

Inhaltsverzeichnis

4 Summary

7 Vorwort

8 Einleitung

- 9 Definition Robotik
- 9 Diskrepanzabbau

11 Individuelle Hilfsmittel

12 Überblick: Mobilität und physische Interaktion

- 13 Vertiefung: Assistenzroboter
- 14 Vertiefung: Exoskelette

16 Überblick: Wahrnehmung

- 17 Vertiefung: Retina-Implantate
- 18 Porträt: „Wieso nicht ausprobieren?“

20 Überblick: Steuerung/Kommunikation

- 21 Vertiefung: Gehirn-Interfaces (Brain-Computer Interfaces)

24 Überblick: Psyche

26 Überblick: Monitoring

- 27 Vertiefung: Smart Home
- 29 Einordnung im Lichte neuer Forschung

30 Überblick: Physiologie

- 30 Der Weg zum Super-Menschen?
- 31 Das Ende von Behinderung?
- 32 Porträt: „Sprinten wie auf Wolken!“

Umweltanforderungen 34

Barrierefreiheit für Maschinen 34

Virtual Reality – Barrierefreiheit in der Maschine 37

Mainstream statt „behinderter“ Technologie 38

Porträt: „Ich träume davon, dass wir alle maximal mobil sind“ 40

3D-Druck & Vernetzung 42

Porträt: „Es geht darum, für alle etwas zu finden, das sie mental stärkt!“ 44

Gesellschaftliche Anforderung 46

Hohe Erwartungen und Normierungsdruck 47

Zugänglichkeit 48

Finanzierung 48

Betreuung und technische/pädagogische Kompetenz 49

Information und Vernetzung 50

Inklusion 51

Porträt: „Wenn ich mein Handy nicht bedienen könnte – das wäre eine Katastrophe!“ 52

Fazit 54

Machen sie mit! 56

Das Autorenteam dieser Aktualisierung 58

Literaturverzeichnis 59

Summary

Dies ist die Aktualisierung einer Studie aus dem Jahr 2017, die im Auftrag der Schweizerischen Stiftung für das cerebral gelähmte Kind vom Gottlieb Duttweiler Institut (GDI) veröffentlicht wurde. Die Aktualisierung erfolgte nach Rücksprache mit den ursprünglichen Autor:innen des GDI im Herbst 2025 durch das daaap-Netzwerk e.V., das Inclusion Technology Lab e.V. und das Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR) der RWTH Aachen.

Die Studie leistete einen wichtigen Beitrag zur differenzierten Auseinandersetzung mit den technologischen, gesellschaftlichen und ethischen Herausforderungen, die sich aus der Entwicklung und dem Einsatz robotischer und digitaler Technologien im Kontext von Behinderung ergeben. Wir haben nach Rücksprache mit den Autor:innen des GDI eine Aktualisierung vorgenommen, die versucht die technologischen Entwicklungen der vergangenen neun Jahre zu berücksichtigen.

Behinderung wird in dieser Studie als eine relationale Größe verstanden: Sie entsteht aus der Diskrepanz zwischen den individuellen Fähigkeiten eines Menschen und den Anforderungen von Umwelt und Gesellschaft. Dieses Verständnis, wie es auch der UN-Behindertenrechtskonvention zugrunde liegt, macht deutlich, dass Behinderung nicht allein im Individuum verortet ist, sondern wesentlich durch gesellschaftliche, technologische und infrastrukturelle Bedingungen mitgeprägt wird. Entsprechend können Benachteiligungen sowohl durch die Stärkung individueller Fähigkeiten als auch durch den Abbau von Umweltbarrieren reduziert werden.

Technologischer Fortschritt hat in den letzten Jahren tiefgreifende Veränderungen in nahezu allen Lebensbereichen bewirkt. Für Menschen mit Behinderungen eröffnen insbesondere Robotik, Digitalisierung und KI-basierte Systeme neue Möglichkeiten der Teilhabe, Selbstständigkeit und Autonomie. Dabei reicht das Spektrum von klassischen Hilfsmitteln wie Prothesen, Rollstühlen oder Hörgeräten über Assistenzroboter, Exoskelette und intelligente Kommunikationssysteme bis hin zu Smart-Home-Lösungen, Monitoring-Systemen und ersten neurotechnologischen Anwendungen. Gleichzeitig entwickeln sich Technologien, die ursprünglich nicht für Menschen mit Behinderungen konzipiert wurden, etwa Smartphones, Navigationssysteme, Sprach- und Bilderkennung oder Virtual Reality, zunehmend zu zentralen Assistenzressourcen.

Die Studie gliedert diese Entwicklungen entlang dreier Perspektiven:

- 1. Technologien zur Stärkung individueller Fähigkeiten**, etwa in den Bereichen Mobilität, Wahrnehmung, Kommunikation, Psyche, Monitoring und Physiologie;
- 2. Technologien zum Abbau von Umweltbarrieren**, insbesondere durch die Digitalisierung und „Maschinenlesbarkeit“ von Räumen, Infrastrukturen und Informationen;
- 3. Gesellschaftliche Anforderungen und Erwartungen**, die sich durch technologische Innovationen verändern und neue Formen von Inklusion, aber auch neue Ausschlüsse hervorbringen können.

Ein zentrales Ergebnis der aktualisierten Analyse ist, dass viele heutige Assistenztechnologien nicht mehr eindeutig dem Individuums- oder Umweltansatz zuzuordnen sind. Moderne Systeme wirken häufig hybrid: Sie unterstützen einzelne Personen und verändern zugleich die Anforderungen der Umwelt. Künstliche Intelligenz spielt dabei eine Schlüsselrolle, etwa durch kontextsensitives Handeln, adaptive Steuerung, semantische Wissensmodelle oder prädiktive Assistenz. KI wird in dieser Studie daher nicht als isoliertes Themenfeld behandelt, sondern als Querschnittstechnologie, die nahezu alle betrachteten Bereiche durchzieht.

Neben den technischen Potenzialen werden auch die Grenzen und Risiken neuer Technologien deutlich herausgearbeitet. Hohe Kosten, mangelnde Alltagstauglichkeit, fehlende Betreuung, unzureichende Barrierefreiheit von Mainstream-Systemen sowie ein zunehmender Normierungs- und Optimierungsdruck können dazu führen, dass technologische Innovationen neue Formen von Ausschluss erzeugen. Zudem werfen insbesondere neurotechnologische und KI-basierte Systeme grundlegende ethische Fragen nach Autonomie, Würde, Datenschutz und Zumutbarkeit auf.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass technologische Entwicklungen das Leben von Menschen mit Behinderungen erheblich erleichtern können, ihr Potenzial jedoch nur dann entfalten, wenn sie zugänglich, finanzierbar, verlässlich und nutzer:innenzentriert gestaltet sind. Inklusion entsteht nicht allein durch technische Innovation, sondern durch das Zusammenspiel von Technologie, gesellschaftlicher Haltung, politischer Rahmensetzung und der aktiven Einbeziehung von Menschen mit Behinderungen in Forschung, Entwicklung und Gestaltung. In diesem Sinne versteht sich die vorliegende aktualisierte Studie als Beitrag zu einem differenzierten, zukunftsorientierten Diskurs über Robotik, Künstliche Intelligenz und Behinderung.



Vorwort



Mit dem vorliegenden Heft erscheint eine besondere Ausgabe in der daaap-Heftreihe. Sie greift eine Studie auf, die bereits vor einigen Jahren wichtige Impulse für die Auseinandersetzung mit technologischen Entwicklungen im Kontext von Behinderung gegeben hat, und führt diese Perspektiven unter den heutigen Bedingungen weiter.

Im Auftrag der Schweizerischen Stiftung für das cerebral gelähmte Kind wurde im Jahr 2017 vom Gottlieb Duttweiler Institut (GDI) die Studie „Robotik und Behinderung“ veröffentlicht. Diese Studie leistete einen wichtigen Beitrag zur differenzierten Auseinandersetzung mit den technologischen, gesellschaftlichen und ethischen Herausforderungen, die sich aus der Entwicklung und dem Einsatz robotischer und digitaler Technologien ergeben. Besonders hervorzuheben war dabei der breite Zugang der Studie, ihre interdisziplinäre Perspektive sowie ihre Nähe zu den Erfahrungen betroffener Menschen.

In Absprache mit den ursprünglichen Autorinnen und Autoren hat sich das daaap-Netzwerk gemeinsam mit dem Inclusion Technology Lab und dem Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR) der RWTH Aachen neun Jahre später erneut mit dieser Studie beschäftigt. Ziel war es, die damaligen Einschätzungen und Prognosen vor dem Hintergrund aktueller wissenschaftlicher, technologischer und gesellschaftlicher Entwicklungen zu überprüfen, einzuordnen und, wo erforderlich, zu aktualisieren. Die vorliegende Veröffentlichung versteht sich daher als inhaltliche Fortschreibung und zweite Auflage der Studie aus dem Jahr 2017.

Seit der Erstveröffentlichung hat sich die technologische Entwicklung mit großer Geschwindigkeit weiterentwickelt. Ein Thema, das damals noch nicht in der heutigen Breite und Tiefe präsent war, ist die Künstliche Intelligenz. KI-basierte Systeme prägen inzwischen viele Lebensbereiche und gehören zunehmend zur alltäglichen Realität, auch und gerade für Menschen mit Behinderungen. In dieser aktualisierten Fassung wurde bewusst darauf verzichtet, der Künstlichen Intelligenz ein eigenes Kapitel zu widmen. Stattdessen wird sie als Querschnittsthema verstanden, das sich durch zahlreiche Bereiche der Studie zieht und dort neue Möglichkeiten, aber auch neue Herausforderungen sichtbar macht.

