

Oskar C. Aszmann

Bionische Rekonstruktion: Das Ende der Leiblichkeit?

Bionic Reconstruction: The End of Corporeality?

Zusammenfassung

Wir leben in einer mehr und mehr technologisierten Welt. Wenige Abläufe in der heutigen Zeit sind ohne die direkte Anwendung oder Hilfestellungen von technischen Hilfsmitteln möglich. Die Interaktion mit diesen Artefakten wird zunehmend verleiblicht, um einen noch intuitiveren Umgang zu ermöglichen. Mechatronische Hände und Füße stellen hier nur eine medizinische Anwendung dar, welche den unmittelbaren Verlust leiblicher Kompetenz ersetzen soll. Aber gerade hier sehen wir die Schwierigkeiten, welche diese Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine mit sich bringt. Zwar sind die physikalischen oder chemischen Größen biologischer Systeme prinzipiell auch im technologischen Umfeld nutzbar, aber eben nur sehr limitiert. Es besteht eine Art ‚Komplexitätsimpedanz‘, welche nur in einem sehr geringen Maß einen Informationstransfer zulässt. Auf die Möglichkeiten und Limitierungen dieser bio-technologischen Schnittstellen will dieser Artikel eingehen.

Schlüsselwörter: Patient, Verletzlichkeit, Leiblichkeit, Prothetik, Biotechnologie

Abstract

We live in an increasingly technological world. Few processes today are possible without the direct application or assistance of digital and technological aids. Interaction with these artefacts is becoming increasingly embodied to enable even more intuitive handling. The replacement of lost bodily competence with bionic hands and feet is only a medical application of this universal quest. This specific application, however, reveals the difficulties we face when trying to interface men with machines. The physical or chemical signals parameters of biological systems can in principle be used in a technological environment but only to a very limited extent, as there is a “complexity impedance” that prevents smooth bi-directional information transfer. This article explores the possible benefits and limitations of such bio-technological interfacing.

Keywords: bioengineering, embodiment, cyborg, body enhancement, transhumanismus

Univ.-Prof. Dr. Oskar C. Aszmann
Leiter des klinischen Labors für Bionische
Extremitätenrekonstruktion
Stv. Leiter der Univ.-Klinik für Plastische,
Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie
Medizinische Universität Wien
Spitalgasse 23, A-1090 Wien
oskar.aszmann@meduniwien.ac.at

Der Mensch – ein zelluläres Gebilde

Die Art und Weise, wie wir den Menschen in seiner Struktur verstehen, schlägt sich natürlich letztlich in der Sicht, Diagnostik und Behandlung diverser Phänomene und Pathologien nieder. Seit Hippokrates (460–370 v. Chr.) galt das Ungleichgewicht der Säfte als wesentliche Ursache von Krankheit und Tod. Louis XIII (1601–1643) zum Beispiel litt sein Leben lang unter Koliken und Erbrechen. Der klinischen Beschreibung nach hatte er Morbus Crohn, eine entzündliche Darmerkrankung. Sein Leibarzt Bouvard verordnete ihm in seinen letzten beiden Lebensjahren 34 Aderlässe, 1250 Einläufe und 250 intestinale Säuberungen. Er starb nach sechs Wochen in erbärmlicher Exsikkose und Entkräftung.

Wir sehen, die Säftelehre war Grundlage der Interpretation des Zustandsbildes, hat eine Diagnose und spezifische Therapie festgelegt, welche dann offensichtlich nicht zum gewünschten Erfolg geführt hat. Trotzdem hat diese Lehre das medizinische Denken und Handeln über weite Strecken des Mittelalters bis in die Renaissance bestimmt. Mit René Descartes (1596–1650) hat, unter anderem, auch ein mechanistisches Weltbild in die Biologie Einzug gehalten. In der nach seinem Tod veröffentlichten „Abhandlung über den Menschen“, stellt er erstmals den menschlichen Körper als eine Art Maschine dar. Das passt natürlich in das mechanistische Weltbild eines Descartes, in der auch die belebte Natur, wie Tiere und Pflanzen, als komplexe Apparaturen gedacht werden. Auch die Seele, so meint er, sei letztlich nur ein Phänomen, das sich wie ein Uhrwerk in einer Pendeluhr finden ließe. Physiologen wie Xavier Bichat (1771–1802) und Claude Bernard (1813–1878) haben diese Weltsicht erstmals übernommen und sehen biologische Organismen als nichts anderes als lebendige Maschinen.¹

