephen Hilgartner (2000) in seiner inhaltlich und formal originellen Studie zur wissenschaftlichen Politikberatung auf die sorgfältige Konstruktion der Vorder- und Hinterbühne wissenschaftlichen Wahrsprechens hingewiesen, die es Wissenschaftler:innen ermöglicht, ihre Glaubwürdigkeit während öffentlicher Auftritte zu kontrollieren und ihre Expertise zu schützen; John Law (2000) ist in seiner Reflexion über die technikhistorische Forschung zum TSR2, einem britischen Militärflugzeug, auf die Schleife aus *Perzeption* (wer sind die für meinen Fall relevanten Akteur:innen?), *Rezeption* (was vermitteln mir die Akteur:innen in Interviews und Gesprächen?) und *Repräsentation* (mit welcher Version der Wirklichkeit über Wissenschaft und Technologie werde ich von den Akteur:innen beauftragt?) eingegangen, in die Wissenschafts- und Technikforscher:innen geraten, wenn sie Vertreter:innen aus den sie interessierenden Wissensfeldern begegnen. Analysen *zu* Wissenschaft und Technologie gestalten an den Narrativen und *Stories* mit, die *über* Wissenschaft und Technologie erzählt werden können und tragen dazu bei, was (*nicht*) repräsentiert wird. Trotz dieser Ausnahmen vertrete ich die Einschätzung, dass in der Wissenschafts- und Technikforschung die Performanz des wissenschaftlichen Auftritts zu wenig systematisch reflektiert worden ist. Diese Leerstelle wiegt umso schwerer, da Arbeiten aus den STS sich wieder verstärkt den Akteur:innen der wissenschaftlichen Wissensproduktion und der technologischen Entwicklung zugewandt haben: In diesen Analysen werden die Bedingungen der Subjektivierung und Identitätsbildung von Forschenden kritisch in Hinblick darauf bewertet, wie aktuelle Forschungslandschaften organisiert werden (Davies 2021a; Kastenhofer/Molyneux-Hodgson 2021a; Sigl 2019). Zudem sind Emotionen und Affekte, die konkrete Forschungsprozesse und Karrieren in den Wissenschaften produzieren, gegenständlich in den Blick geraten (Kerr/Garforth 2016; Schönbauer 2021). Das Anliegen bilden die bereits thematisierten Mobilitäts- und Flexibilitätsansprüche, die an Forscher:innen durch unetstetige wissenschaftspolitische Erwartungen und Bewertungsprozeduren adressiert werden, während bekannte disziplinäre und professionelle Zugehörigkeiten kaum noch haltversprechend sind.

Ich begreife Performanz als ein »komplexes Verhalten, soziale Beziehungen herzustellen« (Etzemüller 2015: 34). Es drückt sich in der gesamten Vielfalt an Äußerungen, Gesten, impliziten Normen und Geschmackspräferenzen aus, die den wissenschaftlichen Alltag konturieren. Performanz »soll ein Bild erzeugen und damit Inhalte stabilisieren« (Etzemüller 2015: 37). Bild und Inhalte betreffen sowohl den Gegenstand von Wissenschaft als auch den:die Wissenschaftler:in selbst. Dabei sehe ich gerade in den empirischen Forschungszugängen, die in den STS präferiert gewählt werden (offen geführte Interviews, teilnehmende Beobachtungen), um aktuelle Wissenskulturen hinsichtlich ihrer epistemischen,

sozialen und normativen Voraussetzungen zu verstehen, eine privilegierte Position, dichte Beschreibungen der je nach Wissensfeld wirksamen performativen Aufttrittsregeln anzufertigen. Die Performanz des wissenschaftlichen Alltags zu erschließen, hat aber auch eine methodologische Relevanz. Schließlich suchen Wissenschafts- und Technikforscher:innen die Wissensfelder, die sie untersuchen, selbst auf und umgeben sich mit den in diesen vorherrschenden Narrativen, Aushandlungen und Interessen. In Interviews und/oder informellen Gesprächen, deren persönlicher Grad variiert, werden sie zu Reflexionsflächen für die Forschenden, die sie in ihrer Praxis begleiten. Als empirische Beobachter:innen sind sie Teil des Publikums, welches gerade an einer aufsehenerregenden aber auch mit Skepsis betrachteten Forschung wie derjenigen an Neurotechnologien Anteil nimmt und sie werden autorisiert, über die von ihnen verfolgte Praxis einer breiteren Öffentlichkeit zu berichten (selbst wenn diese sich weiterhin auf wissenschaftliche Kreise beschränkt). Gerade da Performanz, trotz der Sichtbarkeiten, die sie erzeugt, kein transparentes Geschehen ist und permanent Facetten der eigenen Hervorbringungsbedingungen invisibilisiert, braucht es aber einen empirisch sensibilisierten Blick und zusätzliche konzeptuelle Mittel, um ihre Aktualisierung in spezifischen Kontexten analysieren zu können.

