

Nervenkitzel durch Bioelektronik

Kurzfassung der Studie von TA-SWISS «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik»



Die Stiftung TA-SWISS, ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz, setzt sich mit den Chancen und Risiken neuer Technologien auseinander.

Die hier vorliegende Kurzfassung basiert auf einer wissenschaftlichen Studie, die im Auftrag von TA-SWISS von einem interdisziplinären Projektteam unter der Leitung von Dr. Anne Eckhardt (risicare GmbH, Zollikerberg) durchgeführt wurde. Die Kurzfassung stellt die wichtigsten Resultate und Schlussfolgerungen in verdichteter Form dar und richtet sich an ein breites Publikum.

Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik

Anne Eckhardt, Andreas Abegg, Goran Seferovic, Samra Ibric und Julia Wolf

TA-SWISS, Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung (Hrsg.).

vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2022.
ISBN 978-3-7281-4137-8

Die Studie steht als eBook zum freien Download bereit: www.vdf.ch

Die vorliegende Kurzfassung ist ebenfalls online verfügbar: www.ta-swiss.ch



Bioelektronik in aller Kürze	4
Ihre Chancen ...	4
... ihre Risiken ...	4
... und einige Empfehlungen	5
Mensch unter Strom	5
Von der Messung zur Therapie ...	6
... von der Therapie zur Optimierung	6
Einseitig, wechselseitig, in sich geschlossen	6
Impulse, die auf die Nerven gehen	7
Selbsterkenntnis auf dem Zifferblatt	7
Ein Pflaster für die Leistungssteigerung	8
Mehr Licht bei schweren Lidern	8
Bedarfsgerecht unterstützt	8
Den Vagusnerv aktivieren	9
Erweiterte Wirklichkeit	9
Totale Kontrolle	10
Kunststoff wird organisch	10
Leben braucht Biegsamkeit	10
Bioelektronische Konsumprodukte: das grosse Versprechen	12
Hoher Präzisionsanspruch an Konsumprodukte	12
Formbares Gehirn	13
Daten zur Selbsterkenntnis	13
Invasive Bioelektronik und chirurgische Risiken	13
Nerds als Popstars der Gegenwart	14
Das Beste aus sich herausholen	14
Wo endet das Ich und wo beginnt die Technik?	14
Elektronische Krücken für das Mängelwesen Mensch	15
Von der idealistischen Vision zur wirtschaftlichen Kalkulation	16
Utopisten mit Gewinnabsicht	16
Die Schweiz am Übergang von medizinischer und nicht-medizinischer Bioelektronik	16
Geteilte Verantwortung von Mensch und Technik?	17
Wenn die Technik dazwischenfunkt	17
Datenschutz und Persönlichkeitsschutz	18
Die Persönlichkeit neu interpretieren	18
Potenziale ausschöpfen, ohne Risiken auszublenden	19
Weder Schwärmerei noch Verweigerung	19
Von Suchtmitteln lernen	19
Heranwachsende besonders schützen	19
Abstraktes fassbar machen	19
Regulatorische Offenheit für Neuerungen	20
Kompetenznetzwerke stärken	20
Zugriff auf Tiere hinterfragen	20

Bioelektronik in aller Kürze

Miniaturisierung und biegsame, aber doch solide neue Materialien gestatten die Herstellung kleinster Sensoren und Messgeräte, die am Körper getragen werden oder gar in diesen implantiert werden können. In der Medizin sind solche bioelektronischen Systeme in Form von Herzschrittmachern oder Implantaten für Hörbehinderte schon länger im Einsatz. Zunehmend kommen aber auch nicht-medizinische Geräte und Gadgets auf den Markt, die einen direkten Austausch zwischen Körper und Technik ermöglichen: Computer, Beleuchtung, Fahr- und Flugzeuge sollen sich künftig intuitiv, über Handbewegungen, die Anspannung einzelner Muskeln oder gar durch bloße Gedanken steuern lassen. Bioelektronische Systeme könnten dann auch genutzt werden, um das Gehirn zu stimulieren und dadurch eine beruhigende oder anregende Wirkung zu entfalten. Um solche nicht unmittelbar medizinische Anwendungen der Bioelektronik geht es hier.

Ihre Chancen ...

Bioelektronische Systeme, auch solche nicht-medizinischer Natur, können das Gesundheitsverhalten positiv beeinflussen. Denn sie erheben eine Menge von Körperdaten, die Trägerinnen und Träger dazu motivieren können, sich mehr zu bewegen und auf die Ernährung zu achten. Die Daten können auch frühzeitig auf Krankheitsrisiken hinweisen.

Bioelektronik erleichtert die Bedienung vieler technischer Einrichtungen; der Alltag lässt sich dadurch effizienter bewältigen.

Mit allen Sinnen in virtuelle Realitäten eintauchen – dies wird dank Bioelektronik möglich. Sie intensiviert nicht nur die Erlebnisse beim Gamen, sondern dient auch der Aus- und Weiterbildung, indem Auszubildende durch wirklichkeitsnahe Übungssituationen geleitet werden können.

Die bioelektronische Stimulation des Gehirns könnte künftig eine ähnlich beruhigende oder anregende Wirkung entfalten wie Beruhigungspillen oder pharmazeutische Muntermacher.

... ihre Risiken ...

Bioelektronische Einwirkungen auf das Gehirn stellen das herkömmliche Verständnis dessen infrage, was eine Person ausmacht. Verändert eine Gehirnstimulation die Wahrnehmungen, Wünsche oder Absichten eines Menschen, rührt dies an unserer Vorstellung, es gebe einen innersten und kontinuierlichen Kern der Persönlichkeit.

Jugendliche unter Leistungsdruck könnten in Versuchung geraten, ihre Lernfortschritte durch die bioelektronische Stimulierung des Gehirns zu ver-



bessern. Doch bei Heranwachsenden ist das Gehirn noch formbar, und es ist unklar, ob dessen Entwicklung durch die Modulation von Nervenfunktionen in schädlicher Weise beeinflusst werden könnte.

Die von bioelektronischen Systemen erhobenen Körperdaten sind heikel. Denn sie verraten nicht nur viel über unseren Gesundheitszustand, sondern könnten dereinst auch persönliche Neigungen offenlegen. Ermittelte Muster der Gehirnaktivität könnten gar Rückschlüsse auf individuelle Absichten und Einstellungen zulassen. Dies käme einer Verletzung der geistigen Privatsphäre gleich.

... und einige Empfehlungen

Anhand der Erfahrungen aus dem medizinischen Bereich sollte ausgelotet werden, welche Auswirkungen nicht-medizinische Bioelektronik auf den sich entwickelnden Organismus von Jugendlichen und insbesondere aufs Gehirn haben könnte. Offene Fragen wären als Grundlage für weitergehende Untersuchungen zu verwenden.

Geklärt werden muss, welche Regelungen und Leitlinien im Umgang mit Suchtmitteln auf die Gehirnstimulation durch Bioelektronik übertragen werden können und inwiefern es allenfalls ergänzende Vorgaben braucht.

Es ist abzuklären, ob ein Regulierungsmodell für nicht-medizinische Bioelektronik zu entwickeln wäre, das den besonderen Anforderungen dieser Produktkategorie gerecht wird und die Innovationskraft kleinerer und mittlerer Unternehmen fördert.

Der Bericht «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik» wurde von einer Projektgruppe unter der Leitung von Anne Eckhardt (risicare GmbH, Zollikerberg) verfasst. Die interdisziplinäre Studie beruht auf einer umfassenden Literaturanalyse, die durch Gespräche mit Fachpersonen aus Wissenschaft und Praxis ergänzt wurde. Durch zwei Interviews mit Jugendlichen floss auch die Sichtweise der Altersgruppe ein, die sich mit künftigen bioelektronischen Innovationen besonders wird auseinandersetzen müssen.

Mensch unter Strom

Bereits im antiken Ägypten staunten die Menschen über Rochen und Zitteraale, die ihre Beute mit elektrischen Stössen erlegen. In einem über Jahrhunderte dauernden Forschungsprozess hat die Wissenschaft Wege gefunden, um die Elektrizität als Kommunikationsmittel zwischen technischen Bauteilen und den Organen von Lebewesen zu nutzen.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts standen Wissenschaft und Öffentlichkeit im Bann der Elektrizität. Nach Erfindung des ersten einfachen Kondensators – der Leidener Flasche – im Jahr 1746 amüsierte sich das gehobene Bürgertum, indem es sich Stromstösse versetzen liess und künstlich erzeugte Blitze bestaute. Bald stellte sich heraus, dass sich die Elektrizität nicht nur zur Belustigung, sondern auch zur Rettung von Leben einsetzen lässt. So berichtet die britische Royal Humane Society im Jahr 1794 von der dreijährigen Sophia Greenhill, die nach ihrem Sturz aus einem Fenster vom Chirurgen

aus dem nahen Spital und einem Apotheker für tot erklärt wurde, anschliessend aber durch Elektroschocks wiederbelebt werden konnte: der früheste schriftliche Beleg für den Einsatz eines improvisierten Defibrillators, der damals freilich noch nicht so genannt wurde.

Luigi Galvani erkannte als Erster anhand zahlreicher Experimente – erst an Fröschen, später auch an warmblütigen Tieren –, dass nicht nur von aussen zugeführter Strom die Glieder zucken lässt: Aus den Untersuchungen liess sich klar feststellen, «dass die Thiere eine selbständige Elektrizität besitzen», so der Arzt, Anatom und Naturforscher aus Bologna in seiner 1791 auf Lateinisch und 1793 auf Deutsch übersetzten «Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektrizität auf die Bewegung der Muskeln». Galvani spekulierte dabei auch über Krankheiten, die sich auf Ungleichgewichte im Energiefluss zurückführen liessen, und über die Möglichkeit, Elektrizität zu therapeutischen Zwecken einzusetzen.