Die Aktualisierung der Studie basiert auf neueren wissenschaftlichen Publikationen, Praxisberichten und politischen Diskursen. Die Auswahl der Quellen sowie die Bewertung der Entwicklungen erfolgten gemeinschaftlich durch das daaap-Netzwerk e.V., das Inclusion Technology Lab e.V. und das IGMR der RWTH Aachen. Für diese vertrauensvolle Zusammenarbeit möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken.

Wir hoffen, dass die vorliegende Ausgabe einen fundierten Einblick in aktuelle und zukünftige Entwicklungen im Spannungsfeld von Robotik, Digitalisierung und Behinderung bietet. Zugleich verstehen wir dieses Heft als Einladung, den Diskurs über Technologie, Inklusion und gesellschaftliche Verantwortung weiterzuführen und gemeinsam darüber nachzudenken, wie technologische Innovationen so gestaltet werden können, dass sie Teilhabe und Selbstbestimmung stärken.

Claudia Salterberg
Vorsitzende des daaap-Netzwerks

Einleitung

Technischer Fortschritt hat die Lebensqualität von Menschen in sämtlichen Lebensbereichen grundlegend erhöht. Trotz neuer Herausforderungen wie digitalem Stress, Überwachung oder Informationsüberlastung eröffnen moderne Technologien Möglichkeiten, die vor wenigen Jahrzehnten noch undenkbar waren. Schwerwiegende Infektionen sind heute behandelbar, Wohnräume sind sicher beheizt, und Menschen mit Behinderungen können ein langes, eigenständiges Leben führen. Dies ist zunehmend auch auf die Entwicklung intelligenter Assistenzsysteme zurückzuführen, die weit über traditionelle Hilfsmittel wie Rollstühle hinausgehen (Ibrahim 2024; Buson 2023).

Für Menschen mit Behinderungen bedeutet technischer Fortschritt nicht nur bessere Werkzeuge, sondern auch eine veränderte Umwelt: eine, die gesellschaftliche Vielfalt zulässt und weniger strikt an körperliche Leistungsfähigkeit gekoppelt ist. Moderne Robotik, lernende Systeme und KI-gestützte Assistenztechnologien ermöglichen heute neue Formen der Teilhabe und Autonomie (Huchler et al.; Huchler et al. 2020). Ausgehend von diesen Entwicklungen skizziert diese Studie künftige technologische und gesellschaftliche Trends, die Menschen mit Behinderungen betreffen. Wir zeigen anhand aktueller Beispiele, was heute technisch möglich ist, welche Barrieren bestehen bleiben und welche neuen Herausforderungen sich ergeben, insbesondere im Bereich KI-basierter und wissensrepräsentationsgestützter Unterstützungssysteme (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021).

Die Menschheit nutzt seit jeher Werkzeuge, um körperliche Einschränkungen zu kompensieren. Von frühen Gehhilfen bis hin zu modernen Prothesen haben technologische Entwicklungen den Handlungsspielraum des Menschen stetig erweitert. Viele Technologien gelten heute als selbstverständlich: Brillen, Kleidung oder Heizsysteme sind so alltäglich geworden, dass ihr technologischer Charakter kaum noch wahrgenommen wird. Zugleich ermöglichen solche Technologien erst den Zugang zu Lebensräumen, die ohne sie unbewohnbar wären. Technik kann damit Umweltbedingungen gestalten und zugleich neue Formen von Behinderung hervorbringen, etwa durch Sensibilitäten gegenüber elektromagnetischen Feldern oder digitaler Überlastung (Stowasser et al. 2020). Behinderung ist daher immer kontextabhängig und entsteht im Zusammenspiel zwischen individuellen Fähigkeiten und Umfeldbedingungen.

Dieses Verständnis entspricht der Definition der «UNO-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen», die Behinderung als Ergebnis einer Wechselwirkung zwischen individuellen Beeinträchtigungen und sozialen wie technischen Barrieren begreift. Behinderung wird somit als Diskrepanz zwischen persönlichen Fähigkeiten und Anforderungen der Umwelt verstanden.

Definition Robotik

Vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen wird Robotik zunehmend als umfassender Bereich betrachtet, der lernende, adaptiv handelnde Systeme einschließt. Während populäre Darstellungen Roboter oft anthropomorphisieren, basieren reale Anwendungen auf funktionalen Prinzipien wie Sensorik, Autonomie, Wissensrepräsentation und Assistenzfähigkeit. Moderne Robotersysteme reichen von Exoskeletten über autonome Rollstühle bis hin zu semantisch modellierten Robotern, die mittels Ontologien Aufgaben verstehen und selbständig planen (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021). Auch brain-computer-interfaces und KI-gestützte Kollaborationssysteme erweitern heute das Spektrum assistiver Robotik deutlich (Buson 2023). In dieser Studie verwenden wir daher eine weite Definition von Robotik und fokussieren weniger auf einzelne Geräte als auf die Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen, die durch moderne Technik adressiert werden können.

Diskrepanzabbau

Das in der UNO-Konvention verankerte Verständnis der Diskrepanz zwischen individuellen Fähigkeiten und Umweltanforderungen dient der Strukturierung dieser Studie.

- Erstens untersuchen wir Technologien, die individuelle Fähigkeiten stärken (Individuumsansatz).
- Zweitens analysieren wir Technologien, die Umweltbarrieren reduzieren (Umweltansatz).
- Drittens beleuchten wir gesellschaftliche Anforderungen, die sich durch technologische Innovationen verändern.

Dabei zeigt sich zunehmend, dass moderne assistive Systeme oft nicht mehr eindeutig dem Individuums- oder Umweltansatz zugeordnet werden können. Technologien wie autonome Rollstühle mit Drohnensensorik liefern gleichzeitig individuelle Unterstützung und verändern Umweltanforderungen (Ibrahim 2024). Assistenzsysteme der neueren Generation arbeiten zudem in komplementären Rollen mit Menschen zusammen, indem sie Aufgaben teilen oder Handlungsspielräume erweitern (Huchler 2022; Huchler et al.). Diese hybride Form der Unterstützung verlangt eine flexible Perspektive auf Barrierenabbau, bei dem sowohl individuelle als auch systemische Anpassungen berücksichtigt werden müssen (Huchler et al. 2020).

Überblick:

Mobilität und physische Interaktion

Zum Bereich „Mobilität und physische Interaktion“ zählen alle technischen Hilfsmittel, die Bewegungen erleichtern oder überhaupt erst ermöglichen. Dazu gehören:

- Hilfen für die eigene Fortbewegung, etwa beim Aufstehen, Gehen oder Überwinden von Höhenunterschieden;
- Systeme, die das Greifen, Tragen, Ziehen oder Bedienen von Objekten erleichtern;
- robotische und mechatronische Systeme, die komplexe Bewegungsabläufe teilweise automatisieren oder teilen.

Auch Menschen mit schweren körperlichen Einschränkungen können so eine weitreichende Selbstständigkeit z. B. beim Essen, bei Transfers oder bei der Haushaltsführung erlangen (Ibrahim 2024; Buson 2023).

Mobilitätseinschränkungen können sehr unterschiedliche Ursachen haben: fehlende, verletzte oder missgebildete Körperteile, neurologische oder muskuläre Erkrankungen (z. B. Rückenmarksverletzungen, degenerative Nervenleiden, cerebrale Bewegungsstörungen, Muskelerkrankungen) sowie altersbedingte Funktionsverluste. Entsprechend heterogen sind die Anforderungen an technische Hilfsmittel. Das umfasst sehr niedrigschwellige Alltagshilfen bis hin zu hochspezialisierten robotischen Systemen.



Vertiefung:

Assistenzroboter

Assistenzroboter werden seit einigen Jahren als eine zentrale Zukunftstechnologie diskutiert, wenn es um die Unterstützung älterer Menschen und Menschen mit Behinderungen geht. Unter dem Begriff „Assistenzroboter“ wird heute ein breites Spektrum verstanden: von einfachen Haushaltsrobotern über stationäre oder mobile Service-Roboter bis hin zu komplexen, KI-basierten Systemen, die in Wohn- und Pflegeumgebungen eingebettet sind (Schulze et al. 2021; Huchler et al.).

Während frühe Systeme, wie Staubsaugerroboter, auf eng umrissene, relativ einfache Aufgaben beschränkt waren, richtet sich der aktuelle Forschungsfokus zunehmend auf intelligente, multimodale Assistenzplattformen. Beispiele sind:

- **autonome Rollstühle**, die mithilfe von Sensorik und teilweise auch Drohnenunterstützung ihre Umgebung erfassen, sichere Routen planen und selbstständig Straßen überqueren können (Ibrahim 2024);
- **mobile Serviceroboter**, die über Displays, Kameras und Lautsprecher als Kommunikationsschnittstelle fungieren und etwa nach Stürzen den Kontakt zu einer Leitstelle herstellen (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021);
- **robotische Manipulatoren**, die Gegenstände greifen, transportieren oder positionieren können und zunehmend über semantische Fähigkeiten verfügen, d. h. Aufgaben über formale Wissensmodelle (Ontologien, „Skills“) verstehen und planen (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021).

