

White Paper zum Thema

„Neuralink“

Sommersemester 2020

Dozent: Professor Dr. Andreas Koch

Veranstaltung: Aktuelle Themen

Von: Tatjana Hezel, th134, 39202

Hochschule der Medien Stuttgart

Einleitung

Beschäftigt man sich mit künstlicher Intelligenz, kommt man immer wieder zur Befürchtung, diese könnte den Menschen überholen, gar ersetzen. Vor allem, da inzwischen schon kreative Arbeiten von künstlicher Intelligenz übernommen werden. Sogar Drehbücher sollen demnächst von künstlicher Intelligenz geschrieben werden.¹ Es stellt sich die Frage, ob es nicht einen Weg gibt, eine Verbindung zwischen Mensch und künstlicher Intelligenz zu schaffen, so dass künstliche Intelligenz den Menschen nicht einholt, sondern verbessert. Eben jene Frage stellte sich auch Tech-Mogul Elon Musk, was zur Idee „Neuralink“ führte, wodurch jenes erreicht werden soll: Eine Symbiose zwischen Mensch und künstlicher Intelligenz. In der vorliegenden Arbeit wird zunächst beschrieben, was genau unter „Neuralink“ zu verstehen ist, welche Ziele, Mikro- wie auch Makroziele, verfolgt werden und wie das Vorhaben umgesetzt werden soll. Weiterhin wird der Entwicklungsstand von Neuralink, auch im Hinblick auf bereits bestehende Technologie, dargelegt. Anschließend wird aufgezeigt, welche Hürden dem Projekt entgegenstehen, sowie ob und wie diese bewältigt werden können. Es folgt ein Ausblick in die Zukunft und eine kurze Darlegung, welche Problematiken möglich werden, wenn die Umsetzung von Neuralink wie geplant gelingt.

Was ist Neuralink?

Bei Neuralink handelt es sich um ein Startup, dem der bekannte Unternehmer Elon Musk als CEO vorsteht. Dieser ist auch für die Unternehmen Tesla und SpaceX verantwortlich.² Ziel des Unternehmens ist ein Interface mit sehr hoher Bandbreite zu erstellen, welches dem Nutzer ermöglicht, Computer mittels Gedanken zu bedienen.³ Es soll eine Verbindung zwischen Gehirn und Computer erreicht werden.

Ziele

Die vorrangigen Ziele liegen im **medizinischen Bereich**. Laut Elon Musks getroffenen Aussagen, gibt es kaum ein medizinisches Problem, das sich nicht durch Neuralink beheben lassen kann. So sollen Hirnverletzungen und Traumata behandelt werden.⁴ Im weiteren Schritt wäre es denkbar, dass sämtliche Behinderungen durch die Technologie bewältigt werden. So ist McAllister der Ansicht, dass das Interface sowohl Augenlicht, Gehör,

¹ Vgl. Haak, Steve (2020): Ella: Ein Textgenerator soll Drehbücher für Fernsehfilme schreiben. <https://www.welt.de/wirtschaft/gruenderszene/article205192347/Ella-Ein-Textgenerator-soll-Drehbuecher-fuer-Fernsehfilme-schreiben.html>, abgerufen am 06.09.2020.

² Siehe: Rixecker, Kim (2017): Neuralink: Elon Musk erklärt die ambitionierten Ziele seines neuen Startups. <https://t3n.de/news/neuralink-elon-musk-gehirn-telepathie-816843/>, abgerufen am 29.08.2020.

³ Vgl. Lahiry, Arnav (2020): Will Elon Musk's Neuralink Shape The Future Of Humanity?. <https://www.oxfordstudent.com/2020/05/19/will-elon-musks-neuralink-shape-the-future-of-humanity/>, abgerufen am 10.07.2020.

⁴ Vgl. Liberatore, Stacy (2020): Elon Musk says his Neuralink company will do human brain implants 'within a year' to help cure injuries - and the device could eventually enable symbiosis with AI. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8298575/Elon-Musk-says-Neuralink-company-human-brain-implants-year-cure-injuries.html>, abgerufen am 10.07.2020.

Beweglichkeit und die Fähigkeit zu sprechen dem Nutzer bei Bedarf zurückgeben könnte.⁵ Musk geht mit seinen Versprechungen weiter. Laut ihm wird es durch Neuralink möglich, alles, was im Gehirn fehlerhaft ist, zu behandeln.⁶ Dazu zählen neben Behinderungen auch andere, vom Gehirn ausgehende Erkrankungen, wie Parkinson⁷ oder Alzheimer⁸. Jedoch gehen Musks Ziele über den medizinischen Bereich hinaus. So soll es den Menschen ermöglicht werden, direkt über ihren Verstand mit Computern zu interagieren, um so Barrieren zwischen Mensch und Maschine zu überwinden.⁹ Der Grund für dieses Vorhaben liegt, unter anderem, in der **Latenz derzeitiger Kommunikation zwischen Mensch und Computer**. Musk beklagte die geringe „Datenrate“ und „Kommunikationsgeschwindigkeit“¹⁰. Er will dieses Problem durch Gedankensteuerung lösen: „Anstatt etwas ins Google-Suchfeld zu tippen, würde es reichen, an etwas zu denken - und schon hätte man alle gewünschten Infos im Kopf.“¹¹, so beschreibt es Wilhelm in einem Artikel. Dies ist jedoch nur ein weiterer Nebenzweig von Musks eigentlichem Interesse: Den Menschen mit künstlicher Intelligenz zu verbinden. Was schon häufig Stoff von Science-Fiction Filmen gewesen ist (unter anderem „Matrix“ oder „Terminator“) ist tatsächlich eine Sorge von Musk, nämlich, dass künstliche Intelligenz auf lange Sicht den Menschen überholen könnte und sogar zur Bedrohung wird. Musk sieht eine **Verbindung zwischen Menschen und künstlicher Intelligenz** als einzigen Weg um zu verhindern, dass diese für den Menschen unkontrollierbar wird.¹² Dabei soll künstliche Intelligenz ein Teil des menschlichen Gehirns werden, wie es alle anderen Teile sind.¹³ Mit anderen Worten: Künstliche Intelligenz als Erweiterung unseres Gehirns zu nutzen, ist dann so selbstverständlich, wie unseren Körper mit unserem Verstand zu bewegen. So will Musk am Ende Software-Updates direkt in die Nervenzellen des Gehirns laden, wie neue Sprachen, Bewegungsabläufe oder auch Bilder.¹⁴

⁵ Vgl. McAllister, Zoe (2020): Elon Musk's Neuralink Company Plans to Put Sensors in The Human Brain By The End of 2020. <https://newswire.net/newsroom/news/00119605-elon-musk-plans-to-put-sensors-in-the-human-brain-by-the-end-of-2020.html>, abgerufen am 10.07.2020.

⁶ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020): ELON MUSK'S MYTHS ABOUT THE MIND. <https://mindmatters.ai/2020/05/elon-musks-myths-about-the-mind/>, abgerufen am 10.07.2020.

⁷ Bartlett, Jonathan (2020).

⁸ Vgl. Brown, Mike (2020): ELON MUSK TEASES NEURALINK ADVANCEMENTS: 'REALITY IS GETTING WEIRD FAST'. <https://www.inverse.com/innovation/elon-musk-teases-neuralink-advancements-reality-is-getting-weird-fast>, abgerufen am 10.07.2020.

⁹ Vgl. Ebenda.

¹⁰ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹¹ Wilhelm, Zsolt (2019): Elon Musks Plan, uns zu Cyborgs zu machen. <https://www.derstandard.at/story/2000099975285/neuralink-elon-musks-plan-uns-zu-cyborgs-zu-machen-neurolace>, abgerufen am 10.07.2020.

¹² Vgl. McAllister, Zoe (2020).

¹³ Vgl. Urban, Tim (2017): Neuralink and the Brain's Magical Future. <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html>, abgerufen am 10.07.2020.

¹⁴ Vgl. Hegmann Gerhard (2019): Durch Löcher im Schädel will Elon Musk in unser Gehirn eindringen. <https://www.welt.de/wirtschaft/article197006211/Neuralink-Elon-Musk-pflanzt-kuenstliche-Intelligenz-ins-Gehirn.html>, abgerufen am 10.07.2020.

Umsetzung

Das geplante Implantat setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: Einem Chip und Elektrodenfäden. Chips werden über Löcher in die Schädeldecke eingesetzt.¹⁵ An diesen Chips hängen Elektrodenfäden, die um ein vielfaches dünner als ein menschliches Haar sind.¹⁶ Auf jeden Chip kommen 1024 dieser Elektroden.¹⁷ Diese sollen direkt in den Neuronen platziert werden,¹⁸ einen Millimeter in die Außenfläche des Gehirns.¹⁹ Über die Elektrodenfäden sollen Aktionspotentiale erkannt und aufgezeichnet werden, um, bei Bedarf, entsprechende Neuronen selektiv zu stimulieren.²⁰ Da alle Abläufe des Gehirns sich als elektrische Signale bezeichnen lassen, geht Musk davon aus, dass mit elektrischen Signalen auch sämtliche Fehlfunktionen im Gehirn korrigiert werden können.²¹ Der Chip sollte ursprünglich mit einem Empfangsgerät hinter dem Ohr verbunden sein.²² Dieses dient als Sensor und ist über Bluetooth mit einer App verknüpft.²³ So werden die Informationen vom Gehirn an das Endgerät übertragen, wodurch der Nutzer dieses mit seinem Verstand bedienen kann.²⁴

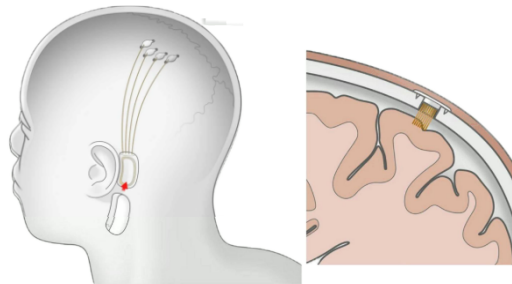


Abbildung 1²⁵: Zeichnung vom Implantat, Sensor ist mit Chips verbunden, an Chips hängen jeweils im Gehirn implantierte Elektrodenfäden.