Von der Messung zur Therapie ...

In den 1930er-Jahren begannen Fachleute aus Medizin und Elektrotechnik, Geräte wie eben Defibrillatoren und Herzschrittmacher zu entwickeln, die einen aus dem Takt geratenen vitalen Pumpmuskel wieder in einen regelmässigen Rhythmus bringen. 1958 wurde der erste Herzschrittmacher komplett in den Körper eines Patienten implantiert. Die Leistung eines Herzschrittmachers wird über die Signale gesteuert, die das Herz abgibt; Körper und Gerät kommunizieren also wechselseitig, sodass die Stimulationsfrequenz dem unmittelbaren Bedarf angepasst wird.

Ab den späten 1960er-Jahren ermöglichte es das Cochlea-Implantat, in bestimmten Fällen ein weitgehend verlorenes Gehör zu kompensieren. Das Implantat stimuliert den Hörnerv elektrisch und ruft somit individuelle Hörempfindungen hervor; in intensiven Trainings lernen die Trägerinnen und Träger eines solchen Implantats, die neuen Signale den bekannten Hörmustern zuzuordnen.

In den späten 1980er-Jahren begann man, auch das Gehirn mit elektrischen Reizen zu behandeln, zunächst bei Personen, die an unkontrolliertem Zittern (sogenanntem Tremor) litten. Heute ist die tiefe Hirnstimulation als Therapie für verschiedene Leiden zugelassen wie etwa Bewegungsstörungen wie eben Tremor oder Parkinson, bestimmte Ausprägungen der Epilepsie, chronische Schmerzen oder Depressionen. Dazu werden Elektroden in das Hirn implantiert, die über einen nahe am Schlüsselbein unter der Haut eingepflanzten Schrittmacher gesteuert werden.

... von der Therapie zur Optimierung

Insbesondere das US-amerikanische Militär forschte in den letzten Jahrzehnten daran, das Gehirn durch elektromagnetische Strahlen zu beeinflussen, die von einer ausserhalb des Schädels liegenden Quelle emittiert werden; diese könnte in Kopfhörer oder in einen Helm integriert werden. Von der sogenannten transkraniellen Magnetstimulation verspricht sich die Armee eine Verbesserung der Reaktions- und Lernfähigkeit ihrer Soldaten; auch Müdigkeit soll sich elektromagnetisch vertreiben lassen. Die Medizin wendet dieses Verfahren bei der Therapie depressiver Menschen, aber auch von Schlaganfallpatienten an.

Mit der fortschreitenden Digitalisierung wächst das Interesse an der einfachen und intuitiven Bedienung elektronischer Geräte: Was, wenn sich Computer und Drohnen nach Gefühl steuern liessen oder der

blosse Gedanke ausreichen würde, um die Beleuchtung zu dimmen und das Musikprogramm zu wechseln? Solche Vorstellungen könnten sich verwirklichen dank der Bioelektronik – so bezeichnet die Fachwelt den Einsatz mikroelektronischer Systeme an und in Lebewesen, die den direkten Austausch bzw. die Kommunikation zwischen Organismen und elektrotechnischen Apparaturen ermöglichen.

Einseitig, wechselseitig, in sich geschlossen

Elektronische Komponenten können auf unterschiedliche Weise mit den damit ausgestatteten Lebewesen zusammenspielen. Unidirektionale Systeme wirken nur in eine Richtung, entweder vom Organismus zum Gerät oder umgekehrt. Meistens dienen sie dazu, eine biologische Messgrösse zu erheben oder bestimmte Körperfunktionen zu beeinflussen.

Im Unterschied dazu ermöglichen bidirektionale Systeme einen wechselseitigen Austausch zwischen Organismus und Technik; dies ist etwa bei Exoskeletten der Fall, die Personen bei körperlicher Arbeit unterstützen.

Nebst der Richtung der Signale spielt auch eine Rolle, wie das Gesamtsystem kontrolliert wird. Bei offenen Regelkreisen (sogenannten open-loop-Systemen) erfolgt die Steuerung unabhängig von der erzielten Wirkung resp. vom Feedback: Die Zielgrössen werden vorgängig festgelegt, und das System stellt sicher, dass diese erreicht werden. Bei solchen Systemen liegt die Kontrolle in der Regel bei der Anwenderin oder beim Anwender.

Geschlossene Regelkreise (closed loop-Systeme) dagegen passen sich eigenständig, ohne Steuerung von aussen, dem Organismus an. Ein Beispiel dafür sind implantierte Insulinpumpen, die ständig den Blutzucker von Diabeteskranken überwachen und die Insulinabgabe laufend justieren. Solche Systeme stehen derzeit erst in der Medizin im Einsatz; nicht-medizinische Varianten dieses Typs sind noch nicht auf dem Markt.

Die hier zusammengefasste Studie von TA-SWISS stellt die nicht-medizinische Bioelektronik in den Blickpunkt. Diese wird gegenwärtig in erster Linie verwendet, um Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit zu steigern und die Bedienung technischer Geräte zu erleichtern; die Unterhaltung – z.B. der Aufenthalt in virtueller Umgebung – ist derzeit noch nachrangig. Es dominieren tragbare Geräte wie Fitnessarmbänder, smarte Uhren oder allenfalls Virtual-Reality-Brillen.

Impulse, die auf die Nerven gehen

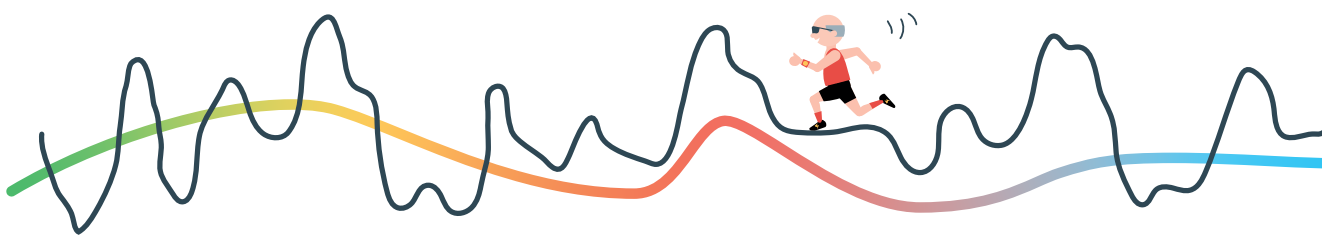
Für viele sind sie schon heute ständige Begleiter im Alltag: Fitnesstracker, die nebst der sportlichen Leistung auch Erholungsphasen und Schlaf auswerten, smarte Uhren, die eine Vielfalt körperlicher Einflussgrößen analysieren, bis hin zu Arbeitsanzügen, die mittels Sensoren die körperliche Belastung messen und ihre Trägerinnen und Träger bei anstrengenden Tätigkeiten unterstützen. Die Auswahl nicht-medizinischer Bioelektronik wächst stetig, und ihre Einsatzmöglichkeiten weiten sich aus.

Von einer App, die es erlauben soll, mit blossen Gedanken externe «Services» zu steuern, über eine Serie von Spielen, die Kinder von ihren Ängsten befreien sollen, bis hin zu Apps für das Stressmanagement und eine erhöhte Aufmerksamkeit: die Liste der Applikationen im Shop von NeuroSky – einer von verschiedenen Firmen, die sich rühmen, in Echtzeit den mentalen Zustand zu erkennen – ist lang. Den beworbenen Apps ist gemeinsam, dass sie in Kombination mit einem Stirnband zu verwenden sind, das die elektrische Aktivität im Gehirn misst und die Wirkung der App auf die ermittelten Hirnströme abstimmt.

Selbsterkenntnis auf dem Zifferblatt

Während die oben geschilderten Neuroheadsets futuristisch anmuten, sind smarte Uhren und Fitnesstracker in Form von Armbändern, Ringen oder Anhängern längst im Alltag angekommen. Sie zählen nicht nur Schritte, sondern messen auch den Puls und können eine Vielfalt weiterer Parameter erheben wie Blutdruck oder Körperfettanteil. Oft gibt die Auswertungssoftware Tipps für ein effektiveres Training oder motiviert mit Durchhalteparolen. Solche smarten Uhren und Fitnesstracker sind dem einfachsten Anwendungstyp bioelektronischer Systeme («Typ 1» von sieben in der Studie definierten Typen) zuzuordnen: Die Signale wirken in eine einzige Richtung, von der Trägerin oder dem Träger des Geräts zur Mess- und Analyseeinheit. Die Anwenderinnen und Anwender bestimmen selber, ob und mit wem sie ihre Daten teilen wollen.

Auf dem Markt ist bereits eine bunte Palette an Produkten, die eine unterschiedliche Kundschaft ansprechen und die in aller Regel einfach anzuwenden sind. Auch die Materialien verzeichnen stetige Fortschritte. So forschen verschiedene Teams an spezieller Tinte für Tätowierungen: Sie könnte künftig bioelektronische Tattoos ermöglichen.



Die Präzision der Sensoren nimmt stetig zu, und wer ein System vom Typ 1 trägt, geht kaum ein gesundheitliches Risiko ein. Herausforderungen stellen sich indes beim Umgang mit den persönlichen Daten.