Gleichzeitig zeigt die aktuelle Literatur, dass die Vision eines universellen „Allround-Roboters“, der sämtliche Alltagsaufgaben in unstrukturierten Wohnumgebungen zuverlässig übernimmt, weiterhin mit erheblichen technischen Herausforderungen verbunden ist. Die Kombination aus variabler Umgebung, feiner Manipulation und sicherer Interaktion mit Menschen stellt hohe Anforderungen an Wahrnehmung, Planung und Sicherheit (Albu-Schäffer et al. 2023; Schäfer et al. 2020 - 2021). In der Praxis dominiert daher derzeit ein Ansatz, der spezialisierte Teilfunktionen, wie Staubsaugen, Tür- oder Fenstersteuerung, Transferhilfen oder Notfallkommunikation, kombiniert, anstatt alle Aufgaben in einem System zu bündeln (Profanter et al. 2021).

Aktuelle Diskussionen betonen zudem, dass Assistenzrobotik komplementär zur menschlichen Unterstützung gestaltet sein sollte: Pflegende und Angehörige werden nicht ersetzt, sondern in körperlich belastenden oder zeitaufwendigen Tätigkeiten entlastet. Robotische Systeme übernehmen dabei definierte Aufgaben, während Menschen weiterhin die Verantwortung für Beziehungsgestaltung, komplexe Entscheidungen und situative Aushandlungen tragen (Huchler 2022; Huchler et al.; Huchler et al. 2020).

Zugleich rücken ethische und rechtliche Fragen stärker in den Vordergrund: Datenschutz, Haftungsfragen im Schadensfall, Transparenz der Entscheidungslogik sowie die Vermeidung von Überwachung und Stigmatisierung sind zentrale Voraussetzungen für eine akzeptierte Nutzung von Assistenzrobotern (Ibrahim 2024; Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Vertiefung: Exoskelette

Exoskelette sind aktive Orthesen bzw. robotische „Außenskelette“, die der Stabilisierung, Entlastung und Führung von Gliedmaßen dienen. Nutzer:innen steigen in das System ein, werden über Gurte und Schienen fixiert und erhalten beim Gehen, Stehen oder Heben gezielte Unterstützung. Technisch handelt es sich um motorisierte Strukturen mit Sensorik, Aktuatoren, Batterien und Steuerrechnern.

Die Steuerung erfolgt traditionell über:

- **Eigenbewegung**, die über Sensoren registriert und verstärkt wird (z. B. Kraftsensoren an Fußsohlen oder Gelenken),
- **manuelle Interfaces** wie Taster an Krücken,
- oder **Messung von Muskelaktivität** (EMG).

Neuere Forschungsarbeiten erweitern dieses Spektrum um Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI), mit denen Bewegungsabsichten bereits auf Ebene neuronaler Aktivität erkannt und in Steuerbefehle für Roboter oder Exoskelette übersetzt werden (Buson 2023). Ziel ist eine intuitivere, weniger fehleranfällige und auch für schwerstbehinderte Personen nutzbare Steuerung, die nicht mehr an spezifische Körperhaltungen oder stabile Kopfpositionen gebunden ist (Buson 2023; Huchler et al.).

Aktuell sind Exoskelette in ihrer Alltagstauglichkeit noch eingeschränkt:

- die Gehgeschwindigkeiten liegen deutlich unter denen gesunder Erwachsener,
- Batterielaufzeit und Gewicht stehen in einem Spannungsverhältnis,
- Transfers (z. B. Aufstehen von tiefen Sitzgelegenheiten) sind technisch anspruchsvoll,
- das An- und Ablegen ist zeitaufwendig.

Daher stellen Exoskelette bislang nur eingeschränkt eine Alternative zum Rollstuhl dar, können aber in bestimmten Szenarien, etwa in der Rehabilitation, wichtige Funktionen übernehmen. Die Forschung arbeitet gleichzeitig daran, Exoskelette leichter, adaptiver und kontextbewusster zu gestalten (Buson 2023; Huchler et al.).

Ein wesentlicher Entwicklungstrend besteht in der Erweiterung des Einsatzfelds über den klassischen Reha- und Behinderungsbereich hinaus. Rücken-Exoskelette werden beispielsweise in Logistik, Produktion und Pflege erprobt, um Beschäftigte beim Heben und Tragen zu unterstützen, körperliche Belastungen zu reduzieren und langfristige Schäden zu vermeiden (Buson 2023; Albu-Schäffer et al. 2023; Huchler 2022). Damit verschiebt sich Exoskelett-Technologie zunehmend von einer „Spezialtechnik für wenige“ hin zu einer möglichen Mainstream-Technologie, die zugleich Prävention, Arbeitsschutz und Inklusion adressiert (Huchler 2022; Huchler et al.).

Langfristig wird erwartet, dass Exoskelette enger mit anderen Assistenztechnologien verschmelzen. Denkbar sind hybride Systeme aus Rollstuhl und Exoskelett oder Kombinationen mit sensorgestützten, KI-basierten Steuerungen, die Bewegungsintentionen vorhersagen und die Kooperation zwischen Nutzer:in und System natürlicher gestalten (Buson 2023; Schäfer et al. 2020 - 2021; Huchler et al.). Wie bei anderen KI-gestützten Assistenzsystemen gilt jedoch: Eine menschengerechte Gestaltung erfordert, dass Handlungsspielräume, Sicherheit, Transparenz und Lernmöglichkeiten für die Nutzer:innen systematisch berücksichtigt werden (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).



Überblick: Wahrnehmung

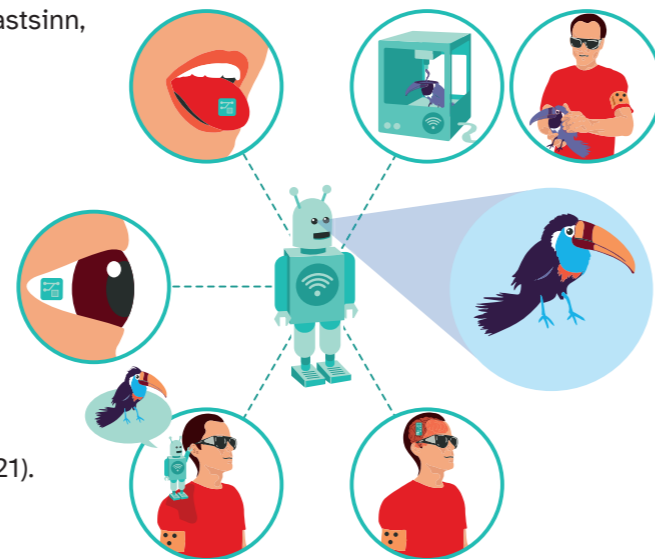
Der Bereich «Wahrnehmung» umfasst Technologien, die dabei helfen, Informationen über die Umwelt aufzunehmen, zu verstärken, umzuwandeln oder über alternative Kanäle zugänglich zu machen. Moderne Systeme in diesem Bereich gehen weit über klassische Sehhilfen oder Hörgeräte hinaus: Sie kombinieren Sensorik, maschinelles Lernen, multimodale Signalverarbeitung und teilweise sogar neurotechnologische Verfahren, um Wahrnehmungsbarrieren zu reduzieren (Buson 2023; Schulze et al. 2021).

Technologisch werden heute drei Grundformen unterschieden:

- **Verstärkung oder Anpassung vorhandener Signale**
etwa durch Hörgeräte, visuelle Kontrastverstärkung oder intelligente Filter, die Störungen reduzieren (Huchler et al. 2020).
- **Umleitung von Informationen auf andere Sinneskanäle (sensorische Substitution)**
z. B. automatische Umwandlung von Sprache zu Text oder visuelle Informationen zu auditiven Hinweisen durch KI-Systeme (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021).
- **Ersatz oder Umgehung biologischer Signalketten**
etwa durch Retina- oder Cochlea-Implantate oder durch direkte neuronale Interfaces (Buson 2023).

Für eine volle gesellschaftliche Teilhabe sind vor allem der Sehsinn und der Hörsinn zentral. In der Schweiz bspw. leben laut Pro Audito rund 1.000.000 Menschen mit Hörbehinderungen, während etwa 320.000 Personen von Sehbehinderungen oder Blindheit betroffen sind. Durch den demografischen Wandel ist künftig mit einer weiteren Zunahme dieser Zahlen zu rechnen.

Störungen der übrigen Sinne, Geruch, Geschmack oder Tastsinn, sind in der Statistik weniger gut erfasst, obwohl sie das subjektive Wohlbefinden und die Handlungsfähigkeit erheblich beeinflussen können. Besonders der Tastsinn spielt bei der Alltagsorientierung, beim Greifen und bei der emotionalen Rückmeldung eine bedeutende Rolle. Er kann durch neuronale Erkrankungen, chronische Schmerzen, Durchblutungsstörungen oder Amputationen beeinträchtigt werden. Neuere Forschung untersucht daher zunehmend robotische und KI-basierte taktile Assistenzsysteme, die fehlende sensorische Rückmeldungen durch visuelle oder auditive Signale ersetzen und so Handlungssicherheit schaffen sollen (Schulze et al. 2021).