Bei dem Update Ende August dieses Jahres, 2020, wurde vorgestellt, wie das Implantat innerhalb des letzten Jahr vereinfacht wurde. Der Sensor hinter dem Ohr ist kein Bestandteil mehr des Implantats.²⁶

¹⁵ Vgl. Hegmann, Gerhard (2019).

¹⁶ Vgl. Hegmann Gerhard (2019).

¹⁷ Vgl. Brown, Mike (2020).

¹⁸ Vgl. Hegmann Gerhard (2019).

¹⁹ Vgl. McAllister, Zoe (2020).

²⁰ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

²¹ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020).

²² Vgl. Hegmann Gerhard (2019).

²³ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

²⁴ Vgl. McAllister, Zoe (2020).

²⁵ Quelle: <https://images.app.goo.gl/nGNKE5HazvR9p2gJ8>, abgerufen am 08.09.2020.

²⁶ Vgl. CNET(2020): Watch Elon Musk's ENTIRE live Neuralink demonstration.

[Video on YouTube]. Veröffentlicht am 28. August 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08. September 2020, (TC 05:00-07:00).



Abbildung 2²⁷: Neuralink 0.9.

Es versteht sich von selbst, dass der Implantationsprozess, insbesondere das Implementieren der Elektroden in den Neuronen, ein hohes Maß an Präzision erfordert. Aus diesem Grund wird dies von einem dafür entwickelten Operationsroboter übernommen, der einer Nähmaschine ähnelt.²⁸ Diese sollen so genau arbeiten, dass dabei keine Adern verletzt werden.²⁹ Auch Bewegungen, die durch den Herzschlag verursacht werden, sind, nach vorliegenden Informationen, miteinbezogen.³⁰ Laut Musk soll sogar der gesamte Implementationsprozess von der Maschine übernommen werden.³¹

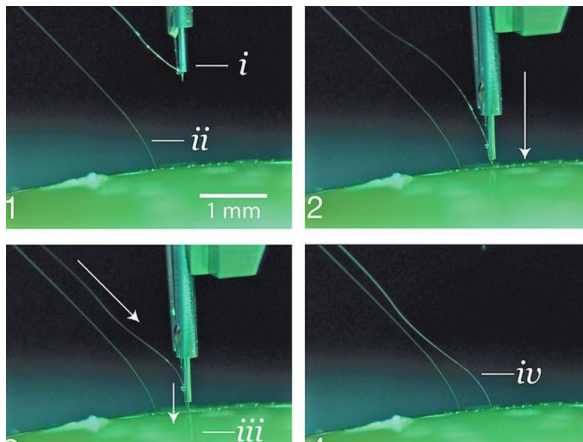


Abbildung 2³²: Einnähen der Elektrodenfäden ins Gehirn mit Operationsroboter.

²⁷ Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08.09.2020.

²⁸ Vgl. McAllister, Zoe (2020).

²⁹ Vgl. Hegmann Gerhard (2019).

³⁰ Vgl. Ebenda.

³¹ Vgl. CNET(2020): Watch Elon Musk's ENTIRE live Neuralink demonstration.

[Video on YouTube]. Veröffentlicht am 28. August 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08. September 2020, (TC 09:35-10:00).

³² Quelle:

<https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8298575/Elon-Musk-says-Neuralink-company-human-brain-implants-year-cure-injuries.html>, abgerufen am 08.09.2020.

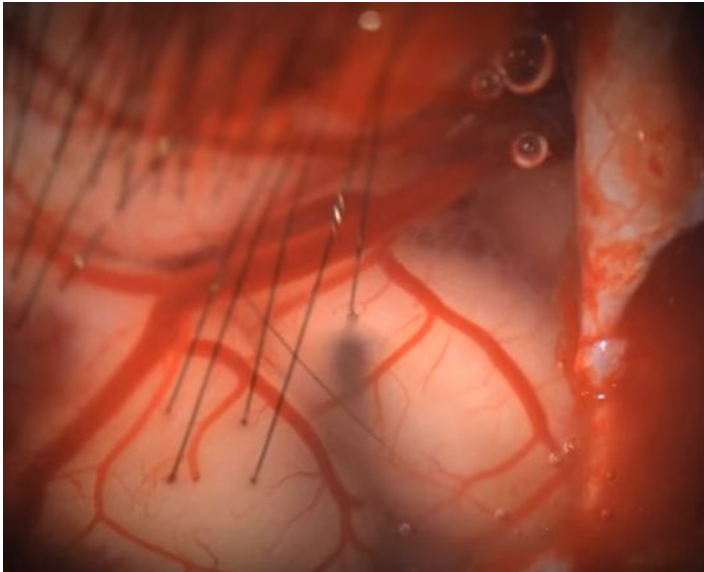


Abbildung 4³³: Elektrodenfäden im Gehirn

Die Energieversorgung des Interface scheint ebenso geklärt. So soll das Implantat durch einen integrierten Akku über Induktion geladen werden.³⁴ Wichtig ist vor allem, dass der Implementationsprozess möglichst gering aufwendig ausfällt. Dieser ist, laut neuestem Update, ambulant und dauert unter einer Stunde.³⁵ Elon Musks Aussage, dass er sich eine Implantation wünscht, die in ihrer Komplexität einer Laserbehandlung ähnelt³⁶, lässt vermuten, dass er möglicherweise am jetzigen Stand noch Verbesserungen anstrebt. Schließlich hängt der Erfolg von Neuralink von der Anzahl an Nutzer ab, die bei einem teuren, aufwendigen, langen, möglicherweise auch nicht ganz sicheren Implantationsprozess, sich eher gering halten dürfte.³⁷

Entwicklungsstand

Neuralink wurde bereits, angeblich erfolgreich, an Laborratten mit 1500 Elektroden getestet.³⁸ Laut neuestem Update kamen auch Affen als Versuchstiere zum Einsatz.³⁹ In der Nacht zum Samstag, den 29. August 2020, stellte Musk ein umfassendes Update vor. In

³³ Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08.09.2020.

³⁴ Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020): Elon Musk sucht nach besserer Verbindung zum Gehirn. <https://www.golem.de/news/neuralink-elon-musk-sucht-nach-besserer-verbinding-zum-gehirn-2008-150552.html>, abgerufen am 29.08.2020.

³⁵ Vgl. CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains [Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03. September 2020, (TC 08:20-10:00).

³⁶ Vgl. Urban, Tim (2017).

³⁷ Vgl. Ebenda.

³⁸ Vgl. McAllister, Zoe (2020).

³⁹ Vgl. Röder, Marie-Sophie (2020): Elon Musk will heute eine Hirn-Computer-Schnittstelle zur Steuerung von Computern und Geräten durch Gedanken vorstellen. <https://www.businessinsider.de/wissenschaft/neuralink-elon-musk-stellt-hirn-computer-interface-vor/>, abgerufen am 08.09.2020.

einem Livestream wurde der aktuelle Stand von Neuralink, Version 0.9, vorgestellt.⁴⁰ Der Chip weist eine Höhe von 8 Millimeter und einen Durchmesser von 23 Millimeter auf.⁴¹ Der derzeitige Stand wurde anhand eines Schweins vorgestellt, dem das Implantat eingesetzt wurde.⁴² Es wurde dabei hauptsächlich das Auslesen von Hirnsignalen vorgeführt. Die Hirnaktivitäten des Tastsinns der Schnauze wurden sichtbar und hörbar gemacht.⁴³ Weiterhin wurde ein Schwein beim Laufen auf einem Laufband gezeigt, dessen Hirnsignale in Form von Graphen dargestellt wurden.⁴⁴ Dabei wurde veranschaulicht, wie während des Laufens die Stellung der Beine vorhergesagt werden konnte.⁴⁵