Ein Pflaster für die Leistungssteigerung

Einen Schritt weiter als die messende Uhr gehen bioelektronische Systeme des Typs 2, die Körperparameter beeinflussen. Mit dem Pflaster «Feelzing Energy Patch» ist bereits ein solches Produkt auf dem Markt. Es wird hinter dem Ohr angebracht und soll u.a. den Vagusnerv anregen, einen grossen Hirnnerv, der an der Regulierung der meisten Organe beteiligt ist. Die Stimulation dieses Nervs versetzt die Trägerin bzw. den Träger des Pflasters in einen Zustand von «ruhiger Aufmerksamkeit». Die von der Werbung angepriesene Wirkung: Eine erhöhte Konzentrationsfähigkeit und ein besserer Schlaf.

Das «Feelzing Energy Patch» funktioniert unidirektional, stimuliert also seine Trägerinnen und Träger unabhängig von ihrem aktuellen Zustand. Diese bestimmen selber, wann sie das System einsetzen und allenfalls auch, wie sie die entscheidenden Parameter einstellen. Dass sie sich gut kontrollieren und einfach anwenden lassen, ist eine Stärke von Systemen dieses Typs. Sie könnten pharmakologisch wirksame Substanzen wie Aufputsch- oder Beruhigungsmittel ersetzen, die oft Nebenwirkungen nach sich ziehen. Eine Schwäche von Typ 2-Systemen liegt im derzeit noch fehlenden Wirksamkeitsnachweis.

Mehr Licht bei schweren Lidern

Bioelektronische Systeme vom Typ 3 dienen dazu, externe Geräte intuitiv zu steuern. Die Signale wirken unidirektional vom Organismus zum Computer, zum Fahr- oder Flugzeug oder auch zur Beleuchtung: Statt über eine Tastatur oder eine andere Bedienungseinheit reicht die Anspannung eines Muskels oder ein Blinzeln, um etwa das Fenster zu kippen oder das Monster im Videospiel zu besiegen. Bereits wurden Jacken entwickelt, um Drohnen mittels Körperbewegungen zu steuern – so, als sei man selber ein fliegender Vogel. Denkbar wären auch Linsen, die bspw. aufgrund der Bewegung des Augenlids erkennen, wenn die Trägerin, der Träger müde wird, und die sodann die Beleuchtung am Arbeitsplatz intensivieren.

Der gefühlsmässige Steuervorgang ist einfacher zu erlernen als der Umgang mit einer herkömmlichen Kontrolleinheit. In der schnellen und intuitiven Bedienung von Geräten liegt denn auch das grosse Plus solcher Systeme. Ausserdem erkennen sie von selbst, ob ein Wechsel der Hintergrundmusik angebracht oder eine stärkere Beleuchtung erforderlich ist; für die Trägerin, den Träger, entfallen die entsprechenden Handgriffe. Doch sind solche Systeme nicht frei von Risiken; so stellen sich Haftungsfragen, wenn eine intuitiv gesteuerte Drohne abstürzt, und auch psychische und physische Abhängigkeiten der Anwendenden sind längerfristig nicht ausgeschlossen. Ausserdem binden sich diese unter Umständen allzu stark an die Anbieter solcher Systeme und an ihren Support. Die Sicherheit der verwendeten Daten zu garantieren, bleibt auch hier eine Herausforderung.

Bedarfsgerecht unterstützt

Ursprünglich entwickelt, um Querschnittgelähmten das Gehen wieder zu ermöglichen, fanden Exoskelette auch Eingang in die Armee: Die mit Gelenken und Motoren ausgestatteten Stützen helfen den Soldaten, schwere Lasten zu tragen und ausdauernd zu marschieren. Mittlerweile kommen die Aussen-skelette auch in der Arbeitswelt zum Einsatz. So schnallen sich Arbeiter einer grossen deutschen Automobilfirma ein knapp zwei Kilogramm schweres Oberkörper-Exoskelett an, das Schultern und Arme entlastet, wenn sie stundenlang am Fließband Karosserien zusammenschrauben.

Exoskelette sind dem Typ 4 von bioelektronischen Systemen zuzuordnen. Sie wirken bidirektional, und ihr Regelkreis ist offen, d.h. ihre Funktionsweise passt sich «open loop» aufgrund vorgängig definierter Parameter an. Solche Systeme trumpfen mit ihrer guten Kontrollierbarkeit durch die Anwendenden auf; auch passt sich die stimulierende und unterstützende Wirkung der körperlichen Verfassung der Trägerin oder des Trägers und den herrschenden Gegebenheiten an. Als heikel könnten sich die Rückwirkungen auf das Menschenbild erweisen: Wie authentisch ist eine Person, die ihre Höchstleistung mit bioelektronischer Unterstützung erbringt? Auch stellen sich Fragen der Verantwortlichkeit, wenn sich unter dem Einfluss eines solchen Systems ein Unfall ereignet.

Den Vagusnerv aktivieren

Die eingangs in diesem Kapitel beschriebenen Apps von NeuroSky, die in Verbindung mit einem Headset eingesetzt werden, gehören zum Typ 5 der in der Studie definierten Typen von Bioelektronik. In Abhängigkeit der gemessenen Hirnströme wirken solche Systeme im geschlossenen Regelkreis beruhigend oder aktivierend auf den Organismus ein. Viele solcher Anwendungen beruhen auf der Stimulation des Vagusnervs.

Der Kopf ist für bioelektronische Anwendungen besonders interessant. Denn über Stirnbänder, Mützen oder Headsets kann die Technik mit dem Gehirn interagieren, und dank intelligenter Kopfhörer und Brillen lassen sich auch über das Gehör und die Augen Sinnesdaten erheben. Stimulierende Headsets wie jene von NeuroSky, Emotiv und weiteren Firmen funktionieren bidirektional im geschlossenen Regelkreis (closed loop): Das Gerät stimmt dabei seine – je nach Bedarf anregende oder beruhigende – Wirkung auf die gemessenen Hirnströme ab.

Indem die Steuerung auf den körperlichen Signalen des Organismus' beruht, könnten Systeme des Typs 5 bequem benutzt werden. Je nach Bedarf könnten die Anwenderinnen und Anwender ihre Aufmerksamkeit schärfen und damit die Leistungsfähigkeit steigern oder sich besser entspannen und erholen. Die Akzeptanz einer breiten Kundschaft ist bisher allerdings fraglich.

Gegenüber den Modellen des Typs 4 versprechen solche des Typs 5 eine differenziertere und genau dem Organismus angepasste Steuerung – die allerdings mit dem Verlust an eigener Kontrolle und Autonomie erkauft wird. Auch besteht das Risiko, dass ein solches System «gehackt» werden und seine Trägerin somit manipuliert und gar geschädigt werden könnte.

Erweiterte Wirklichkeit

Typ 6 erweitert die sinnlichen Wahrnehmungen. Geforscht wird etwa an Brillen oder Augenlinsen, die zusätzliche Informationen über die Objekte einblenden, die ins Sichtfeld geraten. Mit Sensoren versehene Handschuhe, Anzüge und Helme ermöglichen es gar, ganz in eine künstlich erzeugte Umgebung einzutauchen: Der Träger wähnt sich am Strand, hört die Wellen, riecht das Salzwasser und sieht die Möwen, die Trägerin steuert einen Sportwagen durch einen kurvenreichen Parcours und fühlt Vibration und Fliehkraft. Die Stärke dieser Systeme liegt darin, dass sie auf die Bewegungen der Anwenderin, des Anwenders eingehen. Derzeit kommen sie vor allem bei Spielen zum Einsatz, doch sie könnten auch von Nutzen sein, um einen virtuellen Rundgang an einem Urlaubsort oder die Visualisierung eines geplanten Wohnquartiers zu ermöglichen. Im Vordergrund stehen tragbare Systeme, es gibt aber auch Beispiele für Implantate.

Für diesen Typ gibt es eine Vielzahl an Steuerungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen Freiheitsgraden für die Anwendenden. Er besticht durch ein ganzheitliches Erlebnis virtueller Realitäten, indem er die Sensorik und die Bewegungen der Trägerinnen und Träger einbezieht. Seine Schwächen liegen darin, dass bisher wenig über seine Wirksamkeit und Sicherheit bekannt ist und dass mit der Verwendung von Implantaten, welche neue Sinneseindrücke ermöglichen, allein schon mit der Infektionsgefahr aufgrund des operativen Eingriffs gesundheitliche Risiken verbunden sind. Auch Rückwirkungen auf Psyche und Selbstwahrnehmung der Anwenderinnen und Anwender sind denkbar.

Totale Kontrolle

Bioelektronische Systeme vom Typ 7 können auch zur Überwachung eingesetzt werden. Bereits diskutiert werden Anwendungen in der Betreuung alter Menschen, wenn es etwa darum geht, verirrte Demenzkranke zu lokalisieren. Denkbar sind auch Neuroheadsets, um die Aufmerksamkeit von Jugendlichen in der Schule zu kontrollieren, oder bioelektronische Handschuhe, welche nicht nur die Gliedmassen schützen, sondern gleich noch die Leistung von Mitarbeitenden am Fließband prüfen.

Die Autonomie der Personen, die ein solches System tragen, wird beeinträchtigt, vor allem wenn sie es nicht freiwillig tun. Denn sie können es allenfalls eingeschränkt oder gar nicht beeinflussen. Seine Vorteile liegen gänzlich auf der Seite der überwachenden Instanz, die damit im Prinzip eine grosse Anzahl Menschen effizient kontrollieren kann. Besteht das System aus einem implantierten Chip, kann es weder verloren gehen noch abgelegt werden.