Für meine empirische Analyse der Forschungsarbeit an Neurotechnologien hat sich eine *Denkfigur* (Stäheli 2021: 241) als gehaltvoll gezeigt, die ich dem Werk Pierre Bourdieus entlehne. So interpretiere ich die *Arbeit am Selbst*, die Forschende in sozioepistemischen Zwischenräumen vornehmen, als *Formgebung* (Bourdieu 1988, 2001). Mit dem Begriff der Formgebung bezeichnet Bourdieu »Kompromißbildungen« (Bourdieu 1988: 91) zwischen den Ausdrucksinteressen, die Akteur:innen in ein soziales Feld (der Wissenschaft, der Kunst, der Politik usw.) einbringen, und den Zwängen, die aufgrund der Strukturen innerhalb desselben auf die Akteur:innen wirken und je nach Position Handlungs- und Artikulationspielräume begrenzen. Formgebungen rekurren auf die Möglichkeiten, wie etwas gesagt, ausgedrückt oder in Erscheinung gebracht werden kann, wobei sie ein ambivalentes Vorhaben bestimmen: Ihre Leistung besteht darin, Absichten, Ziele und Hoffnungen zu formulieren, welche sich gegen gültige soziale Festlegungen, Konventionen und interne Gesetzmäßigkeiten innerhalb eines Ordnungsverhältnisses richten (z.B. einer wissenschaftlichen Disziplin und Fachkultur), ohne sie offen zu kritisieren oder sich von diesen abzuwenden. Daher benennt Bourdieu – durchaus in kritischer Absicht – die *kaschierende* Funktion der Formgebungsarbeit: »Wie sehr sie auch vom Willen geleitet ist, mit den bestehenden Formen zu brechen, folgt die Formgebungsarbeit doch stillschweigend oder unbewusst einem Ensemble von Konventionen und Normen« (Bourdieu 2015b: 241) und trägt somit zur Aufrechterhaltung bestehender sozialer Verhältnisse und Legitimationsprinzipien bei, obgleich an ihr das Vermögen kenntlich

wird, diese infrage zu stellen und herauszufordern. Zugleich lassen sich in Bourdieus Arbeiten aber auch Hinweise darauf finden, Formgebungsarbeit als eine Strategie zu verstehen, die es Akteur:innen ermöglicht, die Spannungen und die Widersprüche, die aus einer Position zwischen Feldern resultieren, temporär auszuhalten, bis sich veränderte Strukturen herausgebildet haben (Bourdieu 2001). Diese Lesart wird durch die an Bourdieus Texten wiederkehrend aufscheinende Sensibilität für *Figuren des Dazwischen* begünstigt, für die exemplarisch seine eigene gesplante Haltung zur universitären Welt als prägendes Element einer fortdauernden *Arbeit am Selbst* steht (Bourdieu 2002).