Vertiefung: Retina-Implantate

Weltweit leiden etwa drei Millionen Menschen (allein in Deutschland rund 30.000 bis 40.000) an der degenerativen Netzhauterkrankung Retinopathia pigmentosa. Sie führt zu einem fortschreitenden Verlust der Sehfähigkeit, beginnend mit Nachtblindheit bis hin zur vollständigen Erblindung. Eine Möglichkeit zur Behandlung besteht im Einsatz von Retina-Implantaten, bei denen ein elektronischer Chip auf der Netzhaut platziert wird. Die Bildinformationen stammen von einer externen Kamera, die an einer speziellen Brille befestigt ist; der Chip stimuliert die verbliebenen Ganglienzellen elektrisch.

Diese Technologie bleibt jedoch mit erheblichen Einschränkungen verbunden. Das bekannte Implantat „Argus 2“ verfügt über eine Auflösung von lediglich 60 Elektrodenpunkten. Dies erlaubt keine detailreichen Bilder, sondern lediglich grobe Umrisse – etwa Türrahmen, Lichtquellen oder große Buchstaben. Zwischen den Betroffenen bestehen große Unterschiede in der Fähigkeit, solche Signale zu interpretieren. Im Gegensatz zu Cochlea-Implantaten, deren Funktionsweise vergleichsweise zuverlässig ist, sind die Erfolgsaussichten von Retina-Implantaten schwer vorherzusagen.

Zudem sind Operation und Einstellung der Elektroden technisch anspruchsvoll und kostspielig. Ein vollständiges System inklusive chirurgischem Eingriff und Training kann etwa 100.000 CHF kosten – wobei die Kosten in der Schweiz derzeit nicht regelhaft von Krankenkassen übernommen werden. Auch nach der Operation muss jede einzelne Elektrode individuell konfiguriert werden.

Forschende weisen darauf hin, dass die Entwicklung in den frühen 2000er-Jahren zunächst rasche Fortschritte machte, danach aber auf technische und biologische Grenzen stieß. Gegenwärtig konzentriert sich die Forschung neben Hardwareverbesserungen insbesondere auf softwareseitige Optimierungen, etwa KI-basierte Bildverarbeitung, Kontraststeigerung und Formextraktion (Schulze et al. 2021).

Langfristig könnten sich alternative Ansätze als vielversprechend erweisen:

- **KI-basierte akustische oder haptische Darstellung von visuellen Informationen** (sensorische Substitution), die ohne Eingriffe ins Auge auskommen (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020);
- **Brain-Computer-Interfaces (BCIs)**, die visuelle Signale direkt auf Ebene der neuronalen Muster kodieren könnten (Buson 2023);
- **genetische oder regenerative Therapien**, die die Ursache der Netzhautdegeneration behandeln.

Das Beispiel der Retina-Implantate verdeutlicht, dass technischer Fortschritt nicht zwangsläufig linear verläuft. Gerade im Bereich der Sinneswahrnehmung könnten Fortschritte weniger aus der Verbesserung bestehender Hardware als aus völlig neuen technologischen Paradigmen entstehen, etwa aus KI-gestützter multimodaler Wahrnehmungsunterstützung oder aus hybriden neurotechnischen Verfahren.

Porträt Gowri Suldaram

„Wieso nicht ausprobieren?“

Gowri Suldaram trägt einen Microchip im Auge – ohne diesen wäre er vollständig blind.



Der 68-jährige Gowri Suldaram aus Genf lebt seit seiner Jugend mit Retinitis pigmentosa, einer progressiv degenerativen Erkrankung der Netzhaut. Der Verlust des Sehvermögens verlief schleichend: „*Der Abbau geschieht langsam, aber stetig – zuerst merkt man es fast gar nicht*“, erinnert er sich. Seit rund 15 Jahren sieht er nichts mehr.

Im Laufe der Jahrzehnte hat Suldaram unterschiedliche Behandlungen ausprobiert – von Durchblutungsförderung über Vitaminkuren bis hin zu frühen Anwendungen mit Plazentazellen. Keine dieser Methoden führte zu einer nachhaltigen Verbesserung. Die Experimente mit Plazentagewebe hätten „am ehesten“ eine Wirkung gezeigt, wurden jedoch aufgrund sicherheitsrelevanter Bedenken in den 1980er-Jahren eingestellt.

Als er bei einer medizinischen Tagung in Lausanne von einer klinischen Studie zu Retina-Implantaten erfuhr, entschied er sich spontan zur Teilnahme. «Wieso nicht ausprobieren? Was kann es schaden?», sagt er rückblickend. Im Februar 2008 ließ er sich einen elektronischen Netzhautchip implantieren. „*Irgendjemand muss ja anfangen, damit wir sehen, was die Wissenschaft damit erreichen kann.*“ Dieser Gedanke zeigt, wie sehr er sich als aktiver Teil der technischen Entwicklung versteht – fast mehr als Forschungs-partner denn als Patient.

Während des Gesprächs im Universitätsspital Genf trägt Suldaram die Kamera-Brille, die das Implantat mit visuellen Informationen versorgt, nicht. Auch im Alltag verwendet er sie nur punktuell. „*Ich sehe damit nur grobe Umrisse. Zu Hause weiß ich ohnehin, wo sich alles befindet.*“ Für selbstständige Spaziergänge im öffentlichen Raum fühlt er sich noch nicht sicher genug: Die Interpretation der künstlich erzeugten Bildinformationen erfordert Monate bis Jahre intensiven Trainings, und der Nutzen variiert individuell erheblich (Schulze et al. 2021).

Die Erwartungen an solche Technologien seien häufig überhöht, warnt Suldaram: «Für manche ist es schon schön, wieder einmal die Umrisse eines Menschen zu sehen oder das Glitzern des Meeres zu erkennen. Aber ich sehe das Gerät eher als eine Verbesserung der Lebensqualität – der praktische Nutzen ist für mich zweitrangig.» Wie bei anderen assistiven Technologien hängt die Erfahrung stark von persönlichen Faktoren, dem Trainingsumfang und der Anpassung an die individuelle Wahrnehmung ab (Schulze et al. 2021).

Ob sich Retina-Implantate langfristig als dominante Lösung etablieren werden, ist für Suldaram offen. Er hält es für möglich, dass sich intelligente Systeme auf Basis von Computer Vision und KI durchsetzen könnten – etwa solche, die ihre Umwelt erkennen und Nutzer:innen über Sprache oder akustische Signale informieren (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020). Solche Technologien umgehen das Auge vollständig und könnten in Zukunft mit sehbehinderten oder blinden Personen intuitiver interagieren.

Für Suldaram steht fest: Unabhängig vom Weg der technologischen Entwicklung braucht es die Bereitschaft von Betroffenen, sich an Studien zu beteiligen und neue Verfahren auszuprobieren. „*Nur wenn wir mitmachen, kann sich die Technik weiterentwickeln.*“

Überblick:

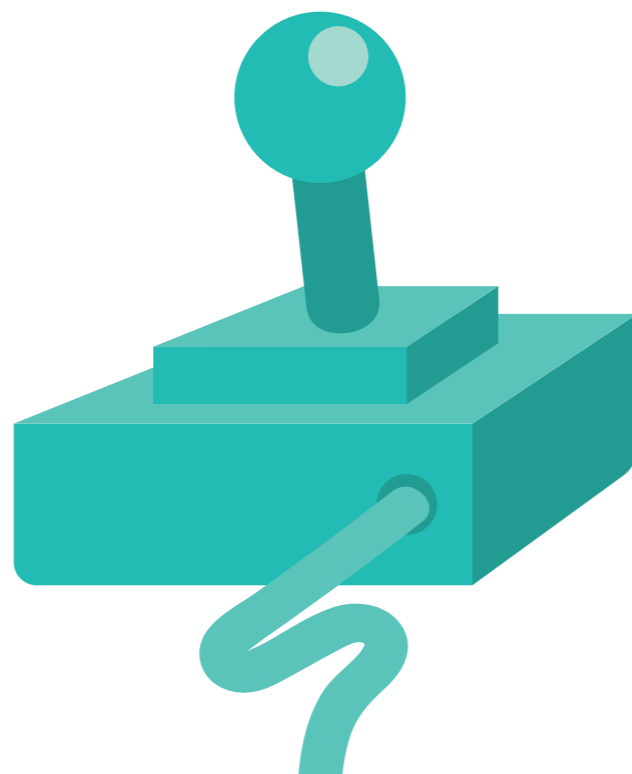
Steuerung / Kommunikation

Für Menschen mit Behinderungen wird Mobilität oft als vorrangiger Unterstützungsbedarf wahrgenommen. Mindestens ebenso zentral ist jedoch die Fähigkeit, eigene Wünsche, Bedürfnisse und Entscheidungen ausdrücken zu können. Selbstbestimmung bedeutet nicht zwingend, jede Handlung eigenhändig auszuführen, sondern vielmehr, die Möglichkeit zu haben, Kommunikation und Interaktion zu initiieren und zu steuern.

In dieser Kategorie gehören daher Hilfsmittel sowohl für die Interaktion mit anderen Menschen als auch für die Kommunikation mit technischen Systemen. In einer zunehmend digitalen Gesellschaft ist ein barrierefreier Zugang zu Computern, Smartphones, Robotern und intelligenten Assistenzsystemen für soziale Teilhabe unverzichtbar (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

In der Schweiz leben rund 100.000 Menschen mit einer schweren oder vollständigen Sprechbehinderung. In Deutschland sind es, je nach Definition, zwischen 500.000 und einer Million Menschen. Viele Betroffene haben zusätzlich Schwierigkeiten, Geräte zu bedienen – etwa aufgrund motorischer Einschränkungen, Wahrnehmungsproblemen oder begrenzter Steuerungsmöglichkeiten. Aktivitäten, die für andere selbstverständlich sind, bspw. Lesen, Schreiben, Bildschirmnutzung oder die Bedienung eines Smartphones, können zu erheblichen Barrieren werden.