1838 hat Theodor Schwann seine bahnbrechende Doktorarbeit in Berlin publiziert. Sie trägt den Namen „Mikroskopische Untersuchungen zur Übereinstimmung der Struktur und dem Wachstum von Thieren und Pflanzen“ In dieser Arbeit

wird erstmalig umfassend dokumentiert, dass tierische und pflanzliche Lebewesen als grundlegendes Strukturelement aus Zellen bestehen.² Wie sich diese Zellen differenzieren, warum sie besondere Formen annehmen und unterschiedliche Dinge machen, wurde versucht aus der unterschiedlichen ‚kristallinen‘ Struktur bzw. der chemischen Zusammensetzung der Zellen zu erklären. Konsequenterweise wurde kurz darauf von seinem Kollegen Rudolf Virchow 1854 das erste Werk zur Zellularpathologie veröffentlicht. Erst etwa 100 Jahre später (1954) hat man erkannt, dass die wichtigste Eigenschaft, die allen lebenden Organismen innewohnt, ein immenser Informationsgehalt ist. Organismen sind also ‚informationsverarbeitende‘ Zellverbände, die für einen begrenzten Zeitraum die Elemente in biologischen Systemen organisieren, welche den Bauplan des jeweiligen Organismus offenbaren und sozusagen Fleisch gewordene Information sind. Dieser Ordnungsgrad und die Entropieminderung kann für einen sehr überschaubaren Zeitraum aufrechterhalten werden und das Phänomen ‚Leben‘ ermöglichen.³

Dieses individuelle Leben beginnt also als befruchtete Zelle und differenziert über eine amorphe Zellansammlung (Morula) schließlich Zelle für Zelle langsam aus und bildet letztlich wundersam einen Leib. Ausgewachsene Menschen bestehen schließlich aus etwa 10 bis 14 (100 Billionen) Zellen, wobei etwa 70 Milliarden Zellen pro Tag absterben und wieder neu nachgebildet werden, wobei weiters unterschiedliche Zellpopulationen in unterschiedlichen Zeitachsen ausgewechselt werden. Wir sind also ein zelluläres Fließgleichgewicht und der Leib, der heute greifbar ist, wird sich etwa alle 7 Jahre völlig erneuert haben.

Wir bewohnen diese dynamische, pulsierende, aber auch vulnerable und letztlich dem Verfall bestimmte biologische Matrix, sind durch sie bekleidet und in ihr zu Hause. Komplexe Informationsflüsse und Regelsysteme ermöglichen einen reibungslosen Ablauf. Dies beginnt mit Zell-zu-Zell-Informationsaustausch über Ionenka-

näle und Desmosomen, geht weiter über parakrine Botenstoffe, welche sozusagen regionale Zurufe ermöglichen und endet in systemübergreifenden Organisationsstrukturen durch endokrine Botenstoffe und letztlich durch ein umfassendes Nervensystem, welches sowohl eine Vielzahl von Autonomfunktionen übernimmt, als auch ein hohes Maß an bewusster Steuerung zulässt.

Unsere Sinnesorgane ermöglichen eine Eigen- und Fremdwahrnehmung, die auf die physikalischen und chemischen Reize unserer Umgebung optimal eingestellt ist, und unser Nervensystem erlaubt uns unseren Körper adäquat in dieser Umgebung zu navigieren und auf diesen selbst Einfluss zu nehmen.

Verlust der Leiblichkeit

In diesem Kontext müssen wir den Verlust und die damit einhergehenden Pathologien diverser Körperfunktionen bzw. Teilen unserer Leiblichkeit sehen. Es ist nicht nur der Verlust einer Hand oder eines Fußes, als Werkzeug, das uns zur Fortbewegung oder Umsetzung einer Arbeit fehlt, sondern vielmehr noch ein unwiederbringlicher Verlust komplexer sensomotorischer Gewebsteile, welche uns die Möglichkeit der unmittelbaren Interaktion mit unserer Umgebung ermöglichen. Oder wie Thomas Fuchs sagt: „Es ist der eigene Leib, den wir bewohnen, jedoch nicht wie ein Kapitän sein Schiff oder ein Fahrer sein Auto, sondern in der Weise, dass wir selbst *dieser Leib sind*“.⁴ Dieses ‚Selbst sein‘ hat unmittelbar mit der Eigenwahrnehmung, der Sensorik, den vielfältigen afferenten Wahrnehmungen zu tun. Dies ist zwar nicht auf den ersten Blick ersichtlich, aber tatsächlich ist sowohl ein Fuß und besonders auch eine Hand ohne Sensibilität und differenzierte Eigenwahrnehmung in seiner Funktion wesentlich eingeschränkt und für viele Tätigkeiten völlig unbrauchbar. Forschungsergebnisse unseres Labors haben gezeigt, dass fast 90% unserer Nervenfasern Information zum Zentralnervensystem und nur 10% motorische Funktionen vermitteln.⁵