Der Denkfigur der Formgebung kommt in der vorliegenden Arbeit die Bedeutung zu, die Performanz des wissenschaftlichen Aufttritts interpretieren zu können. Sie ermöglicht, das Nebeneinander verschiedener Strategien der Selbstdarstellung von Forschenden zu verstehen und differenzieren zu beschreiben. An meiner Forschung zu Neurotechnologien hebe ich heraus, wie Akteur:innen, die an Neurotechnologien arbeiten, zwischen verschiedenen epistemischen, organisationalen und normativen Ansprüchen manövrieren und dazu beitragen, dass neurotechnologische Methoden in zwischenräumlichen Konstellationen zirkulieren können. Ich frage danach, wie es den von mir portraitierten Forscher:innen gelingt, unterschiedene und in Teilen widersprüchliche Innovationsanforderungen und Legitimationsprinzipien miteinander zu vereinbaren. Dabei gehe ich nicht davon aus, dass sich spannungsreiche Erwartungen – etwa daran, originelle Forschungstechnologien zu produzieren und die Versprechen nach therapeutischen Alternativen zügig einzulösen – von den Akteur:innen versöhnen lassen. Durch den nicht aufzulösenden Zusammenhang zwischen Performanz und Wissensproduktion werden sie aber permanent von den Forschenden in Form gebracht, sodass eine Arbeit an Neurotechnologien fortgesetzt werden kann und sie Aussichten auf eine (erfolgreiche) wissenschaftliche und/oder klinische Karriere eröffnet.

Dabei verfolge ich die These, dass die *Formgebungsarbeit* nicht nur über einen lokal-praktischen Wert für die Aufrechterhaltung einer spezifischen wissenschaftlichen und/oder klinischen Praxis hat, in diesem Fall die Forschungsarbeit an Neurotechnologien, sondern eine darüber hinausführende Aushandlung vergegenständlicht: An ihr werden Fragen danach, welchen Grad der »intellektuellen Mobilität« (Marcovich/Shinn 2014) Wissenschaftler:innen verkörpern, welche epistemischen und sozialen Bewertungskriterien sie als Handlungs- und Wertorientierung einbeziehen und welches Maß der Verantwortung gegenüber gesellschaftlichen Wandel und sozialen Folgen sie in ihrer Reflexion der eigenen Praxis leiten sollte, spürbar. Diese Fragen vergegenwärtigen, dass die Form, die »Wissenschaft als Beruf« (Eyal 2019; Weber 1968b) annimmt, durch multiple und widersprüchliche Integrations-, Innovations- und Relevanzanforderungen selbst auf den Prüfstand gerät und

erneuerte Reflexionen verlangt. Es wäre vermessen, eine solche Prüfung als den Maßstab der vorliegenden Arbeit zu bestimmen. Dennoch werde ich im Ausgang meiner Analyse der sozioepistemischen Zwischenräume und der Formgebungsarbeit am Fall von Neurotechnologien noch einmal auf die Frage nach *Wissenschaft als Beruf* zurückkommen.

1.4 Empirische Grundlage und methodisches Vorgehen

Über die vergangenen 7 Jahre hatte ich verschiedene Gelegenheiten, die Arbeit an Neurotechnologien in unterschiedlichen Kontexten kennenzulernen, zu beobachten und zu reflektieren. Mein Interesse an neurotechnologischen Methoden setzte zum Zeitpunkt meiner studentischen Abschlussarbeit ein, für die ich den klinischen Umgang mit der THS und die Erfahrungen, die Patient:innen im Zuge der Implantation machen, ethnografisch auf einer neurologischen Station untersucht habe (Strotmann 2018b). In den folgenden Jahren wandelte sich mein Interesse dahingehend, besser zu verstehen, wie Akteur:innen, die forschend, behandelnd und konstruierend an und mit Neurotechnologien arbeiten, ihre Erwartungen, Hoffnungen und Zweifel thematisieren, welche sie mit ihrer Tätigkeit verbinden. Was bedeutet es für eine Laufbahn als Forscher:in, mit einer Technologie beschäftigt zu sein, deren (inner- und außerwissenschaftliche) Repräsentation zwischen *Hype* und *Horror* changiert? Auf welche Weise berührt ein solches Schwanken das Selbstverständnis als Forscher:in? Welche Stimmung beherrscht das Umfeld der Forschungsarbeit?