Moderne assistive Technologien gehen heute weit über klassische Kommunikationshilfsmittel hinaus: Spracherkennung, prädiktive Kommunikation, KI-basierte Textvorschläge, multimodale Interfaces und robotische Assistenzsysteme ermöglichen deutlich flexiblere Kommunikationswege (Ibrahim 2024; Huchler et al.; Schulze et al. 2021).



Vertiefung:

Gehirn-Interfaces (Brain-Computer Interfaces)

Es existiert eine Vielzahl von Wegen, wie Menschen ihre Intentionen an technische Systeme, wie Prothesen, Exoskelette oder Roboter, übermitteln können. Klassische Verfahren basieren auf Muskelaktivität (EMG), Restbewegungen, Eye-Tracking, Sprache oder speziellen Schaltern. Da all diese Wege jedoch von Nervenbahnen und Muskelkontrolle abhängen, stoßen sie bei vielen Behinderungsformen an Grenzen.

Brain-Computer-Interfaces (BCIs) verfolgen daher den Ansatz, Signale direkt im Gehirn zu erfassen oder perspektivisch sogar Informationen zurück ins Nervensystem zu übertragen (Buson 2023).

Nicht-invasive BCIs: EEG-basierte Systeme

Eine verbreitete Methode besteht darin, Gehirnaktivität über Elektroenzephalografie (EEG) von der Kopfhaut abzuleiten. Moderne EEG-Systeme reichen dabei von medizinischen Hauben mit Dutzenden Elektroden bis hin zu benutzerfreundlicheren Headsets. EEG misst keine „Gedanken“, aber unterschiedliche Aktivitätsmuster und Frequenzbereiche geben Hinweise auf mentale Zustände wie Konzentration, Entspannung oder intendierte Bewegungen.

Nach aktuellem Forschungsstand lassen sich mit verlässlicher Genauigkeit etwa drei bis vier unterscheidbare Befehle aus EEG-Signalen extrahieren (Buson 2023). Die Reaktionszeit liegt bei mehreren Sekunden, kann aber durch Training verringert werden. Diese Limitierungen machen die Technologie für komplexe Alltagssteuerungen bislang nur eingeschränkt geeignet. Das gilt insbesondere für Menschen, die Schwierigkeiten haben, über längere Zeit fokussiert zu bleiben.

Ein wichtiger Fortschritt ergibt sich aus der Erkenntnis, dass der Mensch selbst bei willkürlichen Bewegungen zahlreiche Feinkomponenten nicht bewusst steuert. Diese automatische Feinsteuerung könnte von intelligenten Systemen übernommen werden: Exoskelette oder robotische Hilfen könnten einfache mentale Intentionen erkennen und die benötigten präzisen Bewegungsabläufe autonom generieren (Buson 2023; Huchler et al.).

Invasive BCIs: Direkter Zugang zu neuronalen Signalen

Invasivere Ansätze platzieren Elektroden direkt auf oder in der Hirnrinde. Zwei Regionen spielen eine zentrale Rolle:

- 1. Motorischer Cortex**
Hier lassen sich konkrete Bewegungsmuster auslesen. Die resultierenden Signale sind jedoch oft ruckartig und schwer zu interpretieren.
- 2. Hinterer Parietallappen**
Dieser Bereich repräsentiert Bewegungsabsichten statt einzelner Muskelkontraktionen. Systeme, die hier ansetzen, erzeugen deutlich flüssigere und intuitivere Bewegungen künstlicher Gliedmaßen (Buson 2023).

Diese Signale können nicht nur robotische Prothesen steuern, sondern auch direkt gelähmte Muskeln über elektrische Stimulation aktivieren, wodurch motorische Funktionen teilweise wiederhergestellt werden können (Buson 2023). Studien zeigen etwa, dass gelähmte Primaten über ein BCI-Rückenmark-Stimulationssystem wieder gehen konnten.

Systemanforderungen: KI, Umweltmodellierung und Kontextverständnis

Damit BCIs alltagsfähig werden, müssen technische Systeme:

- die Umwelt zuverlässig erkennen (Computer Vision, Sensorik) (Ibrahim 2024)
- kontextbezogen handeln (semantische Modelle, Ontologien) (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021)
- sicher, erklärbar und anpassbar sein (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020)

Dies zeigt, dass BCIs nicht isoliert betrachtet werden können, sondern Teil komplexer sozio-technischer Systeme sind (Huchler 2022).

Zukünftige Entwicklungen

Die direkte Erfassung neuronaler Aktivität bleibt auf die Oberfläche des Gehirns beschränkt – tiefer sitzende Strukturen sind ohne Risiko nicht zugänglich. Zukünftige Entwicklungen könnten:

- hochauflösende, miniaturisierte Implantate nutzen
- Nanoroboter als Signalantennen im Gehirn einsetzen (fernere Zukunft)
- multimodale Systeme entwickeln, die Gehirnsignale mit Bewegungsdaten, Umweltsensorik oder KI-basierter Intentionserkennung kombinieren (Buson 2023; Huchler et al.)

Die Perspektiven sind weitreichend: BCIs könnten langfristig nicht nur Instruktionen übermitteln, sondern auch multisensorische Rückmeldungen, wie Berührung, Positionsempfinden oder visuelle Informationen ermöglichen (Schulze et al. 2021).

Zusammenfassung

Brain-Computer-Interfaces stellen einen der dynamischsten Bereiche assistiver Technologie dar. Ihre Weiterentwicklung wird jedoch nicht allein durch technische Leistungsfähigkeit bestimmt, sondern ebenso durch:

- Akzeptanz, Sicherheit und Datenschutz (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020)
- transparente Entscheidungslogiken (Huchler et al. 2020)
- komplementäre Arbeitsteilung zwischen Mensch und System (Huchler 2022)
- sowie eine adaptive, menschengerechte Gestaltung der Interaktion (Huchler et al.)

Damit bleiben BCIs ein exemplarisches Feld, in dem sich technische Innovation und menschliche Bedürfnisse besonders eng verschränken.



Überblick: Psyche

Technologie wird insbesondere im Kontext der Robotik häufig mit Mechanik, Sensorik und physischer Unterstützung assoziiert. Weniger offensichtlich erscheint zunächst, wie technische Systeme bei psychischen, kognitiven oder emotionalen Einschränkungen unterstützen können. Dabei reicht das Spektrum heutiger Lösungen von niedrigschwelligen digitalen Assistenzsystemen über sozial-interaktive Robotik bis hin zu neurotechnologischen Verfahren. Entsprechend vielfältig sind die Einsatzbereiche, denn psychische und kognitive Erkrankungen verlaufen äußerst heterogen und entziehen sich einfachen technischen Interventionen (Schulze et al. 2021).

Assistierende Technologien im psychischen Bereich umfassen unter anderem:

- digitale Coaching- und Strukturierungs-Apps, die Alltagsbewältigung, Konzentration und Selbstorganisation unterstützen (Stowasser et al. 2020);
- soziale und emotionale Robotik, die auf Interaktion, Nähe, Regulation und Motivation ausgerichtet ist (Schulze et al. 2021);
- adaptive KI-Systeme, die emotionale Zustände erkennen und situativ angemessen reagieren sollen (Huchler et al. 2020);
- sowie neurotechnologische Verfahren, wie Gehirnstimulation oder erste BCI-basierte Systeme, die kognitive Prozesse beeinflussen oder unterstützen können (Buson 2023).

In der Schweiz leidet fast die Hälfte aller Rentner:innen an psychischen oder mentalen Erkrankungen. Während technischer Fortschritt und Prävention in anderen Bereichen (bspw. bei physischen Behinderungsrisiken) langfristig zu sinkenden Fallzahlen führen könnten, ist bei psychischen Belastungen in modernen Gesellschaften eher ein Anstieg zu beobachten. Beschleunigte Arbeitsprozesse, ständige Erreichbarkeit, digitaler Stress oder soziale Isolation werden als Faktoren zunehmender psychischer Erkrankungen diskutiert (Stowasser et al. 2020).

Technische Hilfsmittel können hier zwar wichtige Unterstützung leisten, stoßen jedoch rasch an Grenzen: Psychische Erkrankungen sind komplex, individuell und kontextabhängig. Sie lassen sich nicht auf einzelne Funktionsstörungen reduzieren, und unser Verständnis des Gehirns bleibt in zentralen Bereichen begrenzt (Buson 2023). Gleichzeitig zeigen aktuelle Studien, dass soziale Robotik und empathiefähige KI-Systeme in bestimmten Kontexten, wie in Therapie, Aktivierung, Motivation oder Alltagsstrukturierung, durchaus positive Effekte haben können, sofern sie verantwortungsvoll gestaltet werden (Schulze et al. 2021).

Moderne psychische Assistenztechnologien setzen daher verstärkt auf:

- situationsadaptive, multimodale Systeme, die auf Sprache, Mimik und Verhalten reagieren (Huchler et al. 2020);
- partizipative Gestaltung, um Überforderung, Stigmatisierung oder Fehlanreize zu vermeiden (Stowasser et al. 2020);
- komplementäre Unterstützung, die menschliche Betreuung nicht ersetzt, sondern ergänzt (Schulze et al. 2021; Huchler 2022);
- und eine humanzentrierte Mensch-Maschine-Interaktion, die Handlungsspielräume, Autonomie und soziale Einbindung fördert (Huchler et al. 2020).