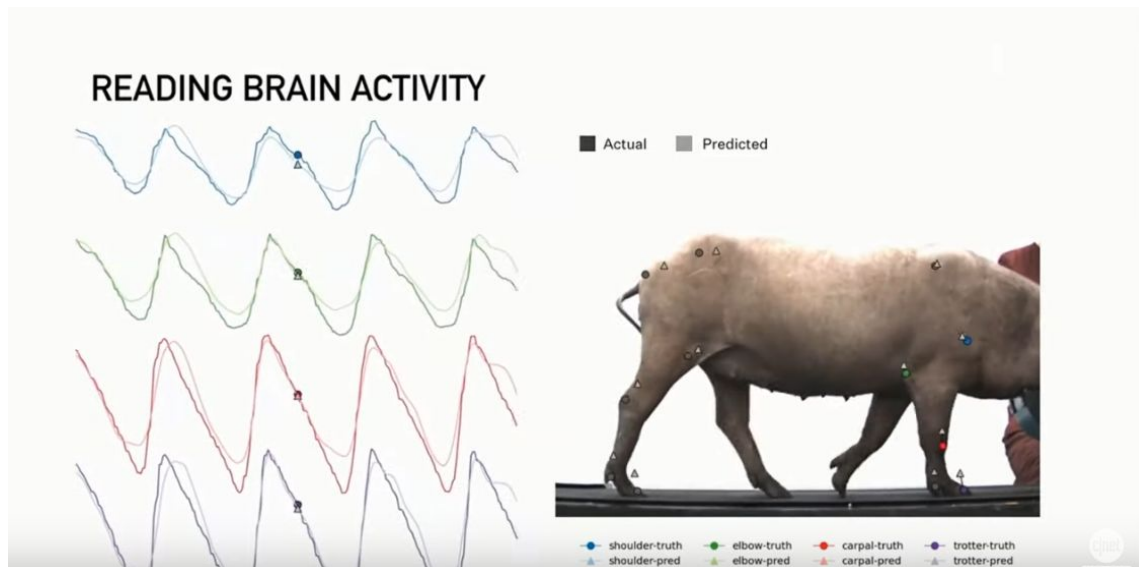


Abbildung 5⁴⁶: Vorhergesagte und tatsächliche Stellung der Beine

Im Implantat befinden sich zudem auch Druckmesser, Thermometer, Lage- und Beschleunigungssensoren.⁴⁷ Weitere technische Details wurden offenbart. Unter anderem dass die Datenrate bei 100 kBit/s.⁴⁸ Diese soll in Zukunft durch mehr Elektroden auf mehrere MBit/s erhöht werden.⁴⁹ Die Sample Frequenz der übertragenen Hirnsignale lag bei 20 kHz.⁵⁰ Weiterhin wurde ein Schwein gezeigt, welches einst über ein Implantat verfügt

⁴⁰ Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

⁴¹ Vgl. Ebenda.

⁴² Vgl. Ebenda.

⁴³ Siehe: CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains [Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03.September 2020, (TC 01:23-02:23).

⁴⁴ Siehe: CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains [Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03.September 2020, (TC 03:59-04:31).

⁴⁵ Siehe: CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains [Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03.September 2020, (TC 03:59-04:31).

⁴⁶ Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08.09.2020

⁴⁷ Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

⁴⁸ Vgl. Ebenda.

⁴⁹ Vgl. Ebenda.

⁵⁰ Vgl. Ebenda.

hatte, das wieder entfernt wurde.⁵¹ Damit wurde bewiesen, dass eine solche Entfernung möglich und unschädlich ist. Schließlich muss eine problemlose Entfernung möglich sein, sowohl für den Fall, dass Komplikationen auftreten, als auch um spätere Updates zu ermöglichen.⁵² Details zum Implementationsprozess wurden nicht bekannt gegeben. So wurde nicht gesagt, wie lange die Operation gedauert hat.⁵³ Ein Erfolg ist auch die erreichte Bidirektionalität. So funktionieren alle Elektroden in beiden Richtungen⁵⁴, können also sowohl Signale aufnehmen als auch stimulieren. Die Stimulation erfolgt mit einer Latenz von 7 Mikrosekunden und der Genauigkeit einer Mikrovolt.⁵⁵ Dies ist vor allem in Hinblick auf das erwähnte Ziel relevant, bei Lähmungen abzuweichen. Denn wenn es gelingt Signale aus dem Motorcortex zu empfangen und an Nerven im Rückenmark weiterzuleiten, können entsprechende Nervenschäden kompensiert werden.⁵⁶ Derzeit werden vor allem noch mehr Mitarbeiter gesucht. Dies sei auch Hauptzweck der Demonstration gewesen.⁵⁷ Zurzeit umfasst das Team von Neuralink noch eine recht schmale Anzahl an Mitarbeitern für die ambitionierten Ziele. Rund 100 Menschen arbeiten derzeit bei Neuralink.⁵⁸ Eine Steigerung auf 10.000 Mitarbeiter ist erwünscht.⁵⁹ Der nächste Schritt beinhaltet Tests an Menschen. Dies verkündete Musk bereits im Februar 2020.⁶⁰ Dazu hat die US-Regierungsbehörde FDA bereits die Erlaubnis gegeben.⁶¹ Allerdings kommen ausschließlich Menschen in Frage, die an einer tödlichen oder einer irreversibel lähmenden Krankheit oder ähnlichem leiden.⁶² Experten lobten die kurzfristigen Aussichten Neuralinks.⁶³ Auch der Neurobiologe vom Medical Center der Universität von Pittsburgh, Andrew Schwarz lobte Konzept und Fortschritte des Unternehmens.⁶⁴ Musk geht von einem Erscheinen in 10 Jahren aus, zumindest für Menschen ohne Behinderung.⁶⁵ Doch es gibt auch skeptische Stimmen. So gab die US-Techseite „Technology Reviews“ an, dass keine der von Neuralink versprochenen Anwendungen in greifbarer Nähe sei, während BBC kritisierte, man habe sich bei der Vorführung lediglich bekannter Techniken der Neurochirurgie bedient.⁶⁶ Dabei sind derartige Gehirn-Computer-Schnittstellen kein Pionierprojekt. Im Gegenteil, es wird bereits seit Jahrzehnten an BMIs geforscht.⁶⁷ Es ließen sich bereits Bildschirm-Cursor mit Gedanken bewegen.⁶⁸ Parkinson Patienten werden seit Langem mittels

⁵¹ Siehe: CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains [Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03. September 2020, (TC 00:42-01:10).

⁵² Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

⁵³ Vgl. Ebenda.

⁵⁴ Vgl. Ebenda.

⁵⁵ Vgl. Ebenda.

⁵⁶ Vgl. Ebenda.

⁵⁷ Vgl. Ebenda.

⁵⁸ Vgl. Ebenda.

⁵⁹ Vgl. Ebenda.

⁶⁰ Vgl. Brown, Mike (2020).

⁶¹ Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

⁶² Vgl. Ebenda.

⁶³ Vgl. Brown, Mike (2020).

⁶⁴ Vgl. Ebenda.

⁶⁵ Vgl. Urban, Tim (2017).

⁶⁶ Vgl. Schreiner Maximilian (2020): Elon Musks Gehirnchip: Was Experten über Neuralink sagen. <https://mixed.de/neuralink-kritik-ist-der-gehirnchip-von-elon-musk-schrott/>, abgerufen am 09.09.2020.

⁶⁷ Vgl. Hegmann Gerhard (2019).

⁶⁸ Vgl. Ebenda.

Tiefenhirnstimulation behandelt.⁶⁹ Dennoch gibt es einen zentralen Unterschied zwischen bereits existierenden Gehirn-Maschine-Schnittstellen und Neuralink. Dieser besteht darin, dass Neuralink mehr will, als das Gehirn mit Computern kommunizieren zu lassen. Das Gehirn soll im Endeffekt selbst zu einem Computer werden. Dieses Gebiet ist weitaus unerforschter. Die meisten Forschungen konzentrierten sich bis heute, wie auch Neuralink selbst, vorrangig auf Menschen mit Behinderungen.⁷⁰ Entwicklungen die darauf abzielen nicht nur Fähigkeiten wiederherzustellen, sondern neue Fähigkeiten zu schaffen, stehen ganz am Anfang.⁷¹ Auch in der erwünschten Bandbreite unterscheidet sich Neuralink von bestehenden Technologien. So besteht ein Cochlear Implantat aus 16 Elektroden, ein Retinal Implantat aus 60, was die Sinneswahrnehmung in beiden Fällen nur geringfügig beeinflusst.⁷² Mit Musks Zielen ist also eine wesentliche höhere Anzahl an Elektroden notwendig, als die bereits existierenden Schnittstellen verwenden. Das Auslesen der Hirnaktivität erfolgt bei den Schnittstellen meist über das Blut. Hirnforscher John-Dylan Haynes erklärt dies folgendermaßen: Wenn Neuronen aktiv werden, verbrauchen sie Sauerstoff, was den Magnetisierungsgrad des Blutes ändert, wodurch sich Aktivitätsmuster bilden.⁷³ Mittels KI⁷⁴ werden Computer darauf trainiert diese Muster den entsprechenden Gedanken zuzuordnen.⁷⁵ So konnten Querschnittsgelähmte Neuroprothesen bedienen, da allein der Versuch einer Bewegung ein bestimmtes Muster auslöst.⁷⁶ Doch auch dieses Verfahren steht laut Dylan-Haynes noch am Anfang.⁷⁷ Wichtig dabei ist zu erwähnen, dass bisherige Erfolge nur erzielt worden sind, indem die entsprechenden Versuche gezielt vorbereitet wurden. So bekamen die Probanden zuvor ein individuelles BCI-Training, durch welches Hirnsignale für den entsprechenden Versuch gesammelt werden konnten.⁷⁸ Forscher gestanden zudem, dass die Technologie nur sehr schwerfällig und ausschließlich unter Laborbedingungen funktioniert.⁷⁹ Gernot Müller-Putz, Professor am Institute of Neural Engineering der TU Graz, räumte ein, dass die bereits angewandte Technik darauf angewiesen ist, dass bekannt ist, auf welche Aktivitätsmuster geachtet werden muss.⁸⁰ Er äußerte große Zweifel an Musks Plänen: "Die Idee ist ja schlussendlich, dass man das gesamte Gedächtnis irgendwohin uploadet oder Wissen direkt ins Gehirn herunterlädt. In diesem Jahrhundert werden wir das nicht mehr erleben. Zumindest nicht in der Art und Weise, wie diese Tech-Giganten es uns verkaufen wollen."⁸¹ Weiter erklärte er, dass, trotz

⁶⁹ Vgl. Ebenda.