Um einen Zugang zur Forschung und den Forschenden zu erhalten, habe ich verschiedene Labore und klinische Bereiche innerhalb der deutschsprachigen Forschungslandschaft, die an und mit Neurotechnologien arbeiten, kontaktiert und bezüglich eines qualitativen Interviews und eines Forschungsaufenthaltes angefragt. Mein Anliegen war es, eine Feldforschung nach dem Vorbild der in den STS klassisch gewordenen Laborethnografien an mindestens zwei Standorten vorzunehmen. Die im Frühjahr 2020 ausgebrochene Corona-Pandemie verhinderte dieses Vorhaben zunächst, da mir Forschungslabore mit Bedauern aufgrund der geltenden Abstandsregeln absagen mussten. Dennoch konnte ich später einen konstanten Kontakt zu drei Forschungslaboren aufbauen, die ich in der Folge als *Neurotech X*, *Neurotech Y* und *Neurotech Z* bezeichne.⁷ Alle drei Labore arbeiten an BCI-Technologien, wobei sie sich hinsichtlich ihrer Einsatzgebiete (Klinik, grundlagenwissenschaftliche und

7 Sämtliche Gruppen- und Eigennamen von Personen habe ich im Zuge der Transkription pseudonymisiert. Die hier verwendeten Namen haben keine Verbindung zu den Realnamen der auftauchenden Gruppen und Personen.

anwendungsbezogene Forschung) und der Eingriffstiefe der verwendeten Technologien (invasiv/nicht-invasiv) unterscheiden. Bei der Forscher:innengruppe *Neurotech X* konnte ich im Herbst 2020 und 2021 schließlich zwei dauerhafte, jeweils einmonatige Forschungsaufenthalte im Labor absolvieren, innerhalb derer ich mit den Mitgliedern ihren (und meinen) wissenschaftlichen Alltag verbrachte, an Experimenten teilnahm und über die Erwartungen und Potenziale von Neurotechnologien, aber auch die Formen eines wissenschaftlichen Lebens diskutierte. Die Forscher:innengruppen *Neurotech Y* und *Z* konnte ich zu einzelnen Zeitpunkten in ihren Laboren besuchen, um mehr über die lokalen Arbeitsweisen, die Experimente und die Mitglieder in Erfahrung zu bringen. Ich habe zudem sämtliche weiteren Ereignisse, durch die ich mit Neurotechnologien in Berührung kam, ethnografisch festgehalten. Hierzu gehören vor allem Konferenzen, Vorträge und Workshops, die einen direkten thematischen Bezug zu Neurotechnologien hatten. Auf diese Weise sind drei Forschungstagebücher mit ethnografischen Aufzeichnungen entstanden.⁸

Zusätzlich zu meiner ethnografischen Forschung habe ich 35 qualitative Interviews mit Forscher:innen geführt, die an Neurotechnologien arbeiten. Mein Sample umfasst Interviews mit Akteur:innen, die verschiedene disziplinäre Hintergründe aufweisen (Medizin, Neurophysiologie, (Neuro-)Informatik, Ingenieurwissenschaften), die hinsichtlich der neurotechnologischen Methoden, mit denen sie arbeiten, variieren und die sich in unterschiedlichen Phasen ihrer Laufbahn befinden (Professor:innen, Post-Docs, Doktorand:innen, Studierende). Diese Uneinheitlichkeit hinsichtlich der durchlaufenen akademischen Sozialisation, der methodischen Ausrichtung und des persönlichen Karrierestatus bewerte ich nicht als ein methodologisches Problem, denn sie repräsentiert die Diversität, die sich mit dem Begriff Neurotechnologien verbindet. Zusätzlich anzumerken ist, dass die von mir interviewten Akteur:innen allesamt in der deutschsprachigen Forschungslandschaft (Deutschland, Österreich, Schweiz) tätig sind (wenngleich nicht alle Teilnehmer:innen deutschsprachig sind; die Interviews wurden in deutscher oder englischer Sprache geführt). Zwar lässt sich gegenüber der Entscheidung, sich auf die deutschsprachige Forschungslandschaft zu konzentrieren, einwenden, dass wesentliche Impulse zur Forschung an Neurotechnologien bislang aus den USA gekommen sind. Allerdings lassen sich für den deutschen Kontext einige bemerkenswerte Standorte zur neurotechnologischen

8 Die Aufteilung in drei Forschungstagebücher bezieht sich auf die Trennung zwischen meinen Aufzeichnungen, die ich während der gesamten Zeit meiner Forschungsphase angefertigt habe und einen Zeitraum von 2019 bis 2022 umfassen (*Forschungstagebuch I*) sowie meinen beiden Aufenthalten bei der Forscher:innengruppe *Neurotech X* im Herbst 2020 (*Forschungstagebuch II*) und 2021 (*Forschungstagebuch III*).