Soziale Robotik, etwa tierähnliche Interaktionsroboter, kommunikative Assistenzsysteme oder virtuelle Avatare, kann Nutzer:innen emotional stabilisieren, motivieren oder im Alltag begleiten. Sie darf jedoch nicht als Ersatz für menschliche Beziehungen missverstanden werden. Vielmehr zeigen neuere ethische und empirische Analysen, dass der Wert solcher Systeme abhängig ist von:

- der Transparenz über ihre Funktionen (Huchler et al. 2020),
- der Passung zu individuellen Bedürfnissen (Schulze et al. 2021),
- sowie der Einbettung in menschliche Unterstützungssysteme (Huchler 2022).

Damit bleibt der Bereich „Psyche“ ein Feld, in dem technische Unterstützung besonders sensibel, kontextbewusst und interdisziplinär gestaltet werden muss.



Überblick:

Monitoring

Die bisher beschriebenen Technologien unterstützen Menschen mit Behinderungen direkt bei bestimmten Handlungen (etwa bei der Fortbewegung, Wahrnehmung, Kommunikation oder kognitiven Aufgaben). Monitoring-Technologien verfolgen einen anderen Ansatz: Sie schaffen vor allem Sicherheit und damit die Grundlage für eine selbstbestimmte Lebensführung.

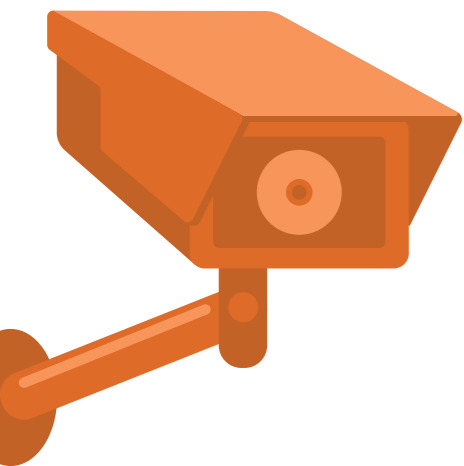
Monitoring umfasst Systeme, die erkennen, wenn Hilfe benötigt wird, und automatisch reagieren oder informieren. Dazu gehören:

- Sensoren in der Wohnung oder im öffentlichen Raum,
- tragbare Geräte (Wearables),
- implantierbare Sensoren,
- sowie KI-gestützte Systeme, die Muster erkennen, Risiken einschätzen oder Kommunikationskanäle öffnen (Ibrahim 2024; Stowasser et al. 2020).

Solche Technologien ermöglichen es vielen Menschen, länger eigenständig zu wohnen oder sich sicherer in Alltagssituationen zu bewegen. Beispiele sind:

- Warnsysteme für epileptische Anfälle, die physiologische Veränderungen frühzeitig melden;
- Sturzerkennung für gehbehinderte Menschen, die Angehörige oder eine Leitstelle informiert;
- Bewegungs- und Drucksensoren, die an Mobilitätsübungen oder Positionswechsel zur Dekubitusprophylaxe erinnern.

Moderne Monitoring-Lösungen kombinieren zunehmend mehrere Datenquellen und nutzen KI, um Situationen besser einschätzen zu können (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020). Sie können dadurch nicht nur reaktiv (Alarm auslösen), sondern auch präventiv handeln, indem sie Muster frühzeitig erkennen oder automatische Anpassungen vornehmen. Darunter fallen beispielsweise die Regulierung der Raumtemperatur, Lichtverhältnisse oder Aktivitätspläne.



Vertiefung:

Smart Home

Während Assistenzroboter versuchen, menschliche Handlungen zu imitieren oder zu ersetzen, verfolgt das Smart Home einen modularen Ansatz: Jede Funktion im Haushalt wird durch ein eigenes technisches System realisiert, das weit einfacher, robuster und wartungsfreundlicher ist.

Anstatt einen komplexen Alltagsroboter zu entwickeln, der gleichzeitig Fensterläden öffnet, putzt, Licht steuert und Gegenstände manipuliert, übernimmt im Smart Home jedes Gerät eine klar begrenzte Aufgabe:

- Motorisierte Fensterläden,
- Türöffner und Zugangssysteme,
- Staubsaugerroboter,
- automatische Bestellsysteme für Haushaltswaren,
- Aufstehbetten,
- vernetzte Beleuchtung und Heizungssteuerung.

Dieser modulare Ansatz erlaubt individuelle Anpassungen, leichtere Wartung und einen stufenweisen Ausbau. Jede Funktion lässt sich separat ersetzen oder erweitern.

Smart Homes werden typischerweise über

- Tablets oder Touchpanels,
- Sprachassistenten wie Siri, Google Assistant oder Alexa,
- oder automatisierte Regeln (z. B. Helligkeitssensoren, Bewegungsmelder)
- gesteuert. Nutzer:innen oder Pflegepersonen können Abläufe selbst konfigurieren oder automatisieren.

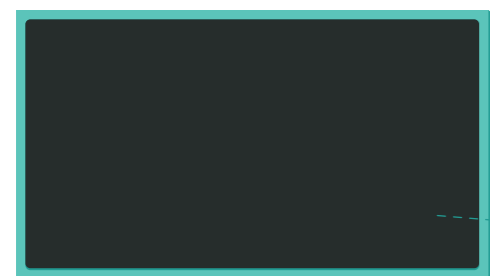
Beispiele für automatisierte Funktionen:

- Sonnenstoren fahren bei starker Sonneneinstrahlung herunter.
- Türen öffnen sich über Bodensensoren oder RFID.
- Beleuchtung und Heizung passen sich an Präsenz und Wetterdaten an.
- Haushaltsgeräte schalten sich nach festen Zeitplänen oder in Abhängigkeit von Aktivitäten ein.

Solche Systeme ermöglichen es Menschen mit Behinderungen ebenso wie älteren Personen, länger zu Hause zu leben, ohne auf umfassende Betreuung angewiesen zu sein (Stowasser et al. 2020).

Damit Smart Homes zuverlässig arbeiten, müssen Räume präzise erfasst werden: Temperatur, Tageslicht, Bewegung, Türen, Fenster und teilweise auch der Gesundheitszustand der Bewohner:innen. Sensoren (am Körper getragen oder implantiert) liefern zusätzliche Informationen zu Aktivität, Sturzrisiko oder Vitalparametern (Ibrahim 2024; Stowasser et al. 2020).

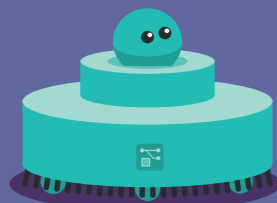
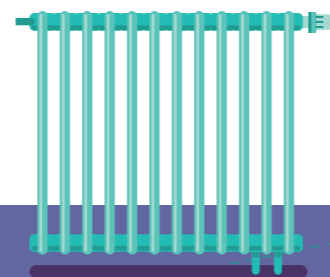
Dies erzeugt jedoch unweigerlich Eingriffe in die Privatsphäre, weshalb Datenschutz, Datensparsamkeit, Transparenz und Freiwilligkeit zentrale Bedingungen für den Einsatz solcher Systeme sind (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).



Aktuelle Entwicklungen

Kontinuierlich entstehen neue Monitoring-Lösungen, die Daten vieler Sensoren bündeln und deren Analyse automatisieren. Beispiele:

1. **„Onköl“** – smarte Gesundheitsmonitoring-Box
Ein System, das Daten verschiedener Sensoren sammelt, Ereignisse analysiert und im Bedarfsfall Alarm schlägt. Mehrere Angehörige können per Smartphone verknüpft werden und erhalten Updates über den Zustand der alleinlebenden Person (Stowasser et al. 2020).
2. **„Nestor“ – Schweizer Smart-Home-Konzept mit 24/7-Betreuungsintegration**
Nestor stellt eine Infrastruktur bereit, die älteren Menschen ein längeres Leben in den eigenen vier Wänden ermöglichen soll. Neben Sensorik umfasst das System Dienstleistungen wie Arzttermine, Besorgungen oder Reinigungsdienste – ergänzt durch digitale Koordination und Angehörigenintegration (Stowasser et al. 2020).
3. **AAL-Technologie für selbstbestimmtes Leben von Menschen mit Demenz.**
Das Sozialwerk St. Georg aus Gelsenkirchen betreibt mehrere Wohneinrichtungen für Menschen mit Demenz, die über Sensorik abweichende Verhaltensmuster der Bewohner:innen identifizieren kann und **Betreuungsangebote** bedarfsgerecht zur Verfügung stellen.