⁷⁰ Vgl. Urban, Tim (2017).

⁷¹ Vgl. Ebenda.

⁷² Vgl. Ebenda.

⁷³ Vgl. Eckoldt Matthias (2018): Das Fenster zum Hirn.

https://www.deutschlandfunkkultur.de/gedankenlesen-mit-neurowissenschaft-das-fenster-zum-hirn.976.de.html?dram:article_id=425645, abgerufen am 10.07.2020.

⁷⁴ Vgl. Griesser, Doris (2018): Greifen lernen mit Köpfchen.

<https://www.derstandard.at/story/2000090360921/greifen-lernen-mit-koepfchen>, abgerufen am 10.07.2020.

⁷⁵ Vgl. Eckoldt Matthias (2018).

⁷⁶ Vgl. Griesser, Doris (2018).

⁷⁷ Vgl. Eckoldt Matthias (2018).

⁷⁸ Vgl. Griesser, Doris (2018).

⁷⁹ Vgl. Kirchmayr Karin (2017): Wenn Maschinen Gedanken lesen

<https://www.derstandard.at/story/2000064312669/wenn-maschinen-gedanken-lesen>, abgerufen am 10.07.2020.

⁸⁰ Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

⁸¹ Gernot Müller-Putz zitiert nach Wilhelm, Zsolt (2019).

jahrzehntelanger Forschung, Gehirn-Computer-Schnittstellen noch vor großen Herausforderungen stünden.⁸² Im folgenden Teil wird erläutert, welche zentralen Herausforderungen Neuralink entgegenstehen, sowie ob und welche Lösungswege im jeweiligen Fall vorhanden sind.

Hürden

Komplexität des Gehirns

Die wohl größte Hürde, die nicht nur Neuralink, sondern Gehirn-Computer-Schnittstellen im Allgemeinen zu überwinden haben, ist die hohe Komplexität des menschlichen Gehirns. Insbesondere deswegen herrschen Zweifel, ob sich Elon Musks Vision erfüllen lässt. McAllister schreibt, dass noch nicht sicher gegangen werden kann, ob das Implantat überhaupt im menschlichen Gehirn funktioniert und das menschliche Gehirn zu Musks Zielen womöglich gar nicht fähig ist.⁸³ Auch Jonathan Bartlett wirft Elon Musk Naivität vor.⁸⁴ Matthew Cobb und Tim Urban bezeichnen das Gehirn in ihren Artikeln als das komplexeste Objekt des gesamten Universums.⁸⁵⁸⁶ Jeff Lichtman, ein Professor, drückte sich folgendermaßen aus: Er fragte seine Studenten, was sie glauben, wie weit der derzeitige Erkenntnisstand, bezüglich des menschlichen Gehirns, ist, wenn alles Wissen darüber eine Meile wäre und schätzte selbst die Länge der Forschungsstrecke auf drei Inches.⁸⁷ Dies ist auch der Grund, warum eine vollständige Entschlüsselung des Gehirns, die Dekodierung jedes Gedanken, ein Fernziel ist. Tim Urban verglich die bisherige Herangehensweise mit einem ständigen Vergleich zwischen zwei Wörterbüchern, was mit Millionen von Signalen kaum funktioniert.⁸⁸ Laut ihm braucht es einen großen Sprung in maschinellem Lernen um den Code von mehreren Millionen zündender Neuronen zu entschlüsseln.⁸⁹ Schon die Entschlüsselung und das Verständnis auf Mikroebene stellt Forscher vor eine große Herausforderung. Eve Marder, Neurowissenschaftlerin der Brandeis Universität, verbrachte ein Großteil ihrer Karriere damit, zu verstehen, wie ein rhythmisches Knirschen durch ein paar dutzend Neuronen im Bauch eines Hummers entsteht.⁹⁰ Trotz aller Mühen kann noch immer nicht vorhergesagt werden, wie sich eine kleine Veränderung in diesem kleinen Netzwerk auswirkt.⁹¹ Dabei sind im menschlichen Gehirn rund 100 Milliarden vernetzte Neuronen.⁹² Hinzu kommt, dass laut neuesten Studien jedes Neuron in der Komplexität einem Mikroprozessor ähnlich ist.⁹³ Außerdem sind ausgesendete Signale sehr individuell,

⁸² Vgl. Ebenda.

⁸³ Vgl. McAllister, Zoe (2020).

⁸⁴ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020).

⁸⁵ Vgl. Cobb, Matthew (2020): *Why your brain is not a computer.*

<https://www.theguardian.com/science/2020/feb/27/why-your-brain-is-not-a-computer-neuroscience-neural-networks-consciousness>, abgerufen am 27.08.2020.

⁸⁶ Vgl. Urban, Tim (2017).

⁸⁷ Vgl. Ebenda.

⁸⁸ Vgl. Ebenda.

⁸⁹ Vgl. Ebenda.

⁹⁰ Vgl. Cobb, Matthew (2020).

⁹¹ Vgl. Ebenda.

⁹² Vgl. Urban, Tim (2017).

⁹³ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020).

was BCI-Forscher vor zusätzliche Probleme stellt.⁹⁴ Weiter ist es so, dass es sich bei diesem Netzwerk nicht um eine festgelegte Struktur handelt. Neuronen unterliegen ständige Veränderung, verursacht durch Lernen.⁹⁵ Dabei werden Verbindungen wahlweise geschwächt oder gestärkt, Neuronen ändern ihren Ort oder auch ihre Form.⁹⁶ Eine Verbindung aus Pfaden wird aufgebaut, um das Erlernte wieder abrufbar zu machen.⁹⁷ Dies erschwert die Arbeit von Neuralink, insbesondere wenn es darum geht, aufgezeichnete Aktivitätsmuster wieder nachzustellen. Dies ist laut Flip Sabes, Mitarbeiter von Neuralink, eine große Schwierigkeit.⁹⁸ Grund dafür sind gerade die komplexen Vernetzungen der Neuronen, die diese schwer kontrollierbar machen. Sabes verglich es mit dem Sonnensystem und der Bewegung der Planeten darin, die man zwar beobachten und aufzeichnen kann, aber die Beeinflussung der Planeten untereinander macht es unmöglich einen Planeten von einer Umlaufbahn individuell in seine ursprüngliche zu stellen.⁹⁹ Auch sei es kaum möglich, Neuronen selektiv zu stimulieren, durch die Vielzahl an Axonen und Dendriten auf engem Raum.¹⁰⁰ Obwohl dies in Hinblick auf die Erfolgsaussicht von Neuralinks Maxizielen pessimistisch stimmt, gibt es Hoffnung. Zum einen sind nicht alle Neurowissenschaftler von der Unlösbarkeit des Gehirn überzeugt, sondern glauben, dass neue mathematische Methoden das Verständnis über die zahlreichen Zusammenhänge im menschlichen Gehirn ermöglichen.¹⁰¹ Außerdem scheint ein umfassendes Verständnis des menschlichen Gehirns kein Anspruch des Neuralink-Teams zu sein. So werden keine Neurowissenschaftler als Mitarbeiter gesucht, sondern vielmehr Hardware - und Softwareentwickler.¹⁰² Dabei wird deutlich, dass Neuralink seine Hoffnung nicht in menschliche Forschungsarbeit, sondern in künstliche Intelligenz setzt. Bestätigt wird dies auch durch Sabes Aussage, das Auslesen des Gehirns sei ein technisches Problem.¹⁰³ Es müsse lediglich eine Verbindung zwischen Neuronen und Computern geschaffen werden, so dass der Großteil der restlichen Arbeit von künstlicher Intelligenz übernommen wird.¹⁰⁴ Laut Sabes liegt sogar ein umgekehrter Sachverhalt vor: Anstatt dass zur Entwicklung der Technologie ein umfassendes Verständnis vom Gehirn notwendig ist, kann die Arbeit an der Technologie mit künstlicher Intelligenz ein solches Verständnis schaffen.¹⁰⁵ Auch soll maschinelles Lernen dazu beitragen, das System anpassbar zu machen, um Probleme hinsichtlich der Individualität der Signale entgegenzugehen.¹⁰⁶

Kompatibilität

Ebenso Grund für die Zweifel an der Umsetzbarkeit von Neuralink besteht in der Frage, ob Elektroden und Neuronen, Computer und Gehirn wirklich in der vorgesehenen Form

⁹⁴ Vgl. Kirchmayr Karin (2017).