Forschung identifizieren: hierzu zählen u.a. das an der Universität Freiburg angesiedelte Forschungszentrum *BrainLinks-BrainTools*⁹, die Einrichtung des *Bernstein Center for Computational Neuroscience* in Berlin¹⁰ oder das Innovationsnetzwerk *Neurotechnology in Mental-Health* an der TU München¹¹. Deutlich wird damit, dass in der deutschen Forschungslandschaft ein hinreichender Erfahrungsraum bezüglich der Arbeit an neurotechnologischen Methoden vorhanden ist.

Meine Arbeit verfügt über einen *ethnografischen* Zuschnitt. Diese Äußerung ist weniger selbstverständlich als es ihr Anschein suggeriert. Die Bezeichnung Ethnografie, die in der Regel für ein methodisches Vorgehen und eine Forschungsstrategie gewählt wird, die über die Beobachtung und Teilnahme an den Abläufen und Routinen in einem konkreten sozialen Raum (z. B. dem Forschungsalltag im Labor) ihren Zugang zur sozialen Wirklichkeit gewinnt, ist nicht geschützt und somit flexibel interpretierbar. So kann zum Beispiel in Hinblick auf jüngere Diskurse zum autofiktionalen Schreiben in der Literatur festgehalten werden, dass der Begriff Ethnografie zu einem zeitgenössischen Genre des Schreibens geworden ist, dessen Verfahrensweise variabel angepasst werden kann und spielerisch disziplinäre Grenzziehungen überschreitet (vgl. Amlinger 2022; Spoerhase 2017). Dass ausgerechnet in der Anthropologie Einwände gegenüber einem inflationären Gebrauch einer ethnografischen Forschungsstrategie artikuliert werden (Ingold 2017), vergegenständlicht, dass die Unterscheidung zwischen einer kreativen Aneignung und einem beliebig erscheinenden Selbstverständnis des eigenen Tuns kaum trennscharf zu ziehen ist. Mein Anliegen, ethnografisch zu verfahren, bestand darin – um eine Beschreibung Clifford Geertz' aufzunehmen –, »eine andere Lebensform wirklich durchdrungen [zu] haben (oder, wenn man das vorzieht, sich von ihr haben durchdringen lassen)« (Geertz 1990: 14). Es war mein Wunsch, eine andere Wissenskultur von »innen« zu erleben, ohne dass von vornherein klar gewesen wäre, welche Facetten ihrer Lebensform ich weiter beleuchte.

Dabei blieben mir zwei Zugangsweisen verschlossen: Da ich keine formale Ausbildung in den Neurowissenschaften und/oder einem ingenieurwissenschaftlichen Fachgebiet habe und die Arbeit an Neurotechnologien aufgrund ihrer Verknüpfung heterogener Wissensformen eine hohe Komplexität aufweist, war die Einnahme eines *nativen* Standpunkts, welche eine bruchlose und gleichberechtigte Teilhabe an den Wissenspraktiken gewährt hätte, mir nicht möglich. Zudem war