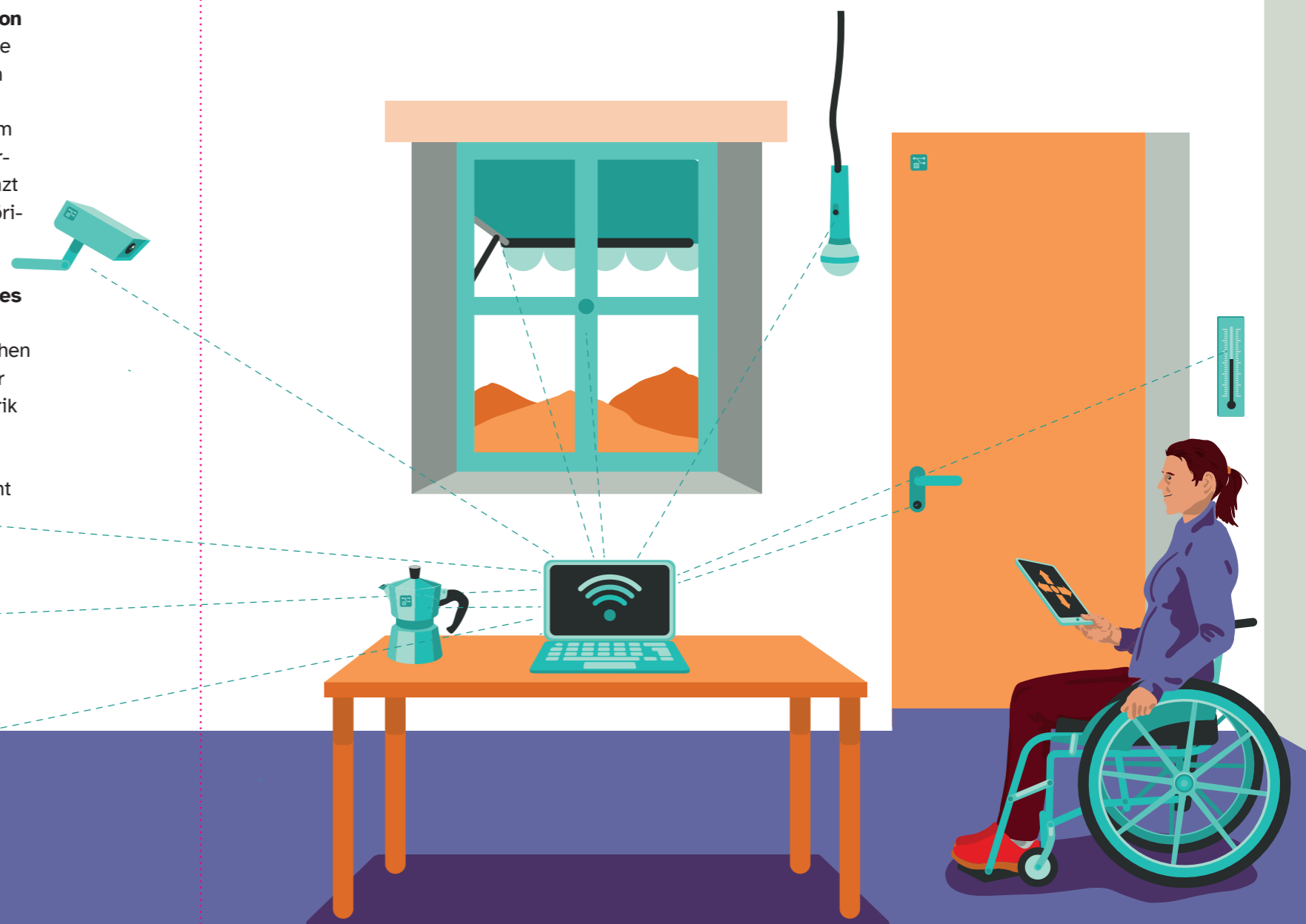
Einordnung im Lichte neuer Forschung

Die neueren Quellen zeigen, dass Monitoring-Systeme zunehmend:

- semantisch interpretieren, statt nur zu messen (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021),
- Entscheidungshilfen nicht nur für Angehörige, sondern auch für Assistenzrobotik bereitstellen (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021),

- adaptive, kontextbewusste Unterstützungsformen ermöglichen (Huchler et al.; Huchler et al. 2020),
- und stärker in sozio-technische Gesamtsysteme eingebettet werden (Huchler 2022).

Damit entwickeln sich Smart Homes und Monitoring-Systeme zu integralen Komponenten inklusiver, sicherer und autonomer Lebensräume.



Überblick:

Physiologie

Die Möglichkeiten zur technologischen Unterstützung physiologischer Funktionen sind ausgesprochen vielfältig. Praktisch jede Person profitiert irgendwann im Leben von Hilfsmitteln, die Körperfunktionen stabilisieren, ersetzen oder ergänzen. Wird Technologie breit definiert, umfassen physiologische Unterstützungsformen nicht nur technische Geräte, sondern ebenso Medikamente oder digitale Therapieanwendungen.

Unterstützung kann außerhalb des Körpers erfolgen, etwa durch robotische Systeme in der Physiotherapie, Exoskelette oder intelligente Trainingsgeräte, die Bewegungsabläufe analysieren und adaptiv unterstützen (Huchler et al.). Innerhalb des Körpers kommen implantierbare Systeme zum Einsatz. Das reicht von Herzschrittmachern und Neurostimulatoren bis hin zu künstlichen Organen oder implantierbaren Sensoren für Monitoring und Feedback (Buson 2023; Schulze et al. 2021).

Diese Technologien verfolgen unterschiedliche Ziele: Rehabilitation, Alltagsunterstützung, Kompensation, Koordination oder direkte Ansteuerung physiologischer Prozesse. Viele dieser Systeme verbinden heute Sensorik, Robotik und KI, um adaptive und präzise Unterstützung zu ermöglichen (Huchler et al.; Huchler et al. 2020).

Der Weg zum Super-Menschen?

In gesellschaftlichen Debatten über Bionik, Implantate und Prothetik taucht regelmäßig die Befürchtung auf, dass künstliche Körperteile eines Tages leistungsfähiger sein könnten als ihre biologischen Vorbilder. Transhumanistische Positionen sehen in der Verschmelzung von Mensch und Maschine einen möglichen nächsten Evolutionsschritt. Skeptiker warnen hingegen vor einem sozialen Optimierungsdruck, der Menschen dazu verleiten könnte, funktionierende Körperteile zu ersetzen oder technisch zu „verbessern“.

Sportliche Wettbewerbe dienen häufig als Beispiel für diese Diskussion. Fälle wie der des deutschen Weitspringers Markus Rehm zeigen, dass Prothesen in bestimmten Disziplinen Vorteile bieten können – zugleich aber klare Grenzen aufweisen, da sie nicht dieselbe Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit menschlicher Gliedmaßen erreichen. Leistungsstarke Prothesen können in Einzelszenarien Vorteile

bringen, sind aber für andere Situationen deutlich ungeeignet (Schulze et al. 2021).

Wie Betroffene selbst berichten, benötigt man für unterschiedliche Funktionen häufig verschiedene Prothesen, zugeschnitten auf Laufen, Stehen, Schwimmen oder Alltagshandlungen. Trotz beeindruckender Fortschritte bleibt ein wesentlicher Punkt bestehen: Die Flexibilität und sensorische Integration des menschlichen Körpers ist technologisch bis heute unerreicht (Buson 2023; Huchler et al.).

Gleichzeitig zeigen modernste Forschungsergebnisse, dass hybride Systeme, etwa Kombinationen aus Exoskelett und Rollstuhl, robotischer Unterstützung und BCI, künftig vielseitigere Einsatzmöglichkeiten bieten könnten (Buson 2023; Huchler et al.). Doch selbst diese Entwicklungen ersetzen die Komplexität biologischer Bewegungskoordination nur in Teilbereichen.

Das Ende von Behinderung?

Die wissenschaftlichen Zweifel und pragmatischen Einschätzungen vieler Forschender verdeutlichen, dass transhumanistische Vorstellungen, wonach Behinderungen durch Technologie vollständig überwunden werden könnten, derzeit unrealistisch sind. Zahlreiche technische und biologische Herausforderungen stehen dieser Vision entgegen:

- begrenzte Flexibilität und Anpassungsfähigkeit künstlicher Gliedmaßen;
- begrenzte Akkulaufzeiten tragbarer Systeme;
- Schwierigkeiten bei der präzisen Anbindung an Nervenbahnen;
- eingeschränkte Möglichkeiten zur intuitiven Steuerung;
- Infektionsrisiken bei invasiven Eingriffen;
- unvollständiges Verständnis der neuronalen Prozesse, die koordinierte Bewegung oder Wahrnehmung ermöglichen (Buson 2023; Schulze et al. 2021).

Hinzu kommt ein zentraler Punkt, der in transhumanistischen Szenarien oft übersehen wird: Der menschliche Körper ist ein integriertes Gesamtsystem, das sich bei Verlust oder Veränderung einzelner Komponenten als Ganzes anpasst. Fehlende Gliedmaßen, chronische Spannungsmuster oder neurologische Erkrankungen führen zu systemweiten Veränderungen, die auch dann bestehen bleiben, wenn einzelne Komponenten technisch ersetzt werden (Huchler 2022).

Beispielsweise können Fehlhaltungen, muskuläre Dysbalancen oder Spastiken nicht einfach durch eine Prothese kompensiert werden. In Fällen wie Cerebralparese oder komplexen neurologischen Störungen wirken Behinderungen nicht an einer isolierten Stelle, sondern betreffen Körper und Nervensystem in ihrer Gesamtheit.

Wie Forscher:innen betonen, würde eine vollständige technische Kompensation erfordern, alle betroffenen Ebenen, von Muskeln über Sehnen bis hin zu neuronalen Steuerprozessen, simultan anzupassen. Dies liegt weit außerhalb des gegenwärtig Machbaren (Buson 2023).