⁹⁵ Vgl. Urban, Tim (2017).

⁹⁶ Vgl. Ebenda.

⁹⁷ Vgl. Ebenda.

⁹⁸ Vgl. Ebenda.

⁹⁹ Vgl. Ebenda.

¹⁰⁰ Vgl. Ebenda.

¹⁰¹ Vgl. Cobb, Matthew (2020).

¹⁰² Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

¹⁰³ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁰⁴ Vgl. Ebenda.

¹⁰⁵ Vgl. Ebenda.

¹⁰⁶ Vgl. Kirchmayr Karin (2017).

verbindbar sind. So glaubt auch Jonathan Bartlett an Limits bei den Parallelen zwischen Mensch und Maschine.¹⁰⁷ Diese These bestätigt auch Matthew Cobb in seinem Artikel „Your Brain is not a computer“.¹⁰⁸ Er schreibt, dass es zwar Parallelen gibt, wie die enge Lokalisierung von bestimmten Funktionen im Gehirn, wie sie auch in einer Maschine festzustellen sind, doch unter anderem neue, neuroanatomische Entdeckungen von Verbindungen zwischen Hirnregionen oder Beispiele, in denen Menschen normal funktionieren konnten, ohne Hirnteile für spezifische Verhaltensweisen, zeigen, dass Gehirne natürliche Phänomene und keine digitalen Geräte sind.¹⁰⁹ Weiter schreibt er, dass auch die Strukturen von Gehirnen und Computern komplett unterschiedlich seien und begründet dies mit einem Essay von Larry Abbott mit dem Titel „Where are the switches on this thing?“.¹¹⁰ Abbott schreibt darin, dass ein Schaltermechanismus, wie er in elektronischen Geräten typisch ist, im Gehirn nur sehr rudimentär auftritt, in Form von seltenen Wechselwirkungen in denen inhibitorische Synapsen den Aktivitätsfluss verändern.¹¹¹ So werden zwar im Gehirn Informationen binär weitergegeben,¹¹² dennoch ist ein Neuron nicht mit einem Schalter zu vergleichen, der an- und ausgeschaltet werden kann, sondern reagiert auf analoge Art, ändert seine Aktivität als Reaktion auf eine Veränderung in der Stimulation.¹¹³ In jedem bekannten Gerät bestehen die Knoten aus stabilen Punkten, wie Transistoren oder Ventile, während im Gehirn Sets an Neuronen, bestehend aus bis zu zehntausenden Neuronen, die Aktivitäten kanalisieren, verschieben und umleiten und selbst dann noch konsistent arbeiten, wenn Teile davon inkonsistentes Verhalten zeigen.¹¹⁴ Einen weiteren Unterschied sieht er im Zusammenspiel von Software und Hardware, die im Computer getrennt voneinander vorliegen, im Gehirn jedoch untrennbar verbunden sind.¹¹⁵ Zudem ist auch Copp davon überzeugt, dass die Komplexität des menschlichen Gehirns jede vorstellbare Maschine weit übertrifft.¹¹⁶ Unterschiede bestehen auch im verwendeten Medium der Informationsübertragung. Während Computer mittels Elektronen kommunizieren, erfolgt die Informationsübertragung im Gehirn durch Ionen wie Natrium und Kalium.¹¹⁷ Durch die Übersetzung von Ionen in Elektroden und umgekehrt wird der Datenfluss verlangsamt.¹¹⁸ Weiterhin gibt es Zweifel an Musks Überzeugungen hinsichtlich künstlicher Intelligenz und der Vergleichbarkeit mit menschlicher Intelligenz. Unter anderem Jerome Pesenti, der bei Facebook die Abteilung für künstliche Intelligenz leitet, kritisierte Musks Haltung mit den Worten, dass Musk keine Ahnung habe, wovon er, hinsichtlich künstlicher Intelligenz, spreche und das künstliche Intelligenz noch nicht mal in der Nähe menschlicher Intelligenz sei.¹¹⁹ Auch Bartlett hat Zweifel an Musks Verständnis von

¹⁰⁷ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020).

¹⁰⁸ Vgl. Cobb, Matthew (2020).

¹⁰⁹ Vgl. Ebenda.

¹¹⁰ Vgl. Ebenda.

¹¹¹ Vgl. Ebenda.

¹¹² Vgl. Urban, Tim (2017).

¹¹³ Vgl. Cobb, Matthew (2020).

¹¹⁴ Vgl. Ebenda.

¹¹⁵ Vgl. Ebenda.

¹¹⁶ Vgl. Ebenda.

¹¹⁷ Vgl. Chen, Angela (2018): Why it's so hard to develop the right material for brain implants.

<https://www.theverge.com/2018/5/30/17408852/brain-implant-materials-neuroscience-health-chris-bettinger>, abgerufen am 10.07.2020.

¹¹⁸ Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

¹¹⁹ Vgl. Brown, Mike (2020).

künstlicher Intelligenz und schreibt, dass er bereits innerhalb seines Tesla Projekts, sprich selbstfahrenden Autos, lernen musste, dass künstliche Intelligenz nicht die menschliche ersetzt und somit eine Niederlage eingestanden hat.¹²⁰

Bandbreite

Wie bereits beschrieben unterscheidet sich Neuralink von bestehenden Brain-Computer-Interfaces in Hinblick auf die gewünschte Bandbreite. Eine derart leistungsfähige Verbindung zwischen Mensch und Computer ist nicht nur aufgrund der dargelegten Komplexität der Funktionsweise des Gehirns, sondern auch aufgrund der ebenso erwähnten Vielzahl an Neuronen problematisch. So plant Neuralink das Einsetzen von rund 3000 Elektroden, während sich im Gehirn etwas 80 Milliarden Neuronen befinden.¹²¹ Dabei geht das Neuralink Team davon aus, dass die gleichzeitige Aufzeichnung von mindestens einer Millionen Neuronen erforderlich ist, um einen relevanten technischen Fortschritt zu erlangen.¹²² Jedoch ist ein Implantat mit dieser Anzahl an Elektroden kaum umsetzbar. Eine Multielektroden-Array mit einer Million Elektroden hätte die Größe eines Baseballs.¹²³ Es ist also notwendig eine Miniaturisierung zu erreichen.¹²⁴ Dies scheint ein durchaus realistisches Ziel zu sein, eine Schlussfolgerung die sich aus vergangenen technischen Fortschritten ziehen lässt. Betrachtet man beispielsweise die Entwicklung der Transistoren von Computern. Hier war zunächst ebenfalls der Platzbedarf dieser eine relevante Problemstellung.¹²⁵ Lösung war 1959 der Computerchip, eine integrierte Schaltung, wodurch die Anzahl an Transistoren erhöht werden konnte.¹²⁶ Die Entwicklung wird als Moore'sches Gesetz bezeichnet: Eine Verdopplung der Anzahl an Transistoren alle 18 Monate.¹²⁷ Eine ähnliche Entwicklung ließ sich bereits bei Elektroden beobachten. Erst wurden Elektroden für BMI's von Hand hergestellt, bis entdeckt wurde, wie ein Multielektroden-Array mit herkömmlicher Halbleitertechnologie hergestellt werden kann, was, laut Neurochirurg Ben Rapoport, ein Hinweis darauf ist, das Moores Gesetze für BMI's relevant werden könnte.¹²⁸ Aus diesem Grund ist Tim Urban der Meinung, dass ein Urteil darüber, wie nahe Neuralink an der Aufzeichnung von einer Million Neuronen ist, hauptsächlich von der Wachstumsrate abhängt.¹²⁹ Steigt die Anzahl alle 18 Monate um 500 Neuronen wird es noch bis 5017 dauern, bis eine Millionen Neuronen gleichzeitig aufgezeichnet werden können.¹³⁰ Doch ist alle 18 Monate eine Verdopplung festzustellen, wird das eine-Millionen-Ziel bereits im Jahr 2034 erreicht sein.¹³¹ Laut einer Studie von Ian Stevenson und Konrad Kording, die das Wachstum an Neuronen, die gleichzeitig aufgezeichnet werden können, untersucht haben, verdoppelt sich die Anzahl alle 7,4 Jahre,

¹²⁰ Vgl. Bartlett, Jonathan (2020).

¹²¹ Vgl. Ebenda.

¹²² Vgl. Urban, Tim (2017).

¹²³ Vgl. Ebenda.

¹²⁴ Vgl. Ebenda.

¹²⁵ Vgl. Ebenda.

¹²⁶ Vgl. Ebenda.

¹²⁷ Vgl. Ebenda.

¹²⁸ Vgl. Ebenda.

¹²⁹ Vgl. Ebenda.

¹³⁰ Vgl. Ebenda.