Mit der Technik verschmelzen

Als Cyborg wird ein Mischwesen aus Maschine und Mensch bezeichnet; der Musiker und Avantgarde-Künstler Neil Harbisson setzte als erster durch, von einer offiziellen Regierung – der britischen – als Cyborg anerkannt zu werden. Neil Harbisson wurde farbenblind geboren, sodass er die Welt nur in Grautönen sehen konnte. Um dieses Defizit auszugleichen, trägt er ein Gerät am Kopf, das es ihm ermöglicht, Farben als Töne wahrzunehmen. Dabei wird die betrachtete Farbe durch einen neben dem Auge angebrachten Farbsensor erfasst; ein Chip wandelt die Farbfrequenzen in hörbare Frequenzen um und ermöglicht es Harbisson, diese zu interpretieren. Ferner liess sich Harbisson eine Antenne auf dem Schädel fixieren, die elektromagnetische Strahlung empfangen und in Klänge übersetzen kann. Im Jahr 2012 erweiterte Harbisson die Bandbreite seiner Wahrnehmung um Frequenzen im Infrarot- und Ultraviolettbereich – er «sieht» nun mehr, als Menschen mit ihren Augen.

Kunststoff wird organisch

Die elektrischen Eigenschaften von Zellen und Geweben eines Lebewesens wie auch die chemische Zusammensetzung von Schweiß oder Tränen liefern eine Vielzahl von Informationen. Dank neuer und optimal an den Organismus angepasster Werkstoffe lässt sich an der Haut und aus verschiedenen Körperflüssigkeiten viel über die physische Verfassung einer Person herauslesen.

Grundsätzlich besteht jedes bioelektronische Produkt aus drei Komponenten: Aus einem Messgerät, das eine Eingangsgrösse in eine vorgängig definierte Ausgangsgrösse umformt – d.h. aus einem Messwandler –, aus elektrischen Verbindungen und aus elektronischen Schaltungen. Jeder dieser Bestandteile kann aus ganz unterschiedlichen Materialien und aufgrund verschiedener Herstellungsverfahren konzipiert und angefertigt werden. So wird es möglich, dass die einen Geräte in erster Linie Ionenflüsse in und aus den Zellen und den elektrischen Zustand von Gewebe erheben, während andere Gase wie etwa Sauerstoff oder Kohlendioxid messen und wieder andere den Gehalt von Mineralien, Milch- und Harnsäure im Schweiß auswerten.

Die verschiedenen Messwandler wiederum sind in der Lage, nebst (bio)chemischen, akustischen, optischen und elektromagnetischen Signalen auch solche thermischer und mechanischer Art wie Beschleunigung, Druck oder Strömung zu verarbeiten.

Leben braucht Biogamkeit

Bei der Verbindung der verschiedenen Komponenten eines bioelektronischen Systems stellen sich besondere Herausforderungen. Denn wenn sich diese möglichst bequem an den Körper und seine Bewegungen anpassen oder gar in diesen implantiert werden sollen, sind starre Verdrahtungen nicht zweckmässig. Das Design des ganzen Systems und die Wahl des Materials stellen ebenfalls hohe Ansprüche: Während biologische Kommunikation auf Ionen beruht, herrschen in der aktuellen Informationstechnologie Elektronen vor. Schaltkreise und elektronische Geräte gilt es, vor Nässe zu schützen, um ihre Zersetzung zu verhindern; der Körper von Lebewesen aber besteht zu einem grossen Teil aus Wasser und sondert Feuchtigkeit ab.

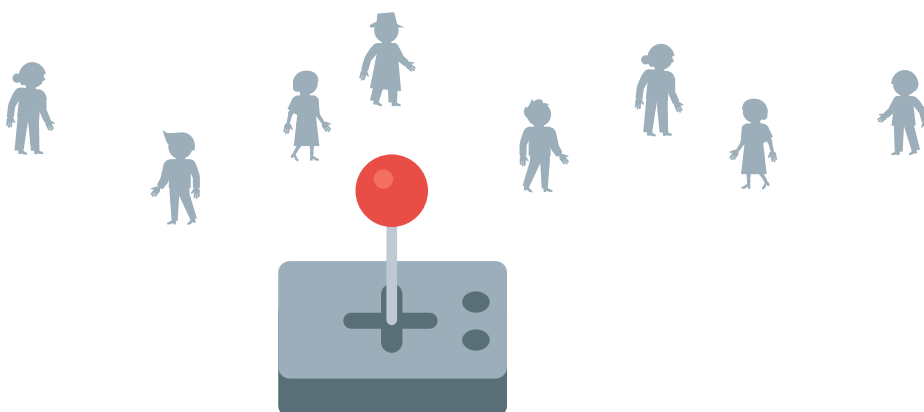
Heute befassen sich zahlreiche Forschungszeige damit, die Unverträglichkeiten zwischen den bioelektronischen Systemen und ihrem Zielgewebe zu beheben. Und sie verzeichnen Erfolge: Es stehen erste ansatzweise biegbare Displays zur Verfügung, und auf kleinste Dimensionen miniaturisierte bioelektronische Systeme werden in flexible oder weiche Materialschichten eingebettet, die darüber hinaus waschbar und wasserdicht sind.

Zukunftsträchtig ist die Entwicklung von Hydrogelen – d.h. wasserunlöslichem Kunststoff, der aber Wasser zu binden vermag. Solche Substanzen vertragen sich besonders gut mit lebenden Organismen und werden bspw. als Kontaktlinsen oder verformbare Implantate eingesetzt. Auch als Hüllen bioelektronischer Komponenten oder gar in Gestalt hydrogel-elektronischer Systeme könnten sie zum Einsatz kommen; erste Prototypen existieren und stellen vielversprechende Fortschritte in Aussicht.

Dünne, weiche und flexible Bioelektronik, die drahtlos Signale aussendet, ermöglicht einen hohen Tragekomfort, der es den vielfältigen Gadgets erleichtern dürfte, in der Öffentlichkeit Zuspruch zu erhalten.

Ferngesteuerte Insekten

Im April 2015 veröffentlichte eine Forschungsgruppe der Texas A&M University einen wissenschaftlichen Aufsatz, der sogar in den Tageszeitungen und Wochenzeitschriften Erwähnung fand. Es war ihr gelungen, eine Küchenschabe mit Elektroden, einer Leiterplatte und einer Batterie auszustatten, um sie mit Stromimpulsen zu steuern. Hierfür wurden die Nervenknotten gereizt, welche die Bewegungen koordinieren. Die Forscherinnen und Forscher konnten die verschiedenen Beine ansteuern und das Insekt in jede gewünschte Richtung lenken; je höher die Frequenz der Stromstöße, desto schärfer nahm es die Kurve. Abgesehen vom Erkenntnisinteresse führten die Forschenden auch einen möglichen gesellschaftlichen Nutzen ihrer Arbeit ins Feld. So könnten die ferngesteuerten Schaben dazu dienen, Verschüttete nach einem Erdbeben zu finden, weil die Tiere auch durch schmalste Spalten kommen. Heute werden im Internet Bausätze für bioelektronisch aufgerüstete Küchenschaben angeboten; detaillierte Tutorials für die «Konstruktion» sind auf Youtube zu finden. Mittlerweile gelang es, mittels eines bioelektronischen Hirnimplantats auch Ratten fernzusteuern. Ihnen werden ebenfalls Rettungsmissionen für Verschüttete zgedacht; ausserdem könnten sie bei der Entschärfung von Landminen helfen. Gegen die Instrumentalisierung von Tieren werden indes kritische Stimmen laut. Diese bezweifeln, dass sich die bioelektronische Steuerung des Verhaltens mit der Würde der Kreatur in Einklang bringen lässt, wie sie beispielsweise die Schweizer Bundesverfassung fordert. Eine solche Manipulation von Tieren lässt sich allenfalls durch ein schutzwürdiges Interesse rechtfertigen, etwa, wenn menschliches Leben gerettet werden kann. Die Fernsteuerung einer Ratte zum blossen Vergnügen wäre jedenfalls nach Schweizer Tierschutzgesetz untersagt. Da dieses aber Insekten nicht erfasst, ist deren bioelektronische Beeinflussung hierzulande nicht strafbar.



Bioelektronische Konsumprodukte: das grosse Versprechen

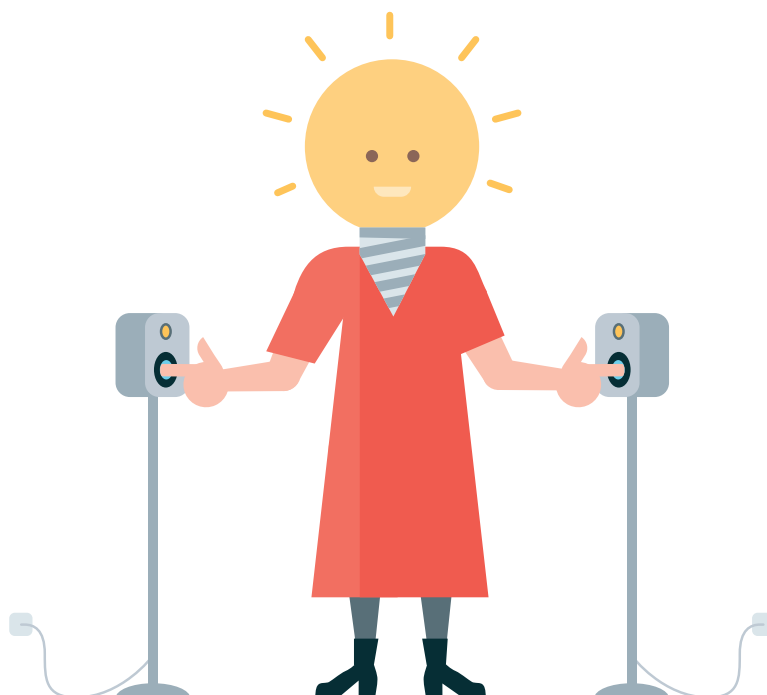
Medizinprodukte dürfen erst auf den Markt gebracht werden, nachdem eine gründliche Prüfung sowohl ihre Wirksamkeit als auch ihre Sicherheit nachgewiesen hat. Im Sport oder zur Unterhaltung eingesetzte bioelektronische Systeme nutzen zwar Erkenntnisse aus den Lebenswissenschaften und der medizinischen Forschung, müssen aber keine vertieften Testverfahren durchlaufen.