Wir sind somit vornehmlich sensorische Wesen. Die Haut der Fingerspitzen hat eine sensorische Auflösung, mit welcher man regelrecht ‚sehen‘ kann und unser Tastsinn ist Quelle für eine unmittelbare und unfehlbare Informationsquelle. Deshalb schaut man *nicht* mit den Augen, sondern mit den Händen und für jeden Chirurgen sind die Finger unverzichtbar für das Begreifen und teilweise blindes Erkunden unzugänglicher Regionen. Auch die „Braille“-Schrift oder das behende Spielen eines Instruments geben ein offenkundiges Zeugnis für dieses unmittelbare Wechselspiel zwischen präzisen Fingerbewegungen und dem Tastsinn.

Wenn man die beträchtliche Oberfläche der Hirnrinde betrachtet, die der sensomotorischen Funktion der Hand und den Fingern zugeordnet ist, kann man noch mehr erahnen, welche Bedeutung dieser relativ kleinen anatomischen Struktur mit weniger als 1% des Körpergewichtes zugeordnet wird. Noch eindrücklicher wird diese Bedeutung nach einem Verlust der Hand. Das Zentralnervensystem verschmerzt den plötzlichen funktionellen Verlust und auch den Verlust des Informationsflusses der Hand nur sehr schwer und quälende Phantomschmerzen sind oft Ausdruck der schreienden Stille, mit welcher das Zentralnervensystem zurechtkommen muss. Dem offensichtlichen Strukturdefekt der fehlenden Hand oder gar des fehlenden Arms entspricht also naturgemäß ein gewaltiger Verlust an Funktion, Ausdrucksfähigkeit und Kommunikation, aber letztlich leidet man auch unter dem neuronalen Verlust und Informationsfluss. Dieser Verlust wird gemeinhin als Phantomschmerz bezeichnet.

Man sieht schon jetzt, ein Verlust von Leiblichkeit bzw. dessen Funktionsfähigkeit ist nicht einfach zu ersetzen, da wir als zelluläres Konstrukt mit einer vielschichtigen Organisation zu tun haben und der anatomische Defekt nur der offensichtlichste ist – Embodiment aber vor allem von der Wiederherstellung von Regelkreisen mit hoher Komplexität abhängig ist.

Bio-technologisches Interfacing

Die große Herausforderung liegt also zunächst darin biologische Systeme mit technischen Notwendigkeiten in Einklang zu bringen. Dieser Herausforderung haben wir uns vor Jahren gestellt und begonnen darüber nachzudenken, wie wir Nervenimpulse in eine Sprache übersetzen, die von einer Maschine verlässlich und mit hoher Präzision verstanden werden kann.

Das Zentralnervensystem, in dem der Bewegungsentwurf entsteht, lässt Signale ableiten, doch sind diese zu grob und unpräzise um eine robuste und alltagstaugliche Steuerung zu ermöglichen. Ein peripherer Nerv beherbergt tausende Nervenfasern, die Sprache bzw. die Codierung von Information ist uns jedoch nicht im Detail bekannt und die Lautstärke vergleichsweise schwach, sodass Ableitungen direkt am Nerv ebenso nicht von Erfolg gekrönt waren. So haben wir uns für Ableitungen entschlossen, welche nach der neuromuskulären Überleitung entstehen. Hier dient der Muskel sozusagen als Übersetzer und Verstärker neuronaler Signale.⁶ Der Muskel kann hier in großem Detailreichtum Bewegungssignale verlorener Extremitätenfunktionen mit guter Signalqualität offenbaren und somit tatsächlich alltagstauglich robuste Systemsteuerung übernehmen.⁷ Diese Biosignale können dann nicht invasiv über die Hautoberfläche abgegriffen und in die Prothese übergeleitet werden. Selbstverständlich, ist die Anzahl der steuerbaren Elemente im Vergleich zum Original sehr reduziert und auch in der Fluidität des Informations/Bewegungskontinuums unvergleichlich schwach. Wenn man bedenkt, dass ein ausgewachsener Arm eines Menschen von etwa 350.000 Nervenfasern versorgt wird, welche alle mit unglaublich hoher Frequenz Information bidirektional überleiten, kann man erahnen, wie erbärmlich am Ende die High-Tech Prothese mit drei Freiheitsgraden abschneidet.