¹³¹ Vgl. Ebenda.

was bedeutet, dass die Aufzeichnung von einer Million bis zum Ende dieses Jahrhunderts dauert.¹³² Laut Tim Urban ist dieses Wachstum zu schwach.¹³³ Er hofft auf einen Paradigmenwechsel von Stevensons Law, wie die erwähnte Studie auch genannt wird, zu Moores Law.¹³⁴ Folglich ist, ähnlich bei der Problemstellung der Komplexität des Gehirns, auch bei dieser Hürde auf einen Entwicklungssprung zu hoffen. Ein solcher Sprung würde einen Kreislauf auslösen: Die Bandbreite wird höher, das Interface besser, die Prozedur einfacher und billiger und das öffentliche Interesse wird wach, so dass die Entwicklungsrate weiter ansteigt.¹³⁵ Allerdings bleibt zu erwähnen, dass bereits mit 100.000 gleichzeitig aufgezeichnete Neuronen eine Vielzahl an Anwendungen möglich ist.¹³⁶

Materialfrage

Eine weitere Frage, die noch beantwortet werden muss, ist die nach dem richtigen Material für das Implantat. Aus verschiedenen Gründen ist dies eine schwierige Frage. Zum einen ist die Möglichkeit einer Abstoßung zu berücksichtigen. Zwar geht Musk von einem geringen Risiko einer Abstoßung aus,¹³⁷ allerdings könnte die Blut-Hirn-Schranke, zumindest laut Eckoldt, problematisch sein.¹³⁸ Dabei handelt es sich um eine Barriere im Gehirn, die ungebrauchte Stoffe abfängt.¹³⁹ Weiterhin neigt das Gehirn dazu, Fremdkörper mit Narbengewebe zu überdecken.¹⁴⁰ Dem Gehirn müsste also beigebracht werden, das Implantat als Teil des Körpers anzusehen.¹⁴¹ Außerdem muss dafür gesorgt werden, dass das Implantat im Gehirn haltbar bleibt. Ziel ist schließlich ein Implantat zu schaffen, das ein Menschenleben lang Bestand hat.¹⁴² Das Problem ist dabei nicht nur, dass der Körper ungerne Fremdkörper duldet, sondern auch, dass eine instabile Umgebung für empfindliche Elektronik ungeeignet ist.¹⁴³ Das Implantat müsste jahrzehntelange Verschiebungen von Neuronen überstehen.¹⁴⁴ Außerdem gibt es auch Stimmen, die schon die Wahl von Elektroden für das Vorhaben kritisch sehen. Laut Tim Urban sind Elektroden in ihrer Funktion, die aus purer elektronischer Aufzeichnung und Stimulation besteht, zu unflexibel für die Ziele Neuralinks.¹⁴⁵ Stattdessen sollte nach etwas Komplexerem gesucht werden, was sowohl chemisch als auch mechanisch und elektrisch mit den Neuronen interagieren kann, etwas, was über die mechanische Komplexität von Schaltkreisen verfügt.¹⁴⁶ Auch die Gefahr für Verletzungen sollte nicht unbedacht bleiben. Zwar äußerte sich der Materialforscher und biomedizinische Ingenieur Christopher Bettinger 2018 zur Frage nach Verletzungen durch Neuralink noch optimistisch und gab an, keine gravierenden

¹³² Vgl. Ebenda.

¹³³ Vgl. Ebenda.

¹³⁴ Vgl. Ebenda.

¹³⁵ Vgl. Ebenda.

¹³⁶ Vgl. Ebenda.

¹³⁷ Vgl. Liberatore, Stacy (2020).

¹³⁸ Vgl. Eckoldt Matthias (2018).

¹³⁹ Vgl. Ebenda.

¹⁴⁰ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁴¹ Vgl. Ebenda.

¹⁴² Vgl. Ebenda.

¹⁴³ Vgl. Ebenda.

¹⁴⁴ Vgl. Ebenda.

¹⁴⁵ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁴⁶ Vgl. Ebenda.

Verletzungen aufgrund der geringen Breite der Elektrodenfäden zu befürchten.¹⁴⁷ 2019 aber äußerte er sich negativer und sagte, dass bereits kleinste Verschiebungen zu Verletzungen und Entzündungen führen könnten.¹⁴⁸ Außerdem ist es auch aus seiner Sicht wichtig ein Material zu finden, das nicht regelmäßig getauscht werden muss.¹⁴⁹ Silizium erweist sich mit einer Lebensdauer von gerade einmal 5 Jahren¹⁵⁰ damit als ungeeignet. Aus diesem Grund liegt die Hoffnung derzeit vor allem auf Polymeren. Diese sind weicher und dehnbarer als das starre Silizium.¹⁵¹ Weiterhin wird daran geforscht, elektronische Verbindungen mit Gelatine ähnlichen Stoffen zu ermöglichen, was laut Wilhelm ein Durchbruch im Bereich der Neuroimplantate bedeuten könnte.¹⁵² Bei der Materialfrage sollte auch der Implantationsprozess beachtet werden, der möglichst gering-invasiv gehalten werden soll. Dazu gibt es viele innovative Ideen. BCI-Spezialist Gernot Müller-Putz denkt an eine nicht-invasive Lösung, bei der Kopfhörer aufgesetzt werden, die Elektroden implementiert haben, welche dann Gehirnströme auslesen.¹⁵³ Allerdings sieht er im Bereich von Trockenelektroden und der Signalqualität von Trockenelektroden noch Nachholbedarf in der Entwicklung.¹⁵⁴ Ein Team an der Universität von Illinois forscht derzeit an Seide mit aufgetragenen Siliziumtransistoren, was als Bündel aufgerollt und so ins Gehirn eingeführt werden könnte, um sich dort auszubreiten und einzuschmelzen.¹⁵⁵ Eine andere Möglichkeit wurde bei einem Ted Talk von Hong Yeo demonstriert: Ein Tattoo ähnliches Elektroden Array direkt auf der Haut.¹⁵⁶ Wissenschaftler sind der Meinung, dass dies auch für ein BMI denkbar wäre.¹⁵⁷



Abbildung 6¹⁵⁸: Elektrodenarray auf Haut.

Desweiteren forscht ein Team an einem mit Elektroden bekleideten neuronalem Netz, das ins Gehirn mit einer Spritze injiziert wird und sich dort ausbreitet, sich also wie eine Schicht über das Gehirn legt.¹⁵⁹

¹⁴⁷ Vgl. Chen, Angela (2018).

¹⁴⁸ Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

¹⁴⁹ Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

¹⁵⁰ Vgl. Chen, Angela (2018).

¹⁵¹ Vgl. Ebenda.

¹⁵² Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

¹⁵³ Vgl. Ebenda.

¹⁵⁴ Vgl. Ebenda.

¹⁵⁵ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁵⁶ Vgl. Ebenda.

¹⁵⁷ Vgl. Ebenda.

¹⁵⁸ Quelle: <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html>, abgerufen am 10.07.2020.

¹⁵⁹ Vgl. Urban, Tim (2017).

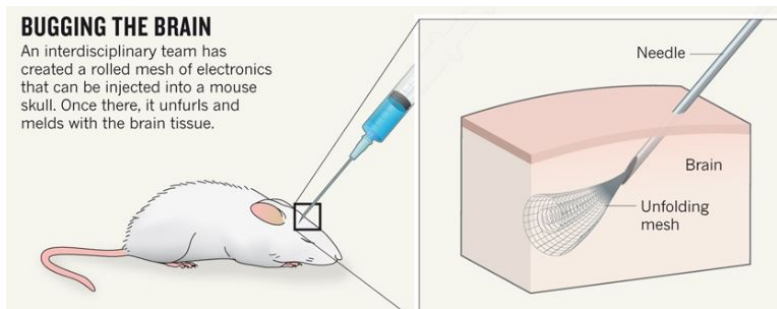


Abbildung 7¹⁶⁰: Injizierung eines neuronalen Netz.

DJ Seo, ein Mitarbeiter von Neuralink, hatte die Idee von neuronalem Staub: Siliziumsensoren mit einem Durchmesser von 100 μm , die durch den Kortex gestreut werden und mit einem, sich darüber befindenden, drei Millimeter Gerät über Ultraschall kommunizieren.¹⁶¹

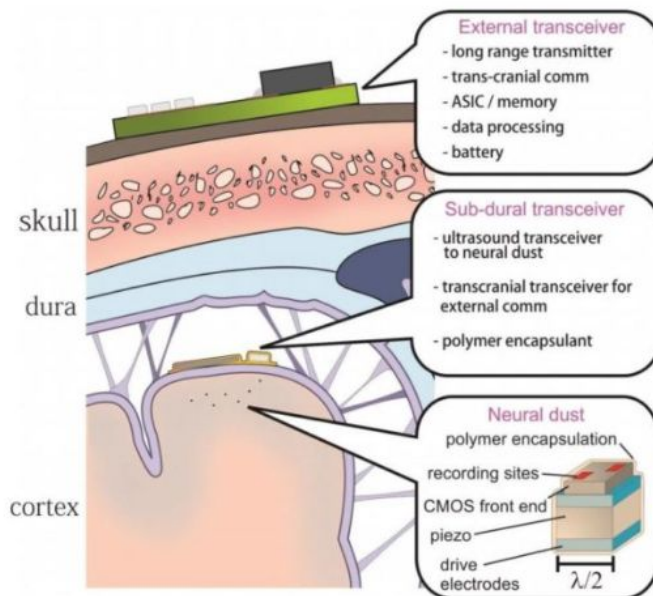


Abbildung 8¹⁶²: Umsetzung der Idee von neuronalem Staub.

Ein weiterer Ansatz ist das Injizieren eines Virus, das sich an Gehirnzellen anlagert und durch Licht stimuliert wird.¹⁶³ Ein Vorschlag der, vor allem angesichts der aktuellen Pandemie, die aufzeigt, wie schwer es ist, ein Virus zu kontrollieren, vermutlich für die Meisten leicht abschreckend klingt.