Es sind bioelektronische Geräte für den medizinischen Einsatz, die als Vorreiter für die nicht-medizinische Bioelektronik dienen: Dass etwa die transkranielle, also durch den Schädel erfolgende, Magnetstimulation schweren Depressionen entgegenzuwirken vermag, ist durch wissenschaftliche Studien belegt, ebenso wie ihre positiven Effekte auf gewisse Entwicklungsstörungen des Nervensystems bei Jugendlichen. Die Forschung liefert damit auch Anhaltspunkte für den wirksamen Einsatz der Bioelektronik zu nicht-medizinischen Zwecken. So dürfte die transkranielle Magnetstimulation das Gehirn tatsächlich in die Lage versetzen, gewisse Aufgaben schneller und präziser zu lösen.

Hoher Präzisionsanspruch an Konsumprodukte

Firmen, die sich direkt an die Kundschaft wenden und bioelektronische Konsumprodukte anbieten, werben denn auch mit wissenschaftlich anmutenden Argumenten. Doch nur die wenigsten haben Studien zu ihren Produkten durchgeführt; zudem berufen sie sich meistens auf Laborsituationen, deren Ergebnisse sich kaum auf den Alltag übertragen lassen.

Zahlreiche Firmen versprechen, dass ihre Produkte dank Neurofeedbacks die Aufmerksamkeit und Konzentration erhöhen bzw. Stress abbauen und die Erholung fördern. Auch für die kognitive und sportliche Leistungsfähigkeit werden Verbesserungen in Aussicht gestellt, ebenso für die Lernfähigkeit und die Gedächtnisleistung. Allerdings gestattet das Design der Konsumprodukte keine Messungen der Hirnaktivität, die auch nur annähernd so präzise und zuverlässig sind wie jene medizinischer Geräte. Zudem haben bloss wenige Firmen die Wirksamkeit ihrer Produkte wissenschaftlich untersucht, wobei die erhobenen Daten in stark vereinfachter Form



interpretiert wurden. Damit fehlt der Beweis, dass aus den ermittelten Hirnströmen tatsächlich Aktivitätsmuster im Gehirn identifiziert werden können – eine Voraussetzung, um die in der Werbung gemachten Versprechen einzuhalten. Im Rahmen einer Befragung von über 300 Personen, die ein System zur transkraniellen Hirnstimulation erworben hatten, stellte sich heraus, dass vierzig Prozent der Befragten diese Produkte nicht dauerhaft nutzten, und zwar insbesondere wegen ausbleibender Wirkung.

Feedbacks von Kundinnen und Kunden, die über Amazon ein Neuroheadset erworben haben, sprechen denn auch eine deutliche Sprache: Bemängelt werden nebst der fehlenden oder nur auf englisch verfügbaren Anleitung und dem teilweise schmerzhaften Druck auf die Haut auch die ständig abbrechende Verbindung zwischen Headset und Auswertungssapp auf dem Handy sowie deren Datenhunger.

Formbares Gehirn

Wenngleich die Wirkung von Neuroheadsets bescheidener ausfällt als in der Werbung dargestellt, darf man daraus nicht schliessen, ihre Effekte seien harmlos. Am ehesten ist mit einem Missempfinden in der Region des Kopfes zu rechnen, an der die Stimulation ansetzt. Vom längeren – d.h. über eine Stunde währenden – Aufenthalt im virtuellen Raum ist jedoch bekannt, dass er Beschwerden nach sich ziehen kann. Die sogenannte Cyberkinetose steht für Schwindelgefühle, Übelkeit bis zum Erbrechen, Kopfschmerzen, Probleme mit der Sehschärfe, dem Erkennen von Objekten und dem Sehen von Farben; diese Erscheinungen gehen in der Regel vorüber. Auch das Zusammenspiel von Wahrnehmung und Bewegung – die Sensomotorik – kann kurzzeitig beeinträchtigt sein. Schwangere Frauen, Migränepatienten und Personen mit Angststörungen sind besonders gefährdet, eine Cyberkinetose zu entwickeln.

Jugendliche könnten in Versuchung geraten, bioelektronische Produkte wie das fiktive aufmerksamkeitsstimulierende Pflaster (s. Kasten auf Seite 15) zu verwenden, um in der Schule erfolgreicher zu sein. Ausgerechnet bei jungen Menschen sind die Auswirkungen der Stimulation auf das Gehirn kaum untersucht; in diesem Alter entwickelt sich das Nervensystem, und das Gehirn ist entsprechend formbar. Zudem sind die Schädelknochen Jugendlicher dünner als die älterer Personen, sodass die Stimulation entsprechend tiefer ins Gehirn vordringen könnte.

Kinder und Jugendliche im Alter zwischen neun und 14 Jahren sind ein wichtiges Zielpublikum für Spiele mit erweiterter oder virtueller Realität. Neuere Untersuchungen weisen darauf hin, dass jüngere Kinder Mühe haben, im Gleichgewicht zu bleiben und ihre Haltung unter Kontrolle zu halten, wenn sie in eine virtuelle Welt voller visueller Reize eintauchen. Auch diskutiert die Fachwelt, wie sich interaktive neue Technologien auf die Identitätsbildung der Jüngsten und ihre Autonomie und Handlungsfähigkeit auswirken können.

Daten zur Selbsterkenntnis

Aus den weit verbreiteten Gadgets, die in Form eines Armbandes oder eines Medaillons getragen werden, um die körperliche Aktivität zu überwachen, sind keine nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen zu erwarten. Sie können im Gegenteil einen gesundheitsbewussten Lebensstil begünstigen, indem sie zu mehr sportlicher Aktivität motivieren.

Risiken stellen sich aber im Hinblick auf den Umgang mit den erhobenen Daten. Werden diese auf den Plattformen der Anbieter geteilt, besteht die Möglichkeit, dass sie von Dritten ausgewertet und zweckentfremdet werden. Der gleiche Vorbehalt wiegt bei neurologischen Daten noch schwerer: So könnten neurologische Merkmale genutzt werden, um Hinweise auf Persönlichkeitsmerkmale wie die sexuelle Orientierung oder die aktuelle Gemütsstimmung zu erhalten. Zudem ist die Gefahr nicht von der Hand zu weisen, dass das Verhalten von Menschen über die Neurostimulation manipuliert werden könnte.

Invasive Bioelektronik und chirurgische Risiken

Gegenwärtig werden die meisten bioelektronischen Systeme nahe am Körper getragen. Künftig könnten allerdings vermehrt bioelektronische Implantate zum Einsatz kommen. Zu den Risiken, die beim Umgang mit den persönlichen Daten und den Nebenwirkungen der elektronischen Stimulation auftreten können, würden diejenigen hinzukommen, die mit einer chirurgischen Intervention verbunden sind: Wird ein Fremdkörper implantiert, besteht immer die Gefahr von Infektionen, Vernarbungen oder unerwünschten Anpassungseffekten im Nervensystem. Auch können Abwehrreaktionen des Körpers auftreten, welche die Funktionstüchtigkeit des Implantats beeinträchtigen.

Nerds als Popstars der Gegenwart

Ob Datenbrille, Fitnessarmband, Smartwatch oder gar bioelektronische Tätowierung: Heute existiert eine Vielzahl an Wearables, die unterschiedliche Bedürfnisse befriedigen und beim jeweiligen Zielpublikum angesagt sind. Unklar ist aber, wie sich die bioelektronisch erweiterte Wahrnehmung langfristig auf das Selbstbild auswirkt.

Noch vor wenigen Jahren galt eine Person, die den Blick unablässig auf ihr Handy oder eine andere technische Spielerei gerichtet hielt, rasch als Nerd. Mittlerweile ist die ständige Konsultation von Fitness-tracker und Sport-App salonfähig geworden: Im Jahr 2020 besaßen rund 10 Prozent der Schweizer Bevölkerung ein Fitnessarmband, eine Smartwatch oder ein ähnliches Gerät. Eine Mode im Aufwind – ist doch hierzulande im gleichen Jahr der Verkauf von Wearables um sieben Prozent angestiegen. Hinzu kommen Handys, die dank der entsprechenden Apps ebenfalls für die Erhebung von Körperdaten genutzt werden können; mehr als 90 Prozent der Erwachsenen in der Schweiz verfügen über ein Smartphone.

Das Beste aus sich herausholen

In unserer auf Leistung ausgerichteten Gesellschaft gehört es zum guten Ton, das Beste aus sich herauszuholen. Somit fügt sich die konstante Überwachung der körperlichen Leistung und Verfassung in zwei gesellschaftliche Trends ein: in jenen zum gesunden Lebensstil und denjenigen zur Selbstoptimierung.

Ausserdem wird der Rückgriff auf bioelektronische Geräte durch die Demokratisierung der Wissenschaft gefördert. Aufgrund von Bewegungen wie Citizen Science verschwindet die Scheu vor der wissenschaftlichen Auseinandersetzung, und immer mehr Menschen ist der Umgang mit Daten vertraut. Es bilden sich neue Gemeinschaften, deren Mitglieder sich gegenseitig bei der Erhebung und Interpretation von Daten unterstützen. Plattformen für einen solchen Austausch werden nicht zuletzt durch die Anbieter von Wearables zur Verfügung gestellt, die dabei kommerzielle Interessen verfolgen: Dank der Nutzerdaten lassen sich die Produkte optimieren – und besser vermarkten. Die digitale Transformation, die unseren ganzen Alltag durchdringt, unterstützt den Vormarsch der Bioelektronik zusätzlich.