Hier redet man freilich nur von ‚efferenten‘ Systemen. Seit Jahren bemühen wir uns um die Wiederherstellung der Wahrnehmung. Wie ein-

gangs erwähnt ist da die Hand vornehmlich ein sensorisches Instrument, ein Endoskop, ein Explorationsorgan – man betastet, erkundet, berührt, ‚schaut nach‘ – ist das Objekt, kalt, warm, rau, spitz, stumpf, trocken, nass... all das erfordert die Präsenz einer minutiös organisierten, multimodalen sensorischen Oberfläche, die räumlich und zeitlich Information in hoher topographischer und zeitlicher Auflösung an den Kortex zurückmeldet. Die Auflösung ist so hoch, dass wir einzelne Sandkörner ertasten, ein Fliegenbein spüren und das Gewicht im Kilogramm-Bereich abschätzen und im Millisekundentakt blitzschnell auf diese Reize reagieren können.

Hier ist die Bringschuld zunächst im Engineering-Bereich angesiedelt – alleine jedoch einen Mechanosensor dieser Modalität zu konstruieren, bringt uns schnell an unsere Grenzen. Von der Transmission dieser Signale bzw. Überleitung an unser Nervensystem in ausreichender Geschwindigkeit und Qualität (<50ms) wollen wir gar nicht reden.⁸ Somit kommen wir hier gar nicht über die erste Hürde und müssen das ‚afferente‘ Problem innerhalb der vorgegebenen biologischen Matrix lösen. Das ist zumindest meine Schlussfolgerung gewesen.⁹

Embodiment

Das Zentralnervensystem ist erstaunlich flexibel und kann alternative Realitäten gut verarbeiten, solange diese mit dem restlichen Körperbild gut textualisiert werden können.

Ein Beispiel: Vor einem Jahr kommt ein Patient zu mir mit einer inkompletten Durchtrennung seines Rückenmarks nach einem Kletterunfall. Sein primäres Anliegen: wieder gehen zu können. Wir machen ein paar Sehnentransfers und er lernt gehen. Nach gewonnenem Vertrauen fragt er mich: Herr Doktor, ich spüre seit dem Unfall meinen Penis nicht mehr. Ich habe Geschlechtsverkehr mit meiner Frau, aber ich spüre nichts. Können Sie mir da auch helfen? Ich untersuche ihn und finde, dass ein anderer Nerv in der Nähe, welcher die Schien-

beininnenseite spüren macht, noch gute Funktion hat. Diesen können wir verlagern, sage ich. Nach 6 Monaten kommt er wieder zur Begutachtung und berichtet mir aufgeregt von seinem neuen Gefühl am Penis. Ja, zunächst spürte er sein Schienbein im Penis – aber mit regelmäßigem Gebrauch wurde es immer natürlicher und letztlich ist es wieder zu seinem Penis geworden. Er hat die neue Sensibilität in sein Körperbild kontextualisiert. Man nennt dieses Phänomen Plastizität. Das Hirn hat gelernt mit diesen neuen Umständen umzugehen.

Auch mit Prothesenträgern ist das so. Wichtig ist hier, dass die Biosignale sauber, sinnvoll, verlässlich und schmerzfrei sind. Wir sind hier noch im Tierversuch – aber unsere ersten Ergebnisse zeigen in die richtige Richtung und lassen erwarten, dass Patienten sensorische Biosignale, die einer Prothesenfunktion oder Bewegung zuordenbar sind, auch zu einer kortikalen Neuordnung und zu einem erfolgreichen Embodiment führen können. Tatsächlich sind Prothesenträger ja nicht vollkommen von ihrer Prothese abgekoppelt, sondern ‚spüren‘ ihre Prothese über ‚Sekundärafferenzen‘. Diese sind zum Beispiel über die Druckverteilung bei Belastung am Amputationsstumpf oder über die feinen Motorengeräusche und Vibrationen, wenn diese beim Zugreifen bei Belastung das Betriebsgeräusch verändern. Auch wir schalten ja vom ersten in den zweiten Gang nicht nach Blick auf den Drehzahlmesser (so das Auto diesen hat), sondern weil das Geräusch des Motors und die Vibration des Autos uns das nahelegt.