¹⁶⁰ Quelle: <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html>, abgerufen am 10.07.2020.

¹⁶¹ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁶² Quelle: <https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html>, abgerufen am 10.07.2020.

¹⁶³ Vgl. Urban, Tim (2017).

Es zeigt sich deutlich, dass es an Ideen und Innovationen in der Branche kaum mangelt, weshalb davon auszugehen ist, dass, wenn auch manche Ziele noch in weiter Ferne zu sein scheinen, wenn nicht gar unmöglich klingen, vielleicht schneller Realität werden, als man annehmen könnte. So appelliert auch Tim Urban im Hinterkopf zu behalten, dass die Technologie der Zukunft für die Menschen in der Vergangenheit stets unvorstellbar schien.¹⁶⁴ Man stelle sich vor, man würde nur 100 Jahre in der Zeit zurückgehen. Den damaligen Menschen würde es vermutlich schwer fallen zu glauben, was heute technischer Alltag ist. Auch Eckoldt ist davon überzeugt, dass „das Fenster zum Hirn [...] mit zunehmender Rechenleistung und weiteren technologischen Innovationen immer größer [wird].“¹⁶⁵ Er warnt aber auch vor den Konsequenzen, mit den Worten, dass die Frage bleibt, ob alles was machbar ist auch umgesetzt werden müsse und das private Innenleben öffentlich zugänglich werden könnte.¹⁶⁶

Zukunftsaussichten

Werden alle Ziele Neuralinks erreicht, gibt es durchaus eine große Anzahl an bedeutenden Veränderungen, die dadurch denkbar werden. Die Implantate könnten verbale Kommunikation überflüssig machen und Gedankenkommunikation würde an dessen Stelle treten.¹⁶⁷ Diese Vision hat auch Elon Musk: „You wouldn’t need to verbalize unless you want to add a little flair to the conversation or something, but the conversation would be conceptual interaction on a level that’s difficult to conceive of right now.“¹⁶⁸ Das dies möglich ist, wurde schon vor einiger Zeit in Brasilien bewiesen, wo der Motor Kortex zweier Ratten verbunden wurde.¹⁶⁹ So arbeiteten die Ratten gemeinsam an einem Problem, obwohl sie an zwei verschiedenen Orten waren.¹⁷⁰ Dabei könnte das kommunizieren über bloße inhaltliche Informationen hinausgehen. Eventuell könnten sogar Emotionen kommuniziert werden,¹⁷¹ in der Form, dass man den „Gesprächspartner“ die eigenen Empfindungen fühlen lässt. Oder noch mehr als das: Sensorische Kommunikation.¹⁷² Man ist am Meer und lässt Menschen, die Kilometer weit weg sind, das Meer riechen und den Wind spüren.¹⁷³ Vielleicht könnte dies sogar mit Tieren möglich sein, deren Erfahrungen wahrnehmbar werden.¹⁷⁴ Nachempfinden wie sich der Vogel im Flug oder der Delfin beim Schwimmen fühlt. Ein weiterer Gedanke ist die sensorische Verbindung mit Gegenständen, wodurch eine Operation vorgenommen wird, indem die Ärzte mit ihren Fingern die Wahrnehmung des Skalpells spüren.¹⁷⁵ Nicht nur Computer, sondern sämtliche Gegenstände könnten so mit dem Verstand bedient werden.¹⁷⁶ Der nächste Schritt ist, dass dies nicht nur auf die Gegenwart bezogen möglich ist, sondern dass Erinnerungen entsprechend aufgezeichnet

¹⁶⁴ Vgl. Ebenda.

¹⁶⁵ Eckoldt Matthias (2018).

¹⁶⁶ Vgl. Ebenda.

¹⁶⁷ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹⁶⁸ Elon Musk zitiert nach Urban, Tim (2017).

¹⁶⁹ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁷⁰ Vgl. Ebenda.

¹⁷¹ Vgl. Ebenda.

¹⁷² Vgl. Ebenda.

¹⁷³ Vgl. Ebenda.

¹⁷⁴ Vgl. Ebenda.

¹⁷⁵ Vgl. Ebenda.

¹⁷⁶ Vgl. Ebenda.

und geteilt werden können.¹⁷⁷ Auch die Unterhaltungsindustrie wäre von solchen Entwicklungen maßgeblich beeinflusst. Ein Spiel, ein Film oder anderes wird nicht mehr durch bloßes Sehen konsumiert, sondern man ist mit allen Sinnen Teil des Geschehens.¹⁷⁸ Weiterhin droht Schulen das aus. Denn wird Musks Ziel vollständig erfüllt, kann Wissen direkt ins Gehirn geladen werden und muss nicht erlernt werden. Alles was man Wissen will, weiß man in dem Moment, in dem man sich wünscht es zu wissen und auch Bücher sind durch bloßen Wunsch „gelesen“.¹⁷⁹ Die Visionen nehmen auch spirituelle Züge an. Die Frage ist, ob das Bewusstsein eines Menschen sogar in eine Online Cloud geladen werden kann. So sagte Musk selbst in einem Podcast mit Joe Rogan: „It would just be that more of you would be in the cloud instead of your body.“¹⁸⁰ Bei all den Zukunftsszenarien gibt es auch skeptische, gemäßigte Stimmen. Wie auch Matthew Cobb, der Musks Idee vom Online Geist widerspricht. Laut ihm ist die Vorstellung, der Geist eines Menschen sei wie ein Betriebssystem, das auf ein anderes Medium geladen werden kann, falsch und sehr naiv.¹⁸¹ Dazu müsste es, laut Cobb, möglich sein, die Aktivität eines Nervensystems vollständig zu modellieren, während wir noch von der Modulation eines einzigen Gedanken weit entfernt seien, womit, zumindest die letzte Vision, in seinen Augen als Fantasie abgetan werden kann, zumindest in ferner Zukunft.¹⁸² Musk selbst geht davon aus, dass die Technologie sich langsam genug entwickeln wird, so dass die Menschen sich daran gewöhnen und anpassen können.¹⁸³ Eine Frage ist aber, ob es von Menschen auch erwünscht ist, dass ihr eigenes Gehirn zu einem Computer wird. So hat eine Umfrage ergeben, dass solche Mensch-Maschine-Schnittstellen die Amerikaner mehr ängstigt als Gentechnik.¹⁸⁴ Am Ende gilt was Müller-Putz zum Ausdruck brachte: "Letzten Endes müssen es die Menschen auch wollen."¹⁸⁵

Ethische Bedenken

Es gibt zahlreiche Gründe für die Angst und das Misstrauen der Menschen einer solchen Technologie gegenüber. Erst wäre die Frage, ob Menschen dadurch nicht ein Stück weit entmenschlicht, gar zu Cyborgs werden. Elon Musk entgegnete darauf, dass Menschen dies schon teilweise seien. Zum einen, da heute schon künstliche Bestandteile, wie Herzschrittmacher in Menschen eingesetzt werden,¹⁸⁶ zum anderen, weil Menschen stark mit ihren technischen Geräten verbunden sind, zumindest emotional. So sagt Musk, Menschen würden sich bei fehlendem Smartphone fühlen, als fehle ihnen ein Körperteil.¹⁸⁷ Doch wenn das Gehirn selbst zum Computer wird, ist der Gedanke naheliegend, dass es auch die Nachteile und Sicherheitslücken eines Computers übernimmt. Beispielsweise stellt

¹⁷⁷ Vgl. Ebenda.

¹⁷⁸ Vgl. Ebenda.

¹⁷⁹ Vgl. Ebenda.

¹⁸⁰ Elon Musk zitiert nach Liberatore, Stacy (2020).

¹⁸¹ Vgl. Cobb, Matthew (2020).

¹⁸² Vgl. Ebenda.

¹⁸³ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹⁸⁴ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁸⁵ Gernot Müller-Putz zitiert nach Wilhelm, Zsolt (2019).

¹⁸⁶ Vgl. Liberatore, Stacy (2020).