9 Vgl. online: <https://www.brainlinks-braintools.uni-freiburg.de/de/>. Zuletzt geprüft am 29.08.2025.

10 Vgl. online: <https://www.bccn-berlin.de/>. Zuletzt geprüft am 29.08.2025.

11 Vgl. online: <https://web.tum.de/inw/innovation-networks-im-ueberblick/neurotech-1/>. Zuletzt geprüft am 29.08.2025.

meine ethnografische Arbeit nicht Teil eines institutionell geförderten und festgeschriebenen Projekts (z.B. bezüglich des erwarteten »Outcomes« und der Laufzeit), welches eine Kooperation mit Neurowissenschaftler:innen und Ingenieur:innen vorsah, und mir die Rolle als ethisch verantwortlicher Sozialwissenschaftler zugewiesen hätte, eine Position, die immer mehr STS-Forscher:innen in soziotechnischen Projektzusammenhängen einen Zugang garantiert. Meiner Forschung fehlte daher eine gemeinsam formulierte Problemstellung, die eine andere Beziehung und Nähe zu den Forscher:innen zugelassen hätte, die ich in ihrer Praxis beobachten durfte. Ich war ihnen aber auch nicht die gleiche Rechenschaft hinsichtlich meiner Beobachtungen und Ergebnisse schuldig, die ein geteilter Projektkontext verlangt. Durch den Ausschluss dieser beiden Zugangsweisen nahm ich hingegen eine Einstellung und Haltung ein, die durchaus als typisch für eine ethnografische Perspektive angesehen werden kann: so lebten und profitierten meine Beobachtungen und Aufzeichnungen von einer *Fremderfahrung* (Amann/Hirschauer 1997; Breidenstein et al. 2013) gegenüber der laufenden Forschungsarbeit an Neurotechnologien und der Atmosphäre, in der sie stattfand.

In der vorliegenden Arbeit greife ich auf eine Form der Darstellung zurück, die gerade für die deutschsprachige Soziologie nichts Ungewöhnliches hat, die aber auch von meiner eigenen Positionierung im Laufe meines Forschungsprozesses zeugt. So werde ich wiederkehrend aus meinen Forschungstagebüchern zitieren und meine Aufzeichnungen optisch hervorheben (durch das bekannte Format des Einrückens der aufgerufenen Zitate). Daraus ergibt sich eine dialogische Struktur zwischen den verdichteten Aufzeichnungen aus meinen Forschungstagebüchern und ihrer Interpretation, welche die Argumentation der vorliegenden Arbeit wiedergibt. Dieses diskursive Wechselspiel aus Beschreibung und Kommentar schafft die Voraussetzung dafür, die Fremderfahrung während meiner ethnografischen Forschung zu kontextualisieren, einzuordnen und zu reflektieren. Für meine Analyse bot es sich an, auf ethnografische Vignetten (Bloom-Christen/Grunow 2022) zurückzugreifen, sie in Auszügen ausführlich darzulegen und zugleich darauf zu achten, dass sie nicht fließend in einen Gesamttext übergehen. Auf diese Weise habe ich versucht, die Unterbestimmtheit in sozioepistemischen Zwischenräumen an meinen Aufzeichnungen zur Forschung an Neurotechnologien plastisch aufzuzeigen, zugleich aber, sie durch eine vernehmbar deutende Stimme einzufangen und mittels theoretischer Begriffe auslegen zu können.

Neben dem ethnografischen Zuschnitt sind einige Anmerkungen zu meinen Interviews mit Forschenden zu treffen. Diese haben zwischen 45 und 120 Minuten gedauert, ich habe sie in Präsenz oder online (über die Plattform Zoom©) geführt. Für die Gespräche habe ich einen

semi-strukturierten Interviewleitfaden verwendet, der aber vor allem eine orientierende Funktion hatte¹²; so habe ich je nach Gesprächsverlauf Fragen ausgelassen oder situativ neu formuliert und ergänzt, um an Gesagtes anzuknüpfen oder um Präzisierungen zu bitten. Meine Fragen kreisten um drei Kernthemen: (i) Ich interessierte mich dafür, was meine Interviewpartner:innen zu der Forschungsarbeit an Neurotechnologien geführt hatte und wie der Weg dorthin biografisch gestaltet wurde; (ii) ich wollte mehr über die Zusammenarbeit bzw. das Zusammenwirken zwischen Neurowissenschaftler:innen, -mediziner:innen und Ingenieur:innen wissen, also mehr darüber erfahren, was passiert, wenn verschiedene Wissensbestände, Praktiken und Werte zusammentreffen; (iii) ich fragte meine Interviewpartner:innen danach, wie sie und ihnen außerwissenschaftliche Interessen und Ansprüche an Neurotechnologien, seien diese ökonomisch, politisch-regulativ oder ethisch, begegnen. In den Interviews versuchte ich einer explorativ-neugierigen Zurückhaltung zu entsprechen, die für qualitative Interviews in der empirischen Sozialforschung leitend ist (Froschauer/Lueger 2020). Meine Gesprächspartner:innen sollten möglichst viel Raum erhalten, ihre Themen und Relevanzen zu entfalten. Sofern es mir angebracht erschien, thematisierte ich eigene Erfahrungen aus meiner ethnografischen Arbeit zur THS, wobei ich Bezüge darauf zu vermeiden versuchte. Es war mir wichtig, nicht mit dieser Vorarbeit identifiziert und vor allem inhaltlich nicht auf sie reduziert zu werden.