Im Umgang mit Technologie ist eine multimodale/sensorische Wahrnehmung unumgänglich, um ein Embodiment zu ermöglichen. Insbesondere bei Ausweitung dieser Artefakte in Richtung Metaverse werden weitere Tools notwendig werden, um die Unmittelbarkeit bzw. eine immersive Reality zu erreichen. Wichtig ist hier festzustellen, dass das Verbinden mit diesen technologischen Hilfsmitteln immer nur durch eine Projektion primärer Erfahrung zustande kommt. D. h. zum Beispiel die Wahrnehmung des Hammers oder des Skalpells

geschieht sozusagen als erweiterte Handfunktion und für einen Pianisten ist das Klavier und die Tastatur erweiterte Körperfunktion, mit welchem er Rhythmik, Musikalität und letztlich seine ganz persönliche Interpretation zum Ausdruck bringt.

Die Hand – ein sensomotorisches Integrationsorgan

Um eine multimodale sensomotorische Verknüpfung mit technischen Hilfsmitteln zu ermöglichen, kommt man um die Schnittstellenproblematik nicht herum. Diese hat prinzipiell qualitative und quantitative Limitierungen. Bewegungskontrolle ist grundsätzlich nicht digital organisiert.

Wir denken Bewegung auch nicht in einzelnen Muskelaktivitäten, sondern in Konzepten und zielorientiertem Handeln. Dieses Konzept wird im sensomotorischen Kortex entworfen und mit hoher Frequenz mit einer Afferenzkopie abgeglichen, ob diese Bewegung sich überhaupt sinnvoll realisieren lässt, ohne dass man aus dem Gleichgewicht kommt oder die einzelnen Gelenke, Muskeln oder Knochen über Gebühr beansprucht werden. Der sensorischen Komponente kommt hier ein besonderer Stellenwert zu, da beim Begreifen oder Erfassen eines Objektes oder beim Spielen eines Instrumentes eine sofortige Modulation der Bewegung möglich sein muss, sodass weder die Hand noch das Objekt Schaden nimmt. Menschen, denen diese afferenten Rückmeldungssysteme (Proprioception) fehlen, können nicht sitzen oder gar gehen; robotische Systeme bedürfen eines ausgeklügelten Feedbacksystems, um selbst einfache repetitive Bewegungen verrichten zu können.

Die Bewegungsvielfalt der Hand oder eines Armes bringt prothetische Systeme sehr schnell an ihre Grenzen. Die besten Prothesen sind somit nach wie vor Hybridsysteme, welche körpereigene Proprioception mit prothetischer Funktion direkt verknüpfen (Body Powered Devices) und somit die prothetische Hand einem intuitiven, direkten Körperersatz entspricht. In einem zurzeit laufenden Forschungsprojekt versuchen wir eine senso-mo-

torische Schnittstelle im Amputationsstumpf zu schaffen, welche es uns ermöglicht, intuitive Biosignale, mit hoher Qualität in die Prothese zu schicken und gleichzeitig afferente Signale zu produzieren, welche eine Bewegungssimulation ermöglichen. Dadurch soll ein hohes Maß an Agency (Kontrolle) und sensorischem Feedback erzeugt werden.

Trotz dieser Anstrengungen werden Prothesen immer hinter dem Original hinterherhinken. Die Weichheit der Haut, die Feingliedrigkeit der Finger, die Myriaden an Bewegungsmöglichkeiten und vor allem die unglaubliche Wahrnehmungs- und Gestaltungsvielfalt unserer Hand ermächtigt diesem Teil unserer Leiblichkeit eine Ausdruckstärke unglaublicher Dimension.

Vielleicht gerade an der Hand aber wird klar wie eng verbunden wir mit unserem Leib sind. Die Hand ist nicht nur ein Instrument wie in einer Toolbox, welche man beliebig austauschen kann. Dies ist nicht einmal gültig für eine andere Hand aus Fleisch und Blut wie bei einer Handtransplantation, welche 1998 erstmals erfolgreich durchgeführt wurde. Selbst hier müssen die ‚eigenen Nerven‘ in das Transplantat einwachsen und das eigene Blut die biologische Fremdmatrix durchströmen – mit allen immunologischen Problemen die sich daraus ergeben. Unser Zentralnervensystem muss sozusagen von dieser Fremdmatrix Besitz ergreifen und Leiblichkeit neu definieren.