¹⁸⁷ Vgl. Ebenda.

sich die Frage, ob das Gehirn dann auch gehackt werden kann.¹⁸⁸ Tim Urban äußert den Gedanken, ob das Gehirn sich Bugs einfangen oder gar crashen kann.¹⁸⁹ Müller-Putz gibt zu Bedenken, dass jede Technologie Missbrauch möglich macht.¹⁹⁰ Neuralink ist durchaus darum bemüht, Sicherheitsstandards zu wahren. Bei der Vorführung von Neuralink 0.9 wurde verkündet, dass die Verbindung schon jetzt komplett verschlüsselt ist und sich ein Team von Neuralink um die Sicherheit kümmert und entsprechende Tests durchführt.¹⁹¹ Es kann davon ausgegangen werden, dass das Einhalten von Sicherheitsstandards für den Erfolg und die Markteinführung des Implantats erforderlich ist. Schließlich muss es von der US-Amerikanischen Food and Drug Administration genehmigt werden.¹⁹² Musk ist zuversichtlich, dass das Lesen von Gedanken kein Thema wird. Er verglich dies damit, dass man auch nicht spricht wenn man nicht sprechen will und damit einen Gedanken nicht teilen wird, den man nicht teilen will.¹⁹³ Auch Facebook arbeitet derzeit an einem Interface, mit dem Gedanken direkt in Textnachrichten umgewandelt werden.¹⁹⁴ Entsprechend äußerte sich auch Regina Dugan, eine Managerin bei Facebook, zu der Problematik. Sie pflichtet Musk bei und erklärt, dass der Gedanke im Sprachzentrum sein muss, um erkannt zu werden.¹⁹⁵ Dennoch stellt sich auch Eckoldt die Frage, ob die Tatsache, dass manches schneller gedacht als gesagt wird, nicht trotzdem zu Schwierigkeiten führt.¹⁹⁶ Es ist zudem durchaus möglich, dass das Interface funktioniert aber nur von den Reichsten bezahlt werden kann. In diesem Fall würde sich dadurch die wirtschaftliche und soziale Ungleichheit erhöhen.¹⁹⁷ Doch vielleicht ist auch das Gegenteil der Fall und das Interface macht jeden Menschen zum Übermenschen. Alle Fehler, alle Makel werden ausgemerzt. Auch dieser Gedanke hinterlässt ein unangenehmes Gefühl. Es gibt die Befürchtung, dass dadurch die Individualität verloren geht.¹⁹⁸ Laut Tim Urban gehen allerdings Experten davon aus, dass sogar das Gegenteil der Fall ist und Technologie Menschen zu mehr Individualität verhilft, da Technologie den Ausdruck der eigenen Individualität fördert.¹⁹⁹ Am Ende steht die Frage, die sich in Hinblick auf künstliche Intelligenz wohl immer stellt, und zwar die Frage, ob sie unser Leben verbessert oder wir möglicherweise mit einer Bombe spielen.²⁰⁰

Fazit

Es lässt sich festhalten, dass Neuralink ein vielversprechendes Projekt ist, dass für viele Menschen positive Veränderungen verspricht. Doch obwohl die Entwicklung schon weit zu sein scheint, gibt es noch einige Hürden, die zur Erreichung des Maximalziels, das Verbinden von Menschen mit künstlicher Intelligenz, gelöst werden müssen. Schließlich ist der Zugriff auf das menschliche Gehirn mit unzähligen Neuronen, vielfältige Verbindungen

¹⁸⁸ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹⁸⁹ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁹⁰ Vgl. Wilhelm, Zsolt (2019).

¹⁹¹ Vgl. Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020).

¹⁹² Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹⁹³ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁹⁴ Vgl. Eckoldt Matthias (2018).

¹⁹⁵ Vgl. Ebenda.

¹⁹⁶ Vgl. Ebenda.

¹⁹⁷ Vgl. Lahiry, Arnav (2020).

¹⁹⁸ Vgl. Urban, Tim (2017).

¹⁹⁹ Vgl. Ebenda.

²⁰⁰ Vgl. Ebenda.

und ständigen individuellen Anpassungen ein Vorhaben, das von Fachleuten nicht nur als hoch komplex sondern teilweise gar als unlösbar angesehen wird. Doch paradoxerweise ist künstliche Intelligenz nicht nur der Antrieb für Neuralink sondern auch der Schlüssel zur Umsetzung, denn mithilfe von maschinellem Lernen könnte der Zugriff auf den menschlichen Verstand tatsächlich gelingen. Außerdem gibt es zahlreiche ambitionierte Experten, unter anderem im Bereich der Materialforschung, die vielfältige Ideen zur Erstellung eines voll umfassenden Brain-Machine-Interfaces beitragen. Dadurch bleibt die Chance auf ein Gelingen aber am Ende auch die Frage, ob dies in angestrebter Form überhaupt wünschenswert ist. Schließlich bergen Technologien auch immer Sicherheitsrisiken, die besonders hoch sind, geht es um das eigene Gehirn. Es wird sich zeigen wie sich die Dinge entwickeln und aus vergangenen Entwicklungen lernen wir, dass vieles, was undenkbar scheint, bald schon Realität sein kann.

Quellen

Bartlett, Jonathan (2020): ELON MUSK'S MYTHS ABOUT THE MIND.

<https://mindmatters.ai/2020/05/elon-musks-myths-about-the-mind/>, abgerufen am 10.07.2020.

Brown, Mike (2020): ELON MUSK TEASES NEURALINK ADVANCEMENTS: 'REALITY IS GETTING WEIRD FAST'.

<https://www.inverse.com/innovation/elon-musk-teases-neuralink-advancements-reality-is-getting-weird-fast>, abgerufen am 10.07.2020.

Chen, Angela (2018): Why it's so hard to develop the right material for brain implants.

<https://www.theverge.com/2018/5/30/17408852/brain-implant-materials-neuroscience-health-chris-bettinger>, abgerufen am 10.07.2020.

CNET(2020): Watch Elon Musk's ENTIRE live Neuralink demonstration.

[Video on YouTube]. Veröffentlicht am 28. August 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=iOWFXqT5MZ4>, abgerufen am 08. September 2020.

CNET(2020): FULL REVEAL! Elon Musk's Neuralink chip tested live in pig brains

[Video on YouTube]. Veröffentlicht am 29. August 2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=NqbQuZOFvOQ>, abgerufen am 03. September 2020.

Cobb, Matthew (2020): Why your brain is not a computer.

<https://www.theguardian.com/science/2020/feb/27/why-your-brain-is-not-a-computer-neuroscience-neural-networks-consciousness>, abgerufen am 27.08.2020.

Eckoldt Matthias (2018): Das Fenster zum Hirn.

https://www.deutschlandfunkkultur.de/gedankenlesen-mit-neurowissenschaft-das-fenster-zum-hirn.976.de.html?dram:article_id=425645, abgerufen am 10.07.2020.

Griesser, Doris (2018): Greifen lernen mit Köpfchen.

<https://www.derstandard.at/story/2000090360921/greifen-lernen-mit-koepfchen>, abgerufen am 10.07.2020.

Haak, Steve (2020): Ella: Ein Textgenerator soll Drehbücher für Fernsehfilme schreiben.

<https://www.welt.de/wirtschaft/gruenderszene/article205192347/Ella-Ein-Textgenerator-soll-Drehbuecher-fuer-Fernsehfilme-schreiben.html>, abgerufen am 06.09.2020.

Hegmann, Gerhard (2019): Durch Löcher im Schädel will Elon Musk in unser Gehirn eindringen.

<https://www.welt.de/wirtschaft/article197006211/Neuralink-Elon-Musk-pflanzt-kuenstliche-Intelligenz-ins-Gehirn.html>, abgerufen am 10.07.2020.

Kirchmayr Karin (2017): Wenn Maschinen Gedanken lesen

<https://www.derstandard.at/story/2000064312669/wenn-maschinen-gedanken-lesen>, abgerufen am 10.07.2020.

Lahiry, Arnav (2020): Will Elon Musk's Neuralink Shape The Future Of Humanity?.

<https://www.oxfordstudent.com/2020/05/19/will-elon-musks-neuralink-shape-the-future-of-humanity/>, abgerufen am 10.07.2020.

Liberatore, Stacy (2020): Elon Musk says his Neuralink company will do human brain implants 'within a year' to help cure injuries - and the device could eventually enable symbiosis with AI.

<https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8298575/Elon-Musk-says-Neuralink-company-human-brain-implants-year-cure-injuries.html>, abgerufen am 10.07.2020.

McAllister, Zoe (2020): Elon Musk's Neuralink Company Plans to Put Sensors in The Human Brain By The End of 2020.

<https://newswire.net/newsroom/news/00119605-elon-musk-plans-to-put-sensors-in-the-human-brain-by-the-end-of-2020.html>, abgerufen am 10.07.2020.

Urban, Tim (2017): Neuralink and the Brain's Magical Future.

<https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html>, abgerufen am 10.07.2020.

Rixecker, Kim (2017): Neuralink: Elon Musk erklärt die ambitionierten Ziele seines neuen Startups.

<https://t3n.de/news/neuralink-elon-musk-gehirn-telepathie-816843/>, abgerufen am 29.08.2020.

Röder, Marie-Sophie (2020): Elon Musk will heute eine Hirn-Computer-Schnittstelle zur Steuerung von Computern und Geräten durch Gedanken vorstellen.

<https://www.businessinsider.de/wissenschaft/neuralink-elon-musk-stellt-hirn-computer-interface-vor/>, abgerufen am 08.09.2020.

Schreiner Maximilian (2020): Elon Musks Gehirnchip: Was Experten über Neuralink sagen.

<https://mixed.de/neuralink-kritik-ist-der-gehirnchip-von-elon-musk-schrott/>, abgerufen am 09.09.2020.

Wilhelm, Zsolt (2019): Elon Musks Plan, uns zu Cyborgs zu machen.

<https://www.derstandard.at/story/2000099975285/neuralink-elon-musks-plan-uns-zu-cyborgs-zu-machen-neurolace>, abgerufen am 10.07.2020.

Wunderlich-Pfeiffer, Frank (2020): Elon Musk sucht nach besserer Verbindung zum Gehirn.

<https://www.golem.de/news/neuralink-elon-musk-sucht-nach-besserer-verbinding-zum-gehirn-2008-150552.html>, abgerufen am 29.08.2020.