Schliesslich führen Erkenntnisse aus der Hirnforschung und ihre Verbreitung in populärwissenschaftlichen Zeitschriften oder in Science Fiction-Literatur zu einer veränderten Wahrnehmung des Gehirns als formbare und optimierbare Ressource. Entsprechend finden Produkte Anklang, die die Hirnleistung zu steigern versprechen.

Wo endet das Ich und wo beginnt die Technik?

Die Verwendung bioelektronischer Geräte bleibt nicht ohne Folgen für die Wahrnehmung – auch die des eigenen Selbst. Wer sich beispielsweise dank eines bioelektronischen Implantats in die Lage versetzen könnte, ultraviolette oder infrarote Strahlen wahrzunehmen – also Farben jenseits des «normalen» Spektrums sieht – würde in einer eigenen Welt leben. Auch das Eintauchen in virtuelle Welten, die von perfekt aussehenden Prominenten und Influencern bevölkert sind, bei denen jeder körperliche Makel weg retouchiert wurde und die sich in luxuriöser Umgebung präsentieren, könnte die Selbstwahrnehmung und die Ausprägung der eigenen Identität beeinflussen; jedenfalls wird dies insbesondere mit Blick auf Jugendliche diskutiert.

Heute handelt es sich bei der Mehrzahl der Wearables um kleine Apparaturen, die nahe am Körper getragen werden und physiologische Daten erheben. Daraus ergeben sich auch Fragen des Datenschutzes und der Kontrolle über das Gerät: Liegen Steuerung und Kontrolle über Daten und Gerät bei der Anwenderin, erhöht sich die Akzeptanz für dessen Einsatz. Probleme eigener Art stellen sich indes, wenn bioelektronische Anwendungen mit dem Gehirn interagieren. Denn dieses gilt – zumindest in unserer Kultur – als Sitz der Persönlichkeit und somit der Intelligenz, Urteilskraft, persönlicher Identität und Autonomie eines Menschen.

Elektronische Krücken für das Mängelwesen Mensch

Die Denkfigur, wonach das «Mängelwesen Mensch» seine Beschränkungen durch implantierte technische Hilfsmittel überwindet, findet in zahlreichen Romanen und Filmen ihren Niederschlag und hat über Massenmedien und Internet ein breites Publikum erreicht. Verschiedene Unternehmen setzen alles daran, sie wirtschaftlich zu realisieren. Die Ideen reichen vom zusätzlichen Sinnesorgan bis zum «ausgelagerten» Gedächtnis: Prothesen, Implantate oder über eine App gesteuerte Systeme werden Teil des menschlichen Erkenntnisapparates, sodass die entsprechenden Informationen nicht mehr ausschliesslich im Gehirn abgespeichert, sondern teilweise dem technischen Hilfsmittel oder einer Plattform im Internet anvertraut werden. Damit beginnen nicht nur das technische und das biologische System miteinander zu verschmelzen, sondern es stellt sich auch die Frage, welcher Stellenwert künftig unserem Gehirn für unser Selbstbild und im zwischenmenschlichen Austausch zukommen wird.

Während es Fachleute gibt, die den Einsatz bioelektronischer «Prothesen» als Stärkung der persönlichen Autonomie und als Möglichkeit begrüßen, eigene Defizite zu beheben, befürchten andere die Einschränkung individueller Selbstbestimmung. So könnten Personen unter Druck geraten, ihre Leistungen durch bioelektronische Hilfsmittel zu steigern; zudem besteht die Gefahr, dass sie der Auswertung ihrer neurologischen Daten unbeabsichtigt oder unwissentlich zustimmen. Ins Feld geführt wird zudem, es könne die Denkfaulheit begünstigen, wenn Informationen nicht mehr über die Erinnerung abgerufen werden müssten, sondern in ein bioelektronisches System ausgelagert würden. Der Einsatz bioelektronischer Mittel ist also zweischneidig und kann als Chance wie auch als Gefahr für die Autonomie des Individuums gesehen werden.

Aus ethischem Blickwinkel fällt zudem ins Gewicht, ob bioelektronische Hilfsmittel in der Gesellschaft fair verteilt sind; bliebe die Nutzung von leistungsfördernden Gadgets einem kleinen Teil der Bevölkerung vorbehalten, widerspräche dies dem Grundsatz der Zugangsgerechtigkeit. Ebenso wenig sollten Personen diskriminiert werden, die willentlich auf den Einsatz bioelektronischer Hilfsmittel verzichten, um körperliche Defizite wettzumachen – oder die sich ein solches Gerät nicht leisten können.

Die fiktive Anwendung «FocusUself» – ein Gedankenexperiment.

FocusUself ist ein Aufmerksamkeitsstimulator, der in Apotheken oder Elektronikfachmärkten erworben werden kann. Da sein Einsatz nur für Personen ab 25 Jahren zugelassen ist, muss man beim Kauf das Alter nachweisen und eine entsprechende Erklärung unterzeichnen. FocusUself besteht zum einen aus einem wiederverwendbaren Pflaster, das am Kopf angebracht wird, ferner aus einem Auswertungs- und Steuerelement, das über eine Handy-App funktioniert, und aus einer Plattform im Internet, auf der die eingehenden Daten gespeichert und ausgewertet werden. Die Werkseinstellung sieht eine automatische Steuerung und Auswertung vor; diesen Automatismus können die Anwenderinnen und Anwender aber ausschalten. Der Stimulator wird verwendet, um die Leistung zu steigern oder die Leistungsfähigkeit zu erhalten. Oft wird er aber auch eingesetzt, um die Erlebnisqualität im Ausgang, auf Reisen oder beim Gamen zu intensivieren. Gewisse Nebenwirkungen wie Schwindel, erhöhte Reizbarkeit, veränderte Wahrnehmungsfähigkeit sowie Angstgefühle während der Anwendungszeit sind nachgewiesen und werden in der Produktbeschreibung aufgeführt. In bestimmten Branchen, so etwa in der Wissenschaft und in anderen kreativen Berufen, besteht ein starker sozialer Druck, FocusUself einzusetzen. Auch versuchen manche Eltern, mit dem Pflaster ihre Kinder beim Lernen zuhause zu fördern. Jugendliche wiederum besorgen sich das Pflaster auf dem Graumarkt, um in der Schule und beim Gamen leistungsfähiger zu sein.

Dieses fiktive Beispiel zeigt, wie schwer sich der Gebrauch technischer Gadgets begrenzen lässt; auch die Definition und Kontrolle einer Altersgrenze garantieren nicht, dass die Nutzung eines Gerätes dem festgelegten Personenkreis vorbehalten bleibt. Ethisch besonders ins Gewicht fällt die Frage, ob ein häufiger Einsatz von FocusUself auf individuelle Wünsche, Vorlieben und somit auf gesellschaftliche Beziehungen zurückwirkt. Wäre dies der Fall und blieben diese Veränderungen auch nach Entfernung des Pflasters dauerhaft bestehen, würde FocusUself zu einer qualitativ neuartigen Beeinträchtigung der persönlichen Autonomie führen; auch die individuelle Kontinuität, verstanden als wesentlicher Kern der Persönlichkeit, wäre möglicherweise gefährdet.

Von der idealistischen Vision zur wirtschaftlichen Kalkulation

Die Entwicklung bioelektrischer Systeme wird von der medizinischen Forschung vorangetrieben. Doch etliche Firmen, die auf medizinischem Feld aktiv sind, bringen auch nicht-medizinische bioelektronische Geräte und Anwendungen auf den Markt. Weitere bioelektronische Innovationen steuern Visionäre aus der Technikszenen bei.

In der Schweiz gibt es mehrere Fonds, die in vielversprechende pharmazeutische und medizinische Innovationen investieren; bis maximal zehn Millionen pflegen solche Geldgeber für aufstrebende Firmen bereitzustellen. Dabei hat die Bioelektronik hierzulande einen guten Stand. Schweizer Universitäten und Hochschulen sind in den Lebenswissenschaften wie auch in der Informatik – einschliesslich der Entwicklung von Spielen – gut aufgestellt. Verschiedene nationale Forschungsprogramme und -projekte weisen zudem Anknüpfungspunkte zur Bioelektronik auf, wobei der Schwerpunkt bei medizinischen Anwendungen liegt.