Die Haut einer Fingerspitze besteht aus etwa sechs Millionen Zellen mit tausenden Mechanorezeptoren, welche uns über Temperatur, Form und Beschaffenheit ein detailliertes Bild eines Objektes vermitteln. Gegengleich können eine Vielzahl von Muskeln, Sehnen und Gelenken diese Fingerspitze mit Feingefühl auf 1/10 Millimeter genau und, wenn notwendig, mit beträchtlicher Kraft bewegen. Wenn auch eine Prothese im Sinne eines ‘Body Enhancements’ kräftiger gebaut werden kann und wenn man Sensoren einbaut, die noch feiner tasten können, so würde dies die Steuerungstechnik, wie vorher erwähnt, aufgrund der immensen Datenflut hoffnungslos überfordern. Völlig ungeklärt ist in

diesem Zusammenhang übrigens die Art und Weise, wie man elektronische Signale in sinnvolle Biosignale umwandelt, welche das Zentralnervensystem auch verstehen und im zeitlich und örtlichen Rahmen einordnen kann. Im efferenten System können wir die Muskulatur als Übersetzer und Verstärker neuronaler Signale nutzen – aber im umgekehrten Weg haben wir bis dato keine ausreichend stabile Schnittstelle, welche diesen Datenreichtum übermitteln kann.

Die Welt der Technologie hat zwar Überschneidungen mit der Welt der Biologie, doch ist der Mensch keine biologische Maschine und die Vorstellung, dass wir in naher Zukunft Cyborgs hervorbringen werden, ist utopisch, auch wenn wir heute, unter gewissen Umständen, Hände und Füße mit mechatronischen Hilfsmitteln sehr erfolgreich ersetzen können.¹⁰ Wahrnehmung, Erinnerung, Bewegungskontrolle,... sind biologische Leistungen, welche die gesamte Syntheseleistung vieler unterschiedlicher Zellen in Anspruch nehmen und nicht nur simple Signalübertragung oder Datenverarbeitung darstellen. Somit ist weder die Datenübertragung von biologischen Systemen in Richtung technologischer Hilfsmittel trivial, obwohl hier der Komplexitätsgrad ja abnimmt, noch die Transmission von technischen Signalen in Richtung biologischer Systeme fluide umsetzbar.

Die Grenzen der Leiblichkeit

Aus diesem Grund investieren die großen Technologiekonzerne zurzeit sehr viel Geld in Forschung, um den biotechnologischen Übertritt intuitiver und auch sensorisch multimodal zu gestalten, um ein hohes Maß an *immersive virtuality* zu erreichen. Technologische Artefakte wie das Smartphone, Kommunikationssysteme, Social Media und diverse Business Plattformen, werden in gewisser Weise zu einer erweiterten Leiblichkeit führen, die aber letztlich immer gebunden und – wie vorher erwähnt – sozusagen auch limitiert sein werden an die primäre Erfahrung der eigenen Leiblichkeit.

Der Freiheitsgrad menschlicher Kommunikation ist heute so komplex geworden, dass man sich ohne sein Smart Device eigentlich so stark eingeschränkt fühlt wie bei einer Amputation. Nicht auszudenken, eine Reise mit dem Flugzeug in eine andere Stadt ohne ein Smart Phone! Das Taxi, die Navigation, die Bezahlung, die Video-konferenz am Flughafen, das Flugticket, das Hotel, constant communication, diverse Apps, Location Finder, das Restaurant am Abend, mit Über zurück zum Hotel, während man noch die letzten Emails liest und das Trinkgeld für den Fahrer anklickt. Zugangscodes – biometrisch, oder vielleicht in Zukunft nur noch per eigenem Biosignal drahtlos über implantierbarem Chip oder interaktivem Armband.

Zusammenfassung und Ausblick

Die bionische Rekonstruktion versucht verloren gegangene Funktion mit technologischen Hilfsmitteln wieder bestmöglich herzustellen. Zwischen biologischen und technologischen Systemen bestehen jedoch ganz prinzipielle Strukturunterschiede, welche die Verschmelzung dieser Welten schwierig gestaltet und somit Cyborgs, aus meiner Sicht, in weite Ferne rücken. Wenn auch manche physikalischen Größen eine prinzipielle Kommunikation erlauben, so sind Biosignale in ihrem Komplexitätsgrad nur in einem sehr reduziertem Maß für Steuerung, bzw. Wahrnehmung nutzbar.