Erst im Laufe meiner Interviews verstand ich besser, dass die Gespräche mit Forschenden ein eigenes Genre sind, welches methodisch bislang zu wenig reflektiert wurde. Ich stimme diesbezüglich dem Eindruck von Des Fitzgerald zu, dass in der Wissenschafts- und Technikforschung Interviewstudien gegenüber ethnografischen und diskursanalytischen Arbeiten kaum (noch) ein eigener methodischer Stellenwert zugesprochen wird (Des Fitzgerald 2017: 22ff.). Dabei liegen gewiss ausreichend methodologische Darstellungen von *Expert:inneninterviews* vor (Bogner et al. 2009; Bogner/Menz 2001; Gläser/Laudel 2004), die auf die Besonderheiten der Gesprächsführung mit spezialisierten Akteursgruppen hinweisen, deren Sonderwissen sie dazu autorisiert, als Wissensträger:innen über bestimmte Phänomene mit einem exklusiven Mandat zu sprechen. Interviews mit Forschenden als Expert:inneninterviews zu reflektieren, ist naheliegend, da einige auffällige Merkmale an ihnen (im Vergleich zu anderen Interviewformen und Gesprächspartner:innen) unmittelbar einleuchten: hierzu zählt die asymmetrische Wissensbeziehung zwischen dem:der Interviewer:in und dem:der Interviewten. Allerdings verkennt diese Einordnung konkretere Aspekte, welche diese Gespräche

12 Vgl. Anhang 1 und 2 für die von mir verwendeten Interviewleitfäden. Den etwas umfassenderen Interviewleitfaden im Anhang 2 habe ich vor allem während meiner ethnografischen Forschung genutzt.

ausmachen. Diese betreffen u.a. die Vertrautheit, die Forschende mit Interviews haben können. So hat Paul Rabinow darauf aufmerksam gemacht, dass *Stories* über Wissenschaftler:innen laufend durch Wissenschaftsjournalist:innen und den Öffentlichkeitsabteilungen von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen hervorgebracht werden (Rabinow 2007; Rabinow/Dan-Cohen 2005).¹³ Sich diesen Umstand bewusst zu machen ist wichtig, da mit ihm deutlich wird, dass Forschende in der Regel nicht unerfahren damit sind, was sie über ihre Forschung berichten, wie sie über sie sprechen können und auf welche Weisen ihre (Selbst-)Darstellungen in der Folge repräsentiert und rezipiert werden.

Diese Beobachtung schließt an meine bereits oben getroffene Thematisierung der Performanz an, die Wissenschaftler:innen im Zuge ihrer Forschungsarbeit sowie ihrer Überlegungen, ihren Reflexionen und ihrer Präsentation von Forschung hervorbringen. Für die vorliegende Arbeit hat es eine wiederkehrende Schwierigkeit bedeutet, wie mit der performativen Wirkung, die beispielhaft in Interviewsituationen auftritt und Effekte zeitigt, analytisch umgegangen werden kann und wie sie im Text darzustellen ist. In der Interpretationsarbeit bin ich diesbezüglich konventionell vorgegangen: Nachdem ich meine Interviews und meine ethnografischen Notizen transkribiert hatte, bin ich zunächst codierend durch das generierte Textmaterial gegangen und habe dieses nach Schlüsselthemen selektiert.¹⁴ Anschließend habe ich einzelne Ausschnitte einer weiteren Feinanalyse unterworfen und sie *Line-by-Line* ausgedeutet. Während dieses Interpretationsprozesses habe ich mich dann dazu entschieden, die von mir interviewten Forschenden figurenhafte zu modellieren (vgl. Etzemüller 2015: 37) und durch *theoretische Bilder* (Schlechtriemen 2022) (so etwa dasjenige der Prädestination in Kapitel 5.) in Szene zu setzen. Dafür habe ich ausgewählte Fälle und Situationen besonders stark belichtet, anstelle dass ich mein Material in seiner Breite präsentiere. Dass gewisse Abstriche in der Präsentation des empirischen Materials gemacht werden, ist ein notwendiger wie nicht weiter erwähnenswerter Einschnitt, der eine aufwändige Analyse erst zu einer lesbaren Narration macht. Hingegen zielt meine hier getroffene Begründung darauf, dass ich in Bezug auf die Auswahl meines Interviewmaterials und der ethnografischen Aufzeichnungen es vorgezogen habe, auf eine nachvollziehbare Kohärenz einzelner Begegnungen und Situationen zu setzen und sie zu Erzählungen zu verdichten, da erst auf diese Weise für den:die Leser:in verständlich werden kann, worin und wie sich eine Formgebungsarbeit äußert, wie sie sich in