Utopisten mit Gewinnabsicht

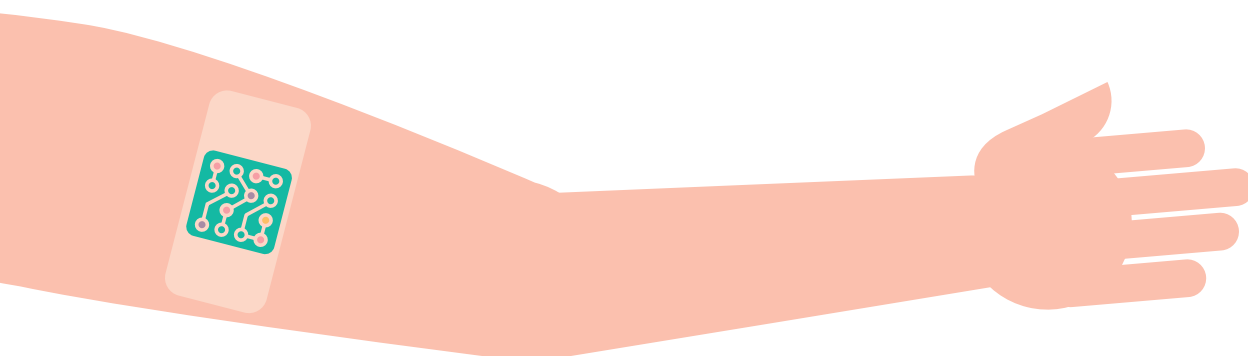
Während sich die Forschungsprogramme der öffentlichen Hand auf medizinische Anwendungen konzentrieren, sieht es im privaten Sektor ganz anders aus. Elon Musk, in erster Linie für seinen visionären Einsatz in der terrestrischen und kosmischen Mobilität bekannt, liess bis 2019 insgesamt 158 Millionen US-Dollar in die Firma Neuralink fließen, die unter anderem bioelektronische Implantate fürs Gehirn

entwickelt. Kurzfristig werden medizinische Ziele in den Fokus gerückt, längerfristig sollen die Neuroprothesen aber auch dazu dienen, die Kapazität des Gehirns zu erweitern.

Ein weiteres internationales Schwergewicht ist Meta, das Unternehmen von Mark Zuckerberg. Es tüftelt nicht nur an neuen Mensch-Computer-Schnittstellen, sondern entwickelt ein «Metaverse», eine neue erweiterte Realität, die Elemente der realen Welt mit fiktiven Inhalten verbindet und dereinst eine wichtige Rolle im Alltag der Menschen spielen soll. Das Metaversum wird im Reality Lab von Meta entwickelt; bis jetzt hat Zuckerberg rund zehn Milliarden US-Dollar in die Entwicklung seines künstlichen Kosmos' gesteckt.

Die Schweiz am Übergang von medizinischer und nicht-medizinischer Bioelektronik

In der Schweiz beheimatet ist das Startup MindMaze, das an Systemen zur Neurorehabilitation arbeitet, die sich in Kliniken und für die Fortsetzung der Reha zuhause einsetzen lassen. Gegründet im Jahr 2012, profitierte es von einer Starthilfe der Gebert Rütli-Stiftung. Über Videoaufnahmen und Sensoren, die den Bewegungsablauf erfassen, und über Messungen der Gehirnströme erfasst das System von MindMaze Daten, die in eine Trainingssoftware einfließen, welche stark mit virtuellen Realitäten arbeitet. In jüngerer Zeit forscht MindMaze auch an der Schmerztherapie und beabsichtigt, sich mit



Produkten direkt an Konsumentinnen und Konsumenten zu wenden. Schon 2015 hatte MindMaze erstmals eine Anwendung für Computerspiele vorgestellt, und 2016 erreichte die Firma den Status eines «Unicorns», d.h. eines Startups mit einem Wert von über einer Milliarde US-Dollar.

Aleva Neurtherapeutics ist ebenfalls den hiesigen Unternehmen zuzurechnen, denn die Hauptinvestoren befinden sich in der Schweiz. Sie haben bisher 52 Millionen US-Dollar in die Firma gesteckt, welche insbesondere an der tiefen Hirnstimulation für Parkinson- und Tremor-Kranke arbeitet. Das ETH-Spinoff Idun Technologies wiederum entwickelt Kopfhörer, die im Innern des Ohrs Daten zur Hirnaktivität aufzeichnen und Aktivitäten der Augen- und Kiefermuskeln erheben; der Fokus liegt auf dem Aufzeichnen und Interpretieren der Daten und kann damit beispielsweise helfen, an Epilepsie Erkrankte

zu überwachen. Das Unternehmen zählt dabei auf den – auch finanziellen – Support von Sony. Weitere Firmen mit bioelektronischen Produkten im Portfolio, die hierzulande tätig sind oder gar in der Schweiz ihren Hauptsitz haben, sind Dynavision, Neurosoft Bioelectronics und Onward Medical. Ihr Schwerpunkt liegt bei medizinischen Anwendungen.

Die Textilindustrie eröffnet weitere Einsatzmöglichkeiten für die Bioelektronik; diese könnte Sport-, Schutz- und andere Spezialtextilien um interessante Funktionalitäten erweitern. Allerdings vermochte sich die Zusammenarbeit zwischen Informatik und Textilbranche noch nicht recht zu etablieren. Die Entwicklung nicht-medizinischer Produkte wird hierzulande auch dadurch erschwert, dass die bestehenden Regelungen und Strukturen in erster Linie auf die medizinische Bioelektronik ausgerichtet sind.

Geteilte Verantwortung von Mensch und Technik?

Aus Sicht des italienischen Renaissance-Philosophen Giovanni Pico della Mirandola liegt der charakteristische Wesenszug des Menschen in seiner Willensfreiheit. Doch ist diese noch intakt, wenn unser Denkkorgan elektromagnetisch stimuliert wird? Bioelektronische Einwirkungen auf das Gehirn könnten unsere Auffassung dessen verändern, was den Menschen ausmacht, mit Folgen für seine Handlungsweisen und deren rechtliche Konsequenzen.

Wir können nur dann schuldig gesprochen werden – an einer Missetat oder an einem Schaden, wenn wir schuldhaftig sind. Dazu müssen wir in der Lage sein, unseren freien Willen auszuüben und ein Urteil zu fällen. Doch wie steht es um diese Fähigkeiten, wenn eine bioelektronische Gehirnstimulation auf unsere Sinneseindrücke und unsere Wünsche einwirkt? Erhöht jemand die Leistungsfähigkeit mittels Neurostimulation, ist nicht ausgeschlossen, dass diese Person andere Anliegen verfolgt und einen unterschiedlichen Willen äussert als im «unverfälschten Normalzustand». So gesehen, führt die Bioelektronik teilweise auf ein juristisch umstrittenes Feld, weil sie an die Frage rührt, was überhaupt eine Person ausmacht.

Wenn die Technik dazwischenfunk

Das Gesetz nennt im Zivilgesetzbuch (Art. 16) verschiedene Zustände, die die Fähigkeit beeinträchtigen, «vernunftgemäss zu handeln»: geistige Behinderung, Rausch, psychische Störungen oder das Kindesalter. Bioelektronische Einwirkungen auf das Gehirn könnten vergleichbare Effekte nach sich ziehen wie die im Gesetz erwähnten Merkmale und somit die Urteils- und mithin die Schuldfähigkeit mindern.

Fragen nach der Verantwortung stellen sich aber nicht nur hinsichtlich der Nutzerin oder des Nutzers eines bioelektronischen Gerätes. Vielmehr könnten auch an die Hersteller des Gadgets Haftungsansprüche erhoben werden. Gesetzt den Fall, eine mit einem Exoskelett ausgestattete Person vollführt unbeabsichtigt eine ausladende Bewegung und zerbricht eine kostbare Vase oder verletzt gar einen Menschen – wer trägt die Verantwortung? Haftungsfragen kommen auch dann auf, wenn die Trägerin oder der Träger eines bioelektronischen Systems zu Schaden kommt. Dessen Herstellerin haftet gemäss Produkthaftungspflicht auf jeden Fall für Schäden, die durch ein fehlerhaftes Produkt entstehen. Allerdings kann es

aufgrund der Komplexität bioelektronischer Systeme schwierig sein nachzuweisen, dass ein Schaden tatsächlich durch einen Fehler im System und nicht durch den unkorrekten Einsatz verursacht wurde.

Aus ethischer und rechtlicher Sicht sind diejenigen bioelektronischen Systeme besonders problematisch, die autonom, d.h. unabhängig von den Entscheidungen und Eingriffen ihrer Trägerinnen und Träger, agieren. Wenn der freie Wille durch einen technischen Automatismus ersetzt wird, gilt es nicht zuletzt die Haftungsfrage zu klären, wenn dieser fehlerhaft arbeitet.

Datenschutz und Persönlichkeitsschutz

Wenn bioelektronische Systeme Energieflüsse im Gehirn ermitteln und auf dieses einwirken, rühren sie an das Innerste einer Person. Entsprechend gut gilt es die dabei ermittelten und verwendeten neurologischen Daten zu schützen. In der Fachwelt wird auch die Gefahr des «Gehirn-Hackings» diskutiert: Würden sich Unbefugte Zugriff auf ein bioelektronisches Neuroimplantat verschaffen, wäre vieles – vom Aufdecken persönlichster Veranlagungen einer Person über ihre stetige Kontrolle bis zur Manipulation ihrer Handlungen – vorstellbar.

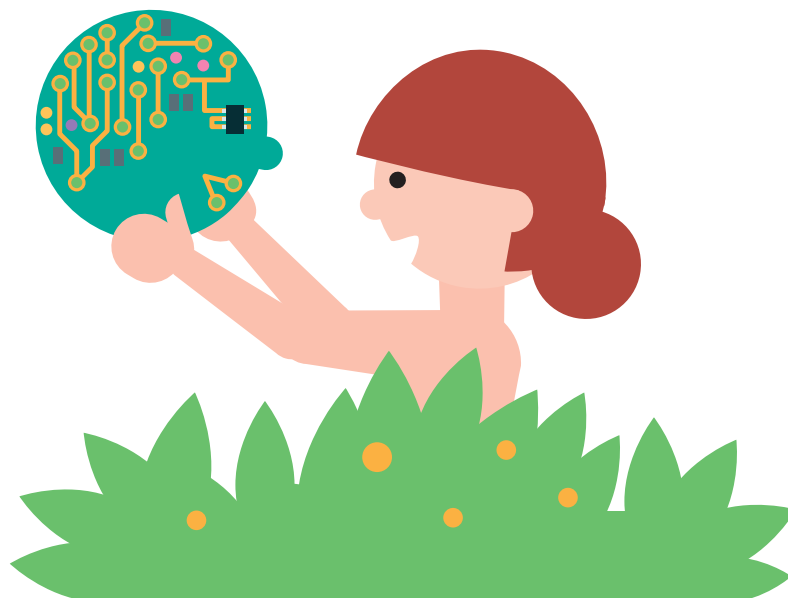
Einige Expertinnen und Experten machen sich deshalb dafür stark, einen spezifischen Kern der Persönlichkeit unter besonderen verfassungsrechtlichen Schutz zu stellen; andere plädieren angesichts der Entwicklungen in der Neurotechnologie dafür,

nebst dem Recht auf mentale Selbstbestimmung künftig das Recht auf mentale Privatsphäre, das Recht auf mentale Integrität und das Recht auf psychische Kontinuität einfordern zu können.