Ich habe versucht darzustellen, dass die zelluläre Struktur unseres Leibes eine Immanenz in allen Gewebsteilen bedeutet, welche mit technischen Hilfsmitteln unmöglich erreicht werden kann. Eine Maschine können wir kontrollieren, aber wir sind nicht in ihr zu Hause. Trotzdem können wir durch diverse Artefakte unsere primäre Leiblichkeit erweitern. Ob und wie weit diese mit unserem Leib „verschmelzen“, also ein echtes Embodiment erfahren, hängt unmittelbar von der sensomotorischen Immersion/Integration mit diesen Artefakten ab.

Das Zentralnervensystem kann neue Realitäten in unser Körperbild einbinden und selbst mit ganz fremden oder gar ungewöhnlichen Änderungen zurechtkommen. Dies gilt nicht nur für sensorische Nerven transfers, wie ich diese dargestellt habe, sondern auch für völlig unleibliche und vom Körper getrennte mechatronische Anlagen, sodass sowohl der unmittelbare Gebrauch von Prothesen, Smartphones oder aber auch weiter distanzierten Robotern (wie auch Chirurgieroboter) oder sogar Drohnen durchaus ein gewisses Maß an erweiterter Leiblichkeit erlauben.

Letztlich ist es meine Überzeugung, dass die Verletzlichkeit, Einzigartigkeit, Sterblichkeit und unmittelbare Präsenz unseres Leibes ein Maß an Lebendigkeit und Ausdruck erlaubt, welches mit mechatronischen Hilfsmitteln nicht annähernd erreicht werden wird. Und so ist es, wie der Protagonist in dem Steven Spielberg Film „Ready Player One“ in der Schlusszene sagt, als er seine Freundin küsst: This body is the only reality we have.

Referenzen

- 1 Dürr O., *Transhumanismus – Traum oder Alptraum?* Herder Verlag (2023).
- 2 Aszmann O. C., *The life and work of Theodore Schwann*, J Reconstr Microsurg (2000); 16(4): 291-5.
- 3 1 Pt 1:24, Revidierte Elberfelder Bibel, R. Brockhaus Verlag, Wuppertal (1985).
- 4 Fuchs T., *Verteidigung des Menschen Grundfragen einer verkörperten Anthropologie*, Suhrkamp (2021), S. 235.
- 5 Gesslbauer B., Hruba L. A., Roche A. D., Farina D., Blumer R., Aszmann O. C., *Axonal components of nerves innervating the human arm*, Ann Neurol (2017); 82(3): 396-408.
- 6 Farina D., Aszmann O. C., *Bionic limbs: clinical reality and academic promises*, Sci Transl Med (2014); 6(257): 257ps12.
- 7 Farina D., Vujaklija I., Brånemark R., Bull A. M. J., Dietl H., Graimann B., Hargrove L. J., Hoffmann K. P., Huang H. H., Ingvarsson T., Janusson H. B., Kristjánsson K., Kuiken T., Micera S., Stieglitz T., Sturma A., Tyler D., Weir R. F. F., Aszmann O. C., *Toward higher-performance bionic limbs for wider clinical use*, Nat Biomed Eng (2023); 7(4): 473-485.
- 8 Salminger S., Sturma A., Hofer C., Evangelista M., Per-

- rin M., Bergmeister K. D., Roche A. D., Hasenoehrl T., Dietl H., Farina D., Aszmann O. C. *Long-term implant of intramuscular sensors and nerve transfers for wireless control of robotic arms in above-elbow amputees*, *Sci Robot* (2019); 4(32): eaaw6306.
- 9 Ortiz-Catalan M., Mastinu E., Sassu P., Aszmann O., Brånemark R., *Self-Contained Neuromusculoskeletal Arm Prostheses*, *N Engl J Med* (2020); 382(18): 1732-1738.
- 10 Aszmann O. C., Roche A. D., Salminger S., Paternostro-Sluga T., Herceg M., Sturma A., Hofer C., Farina D., *Bionic reconstruction to restore hand function after brachial plexus injury: a case series of three patients*, *Lancet* (2015); 385(9983): 2183-9.