13 Noch zu wenig berücksichtigt ist dabei, wie digitale Medien die Repräsentation von Wissenschaftler:innen verändern. Vgl. hierzu Gwozdz (2023).

14 Die Interviews wurden mit der Transkriptionssoftware MAXQDA angefertigt. Die Angaben zu den Interviews verweisen auf die Position in der Transkription. Bzgl. der Transkriptionsregeln vgl. Anhang 4.

bestimmten Motiven zeigt und welche Eindrücke sie hervorruft. Schließlich ist Performanz eine »Oberfläche, die tiefgehende Wirkungen hat, die jedoch intransparent gemacht werden« (Etzemüller 2015: 43).

1.5 Zum Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in drei Teile strukturiert: Der *erste* Teil (Kapitel 2 und 3) macht sichtbar, weswegen ich in meiner Analyse von Neurotechnologien typische Beschreibungsmodelle von hybriden Wissensfeldern (z.B. als inter- und/oder transdisziplinär) problematisiere und eine alternative konzeptuelle Herangehensweise als unverzichtbar bewertet habe. Dabei wird anhand meiner ethnografischen Aufzeichnungen aus einem neurotechnologischen Labor und der Auseinandersetzung mit disziplinären und professionellen Grenzziehungen, die innerhalb der Hirnforschung wirksam waren und sind, erkennbar, wodurch meine analytische Betrachtung sozioepistemischer Zwischenräume motiviert ist. Im *zweiten* Teil dieser Arbeit (Kapitel 4) werden die theoretisch leitenden Begriffe erläutert. Dieser Abschnitt fungiert als eine Drehscheibe, welche die Perspektive auf die Forschungsarbeit an Neurotechnologien nach einer ersten Annäherung neu justiert und ihr eine schärfere Einstellung verleiht. Während des Schreibprozesses und der Anordnung der Kapitel wurde mir bewusst, dass es eine ungewöhnliche Entscheidung ist, die Darlegung der theoretischen Ausrichtung in der Mitte der Arbeit zu platzieren. Meine Bedenken betrafen sowohl die Einhaltung narrativer Konventionen in den Geistes- und Sozialwissenschaften als auch den Anschein, dass mit der Platzierung eine Gewichtung vorgenommen wird, welche die konzeptuelle Reflexion ins Zentrum stellt. Stattdessen war es mir ein Anliegen, zunächst Auszüge aus meinen ethnografischen Beobachtungen darzulegen und mögliche Interpretationen meines Materials zu diskutieren, um die Probleme zu verdeutlichen, auf die ich in der Theoretisierungsphase stieß. Die Chronologie meiner Arbeit soll somit nachvollziehbar werden lassen, welcher Weg notwendig war, um eine konzeptuelle Lösung zu finden, die meiner analytischen Perspektive ihre Form gibt. Der *dritte* Teil (Kapitel 5, 6 und 7) setzt sich aus drei empirischen Analysen zusammen, in denen ich die Bewegungen von Forschenden in sozioepistemischen Zwischenräumen in den Vordergrund stelle und die Arbeit am Selbst nachvollziehe, die von den Akteur:innen in zwischenräumlichen Konstellationen geleistet wird. Meine Darstellung verdeutlicht die verschiedenen Ansprüche, die in der Forschungsarbeit an Neurotechnologien präsent sind und zugleich für die Forschenden zu wichtigen Legitimationsinstanzen werden, um ihr Tun zu rechtfertigen.