Die Persönlichkeit neu interpretieren

Die Verflechtung von Mensch und Technik könnte mittelfristig dazu führen, dass die rechtliche Auffassung von «Person» den neuen Gegebenheiten angepasst werden muss. So gelang es dem farbenblinden Künstler Neil Harbisson, Bioelektronik als Teil seines Körpers anzuerkennen zu lassen und durchzusetzen, dass diese auf seiner Passfoto zu sehen ist. Mit Blick auf den technisch aus- und aufgerüsteten Körper könnte es erforderlich werden, eine neue normative Kategorie der «technisierten Person» einzuführen, was bisherige rechtliche Gegensätzlichkeiten von Sachen (im Sinne von Eigentum) und Personen aufweichen würde.

Um ihre Funktion erfüllen zu können, sind bioelektronische Geräte auf eine Vielzahl persönlicher Daten angewiesen, die sie selber erheben. Fragen rund um den Schutz sensibler Daten nehmen daher in der rechtlichen Auseinandersetzung mit der Bioelektronik breiten Raum ein. Da sich vergleichbare Fragen mit anderen «Wearables» stellen, die bereits in der Studie von TA-SWISS über «Quantified Self» (2018) ausführlich behandelt wurden, wurde das Thema Datenschutz in dieser Studie nicht nochmals vertieft untersucht.



Potenziale ausschöpfen, ohne Risiken auszublenden

Bisher sind es in erster Linie Fachleute, die sich mit der Bioelektronik befassen. Der Zeitpunkt ist gekommen, um eine breite Diskussion in Gang zu bringen. Denn die Bioelektronik beginnt, sich im Alltag der Menschen auszubreiten.

Die zukünftige Entwicklung der nicht-medizinischen Bioelektronik wird die Grundwerte unserer Gesellschaft sowie die Wissenschaft, die Wirtschaft, das Gesundheitssystem und die Umwelt tangieren. Die Empfehlungen aus der Studie zielen auf die entsprechenden Handlungsfelder ab.

Weder Schwärmerei noch Verweigerung

Die nicht-medizinische Bioelektronik liegt im Spannungsfeld zwischen schwärmerischer Begeisterung und Verweigerung. Verzerrte Sichtweisen – in welche Richtung auch immer – verhindern die sachgerechte Auseinandersetzung mit den Potenzialen und Risiken, die nicht-medizinische Bioelektronik der Wissenschaft, Wirtschaft und nicht zuletzt den Anwenderinnen und Anwendern eröffnet. Einfach zugängliche und verständliche Formate wie Videos oder Podcasts sowie Vorträge und Diskussionsveranstaltungen sollen in der Gesellschaft die sachliche Auseinandersetzung mit der Bioelektronik anregen.

Von Suchtmitteln lernen

Bioelektronische Einwirkung aufs Gehirn kann ähnliche Effekte erzeugen wie der Genuss von Suchtmitteln oder psychisch aktiven Medikamenten. Eine vergleichende Studie müsste darüber Aufschluss geben, welche Regelungen und Empfehlungen im Umgang mit psychoaktiven Substanzen auf den Einsatz der Bioelektronik übertragen werden könnten.

Heranwachsende besonders schützen

Werden bioelektronische Geräte nicht korrekt verwendet, wird möglicherweise die Gesundheit aufs Spiel gesetzt. Schwer einzuschätzen sind insbesondere die Folgen einer unsachgemässen elektromagnetischen Stimulation des Gehirns. Dabei sind Jugendliche speziell gefährdet, weil ihr heranreifendes Gehirn noch formbar ist und von den elektromagnetischen Impulsen dauerhaft beeinflusst werden könnte. Eine Studie sollte anhand der Kenntnisse aus dem medizinischen Bereich die potenziellen Langzeitfolgen auf den Organismus – insbesondere auf das Gehirn – Heranwachsender ausloten und allenfalls als Grundlage für weiterführende Abklärungen dienen.

Abstraktes fassbar machen

In der nicht-medizinischen Bioelektronik fließen die Anstrengungen unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen und wirtschaftlicher Akteure zusammen. Sie liefert damit Anschauungsmaterial für die vielerorts zu beobachtende Verflechtung von Wissenschaften und Technologien – ein Thema, das zwar oft abstrakt in Fachkreisen erörtert, aber kaum an die Öffentlichkeit getragen wird. Konkrete Anwendungen wie «smarte Pflaster» könnten als Aufhänger für eine gesellschaftliche Diskussion über den Umgang mit der Konvergenz von Wissenschaft und Technologie dienen und dabei auch ein Publikum erreichen, das sich bis jetzt noch kaum mit diesem Phänomen auseinandergesetzt hat, von seinen Folgen aber betroffen sein dürfte.

Regulatorische Offenheit für Neuerungen

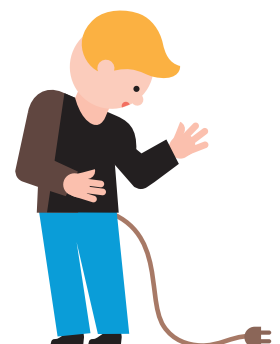
Die bestehenden Regulierungen für die Zulassung bioelektronischer Systeme sind auf die medizinische Bioelektronik ausgerichtet. Zunehmend wird die Forderung laut, aus Sicherheitsgründen solle die nicht-medizinische Bioelektronik die gleichen Auflagen erfüllen wie die medizinische. Kleine und mittlere Unternehmen würden dadurch in ihrer Innovationstätigkeit stark behindert. Daher sollte abgeklärt werden, ob für bioelektronische Produkte, die nicht eindeutig für die medizinische oder die nicht-medizinische Verwendung vorgesehen sind, ein neues Regulierungsmodell zweckmässig wäre. Dies betrifft nicht nur die rechtlichen Vorgaben, sondern auch technische Normen und die privaten oder branchenüblichen Standards. Es ist dabei auch zu prüfen, ob für die Forschung und Entwicklung neuroelektronischer Produkte besondere ethische Richtlinien zu formulieren sind.

Kompetenznetzwerke stärken

Angesichts des beträchtlichen Potenzials medizinischer wie auch nicht-medizinischer Bioelektronik gilt es, eine Auseinandersetzung mit diesem interessanten Forschungs- und Wirtschaftszweig zu fördern. Eine Initiative sollte Forschende aus unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen und Personen aus der Praxis und der Wirtschaft zusammenbringen, um das Netzwerk von Kompetenzen in der Bioelektronik zu stärken. Die auf eine Dauer von sieben bis zehn Jahre angelegte Initiative wäre speziell auf Projekte auszurichten, die wissenschaftliches und unternehmerisches Neuland betreten, und sie sollte sowohl auf die Förderung medizinischer als auch nicht-medizinischer Bioelektronik abzielen.

Zugriff auf Tiere hinterfragen

Der Einsatz bioelektrischer Systeme bei Tieren beschränkt sich bis jetzt weitgehend auf die Forschung. Es ist zu prüfen, ob die zunehmende Technisierung von Tieren Anpassungen in der Rechtsetzung erfordert.



Mitglieder der Begleitgruppe

- Prof. Dr. Christina Aus der Au, Medical Humanities, Université de Fribourg
- Peter Biedermann, Swiss Medtech, Bern
- PD Dr. Markus Christen, Digital Society Initiative, Universität Zürich
- Prof. Dr. Antoine Geissbuhler, Service de cyber-santé et télémédecine, Hôpitaux Universitaires de Genève, Delegierter der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften SAMW
- Prof. Dr. Malte-C. Gruber, Rechtswissenschaftliche Fakultät, Universität Luzern
- Thomas Müller, Redaktor Radio SRF, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS, Vorsitzender der Begleitgruppe
- Dr. Tobias Ruff, Laboratory of Biosensors and Bioelectronics, ETH Zürich
- Prof. Dr. Giatgen Spinas, Prof. em. Universitäts-spital Zürich, Mitglied des Leitungsausschusses von TA-SWISS

Projektleitung bei TA-SWISS

- Dr. Elisabeth Ehrensperger, Geschäftsführerin
- Dr. Adrian Rügsegger, Projektverantwortlicher

Impressum

Nervenkitzel durch Bioelektronik

Kurzfassung der Studie «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen.

Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik»

TA-SWISS, Bern 2022

TA 78A/2022

Autorin: Dr. Lucienne Rey, TA-SWISS, Bern

Produktion: Dr. Adrian Rügsegger und Fabian Schluep, TA-SWISS, Bern

Gestaltung und Illustrationen: Hannes Saxer, Bern

Druck: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Die Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Mobilität / Energie / Klima». Ihre Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren. Die Studien von TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

Die Stiftung TA-SWISS ist ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz.



TA-SWISS
Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung
Brunngasse 36
CH-3011 Bern
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

mitglied der
 akademien der
wissenschaften schweiz