Damit bleibt das Ziel, Behinderung vollständig aufzuheben, eine theoretische Zukunftsvision, während moderne Technologie in der Praxis vor allem darauf ausgerichtet ist, Funktionen zu ergänzen, Teilhabe zu erweitern und Autonomie zu stärken und nicht den Körper vollständig zu ersetzen (Huchler et al.; Huchler et al. 2020).

Porträt Abassia Rahmani

„Sprinten wie auf Wolken!“

Die 24-jährige Zürcherin Abassia Rahmani läuft 100 Meter in weniger als 14 Sekunden – auf Carbonfedern unterhalb der Knie.



Wenn Abassia Rahmani über die Laufbahn gleitet, wirkt sie auf viele Kinder wie eine Superheldin. „Wo hast du die her? Ich will auch solche!“, rief kürzlich ein Junge, der sie neugierig verfolgte. In solchen Momenten genießt sie es, aufzufallen – mit den geschwungenen Carbonfedern, die anstelle ihrer Unterschenkel unter ihren Knien sitzen. Doch im Alltag trägt sie meist ihre Alltagsprothesen, mit denen sie „am wenigsten Fragen“ erhält und leichter in der Anonymität der Stadt verschwindet.

An einem Maitag 2016 erscheint Rahmani nach der Arbeit zum Training – eine junge Frau in Jeans und Turnschuhen, äußerlich kaum von anderen zu unterscheiden, abgesehen von einem leicht veränderten Gang. Ihre Unterschenkel mussten amputiert werden, nachdem sie mit 16 Jahren an einer lebensbedrohlichen Meningokokken-Sepsis erkrankt war.

Der Schock jener Zeit ist längst einer entschlossenen Lebenshaltung gewichen. Rahmani verfolgt das Ziel, Profisportlerin zu werden. Ihr Schlüsselerlebnis war der Besuch eines Trainings bei einem deutschen Paralympics-Sieger, bei dem sie erstmals Lauffedern ausprobieren konnte. „Es fühlte sich an wie auf Wolken – diese Lockerheit war wieder da“, erzählt sie. Die Begeisterung trug sie zurück auf die Bahn. 2016 gewann sie EM-Bronze im 100-Meter-Lauf und erreichte an den Paralympics in Rio den vierten Platz über 200 Meter.

Ihre Sportprothesen erhält Rahmani als Sponsoring; ohne sportlichen Erfolg müsste sie sie privat finanzieren. Die Invalidenversicherung übernimmt nur wenige alltagsorientierte Prothesen im Vierjahresrhythmus, während spezialisierte Sportprothesen als „Luxus“ gelten.

Mit ihren Alltagsbeinen kann sie kurze Sprints zum Zug bewältigen, Snowboard fahren, Krafttraining ausführen oder lange Arbeitstage meistern. Dennoch bleiben Wünsche:

- ein verstellbarer Absatz, um High Heels tragen und Salsa tanzen zu können,
- Badeprothesen,
- flexiblere Knöchelgelenke ohne sichtbare Faltenbildung.

Rahmani betont, dass sie „megafroh“ über die technischen Fortschritte sei, aber auch das Erscheinungsbild wichtig bleibe. Dies deckt sich mit aktuellen Erkenntnissen, dass assistive Technologien nicht nur funktional, sondern auch ästhetisch und identitätsrelevant gestaltet sein müssen (Huchler et al. 2020).

Wie steht sie zu futuristischen Verbesserungen? Super-Prothesen, mit denen sie wie Spiderman rennen oder meterhohe Sprünge machen könnte? „Es wäre schon cool – ich würde sie bestimmt ausprobieren“, sagt sie lachend. Doch Wettbewerbsvorteile gegenüber Menschen mit natürlichen Beinen? Da hätte sie Hemmungen. Und sie will sich keinesfalls vorstellen, dass Menschen ihre gesunden Beine amputieren lassen könnten, um Vorteile aus solchen Technologien zu ziehen. Das ist eine Sorge, die auch in aktuellen Debatten um Transhumanismus und technische Selbstoptimierung angesprochen wird (Schulze et al. 2021).

Ihr persönlicher technologischer Traum geht in eine andere Richtung: ein natürlicheres Bewegungsgefühl und sensorische Rückmeldung. «Wieder einmal den Sand zwischen den Zehen spüren, das wäre schön.» Konzepte wie taktile Sensorrückkopplung, neuronale Interfaces und KI-basierte Prothesensteuerung könnten solche Empfindungen in Zukunft ermöglichen (Buson 2023; Schulze et al. 2021; Huchler et al.), auch wenn diese Technologien heute noch am Anfang stehen.

Umweltanforderungen

Barrierefreiheit für Maschinen

Technologie kann in einer ersten Annäherung als Werkzeug verstanden werden, das zwischen Menschen als handelnden Subjekten und der Umwelt vermittelt. Schuhe stehen zwischen Fuß und Boden, eine Gabel zwischen Hand und Nahrungsmittel. Solche Technologien unterstützen direkt die Interaktion zwischen Mensch und physischer Umwelt; man kann sie als Technologien erster Ordnung bezeichnen.

Technologien zweiter Ordnung dienen primär der Interaktion mit anderen Technologien: Ein Schraubenzieher wirkt auf eine Schraube, Autos sind auf Straßen als technische Infrastruktur angewiesen, und viele Assistenzsysteme können nur innerhalb entsprechend gestalteter Umgebungen sinnvoll funktionieren (Profanter et al. 2021).

Technologien dritter Ordnung verbinden schließlich Technologien als „Subjekte“ mit Technologien als „Objekte“, etwa wenn Softwareagenten („Bots“) im Internet automatisiert Suchanfragen stellen, Maschinen eigenständig Produktionsanlagen konfigurieren oder autonome Fahrzeuge mit Verkehrsinfrastruktur kommunizieren (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021).

Entscheidend ist dabei weniger die starre Zuordnung einzelner Technologien zu einer Kategorie als das Verständnis, dass sich

zunehmend ein technologisches Ökosystem entwickelt, in dem Technologien mit anderen Technologien interagieren. Auf einer solchen „Infosphäre“ agieren viele Systeme entkoppelt von direkten physikalischen Beschränkungen: Daten, semantische Modelle und digitale Zwillinge ersetzen oder ergänzen physische Objekte (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021; Huchler et al.).

Die starke Ausweitung softwarebasierter Systeme, vernetzter Dinge (Internet of Things, IoT), semantischer Plattformen und Cloud-Dienste führt dazu, dass Fortschritte in der digitalen Informationsverarbeitung heute oft schneller sind als klassische Hardware-Innovationen. Zentrale Entwicklungslinien sind:

- **Vernetzung** (IoT, Smart Homes, Smart Cities),
- **semantische Interoperabilität** (Ontologien, Skills, Wissensrepräsentation),
- **autonome Entscheidungssysteme** (KI, lernende Systeme),
- **Mensch-Maschine-Interaktion**, die zunehmend multimodal, adaptiv und kontextsensitiv wird (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021; Huchler et al.; Huchler et al. 2020).



Das Internet bildet eine solche technologische Zwischenebene, auf der vielfältige Geräte kommunizieren können, weil eine digitale Umwelt geschaffen wurde, die für technische Akteur:innen „begebar“ ist. Mit der weiteren Verbreitung des „Internet of Things“, der Integration von Sensorik in Alltagsobjekte und der Verknüpfung von Bild-, Sprach- und Kontextdaten durch KI verschmilzt diese digitale Ebene immer stärker mit der analogen Lebenswelt (Ibrahim 2024; Profanter et al. 2021; Stowasser et al. 2020).

Für Menschen mit Behinderungen ist dies ambivalent, aber grundsätzlich chancenreich:

- Je besser sich Maschinen in unserer Welt zurechtfinden, desto eher können sie Menschen mit Behinderungen bei der Orientierung unterstützen (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021).
- Eine „maschinenfreundliche“ Umwelt mit klaren Strukturen, Sendern, Markierungen und digital repräsentierten Objekten wird zugleich auch menschenfreundlicher für diejenigen, die auf technische Assistenz angewiesen sind (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021; Huchler et al.).

So profitieren beispielsweise blinde und sehbehinderte Menschen von Strichcodes oder RFID-Tags auf Produkten, die ursprünglich

nicht für sie entwickelt wurden, aber von Apps genutzt werden können, um Produkte zu identifizieren. Ähnlich können GPS, WiFi-basierte Lokalisierung oder Bluetooth-Beacons (z. B. iBeacons) dazu eingesetzt werden, Menschen durch Gebäude und öffentliche Räume zu führen (Ibrahim 2024).

Mit der zunehmenden Verbreitung selbstfahrender Fahrzeuge, Lieferdrohnen oder autonomer Reinigungsmaschinen wird erwartet, dass Städte und Gebäude verstärkt mit Sensoren, Kommunikationsmodulen und digitalen Beschreibungen ausgestattet werden. Diese Barrierefreiheit für Maschinen, also maschinenlesbare Umweltinformationen, schafft die Grundlage dafür, dass auch assistive Geräte (Rollstühle, Navigationssysteme, Serviceroboter) sich präziser orientieren können (Ibrahim 2024; Profanter et al. 2021).

Dazu kommt die rasche Entwicklung von:

- **Bild- und Objekterkennung** (z. B. Gesichtserkennung, Szenenerkennung),
- **Sprach- und Emotionserkennung**,
- **kontextsensitiven Assistenzsystemen**.

Diese Technologien werden primär für den Massenmarkt entwickelt, können aber für Menschen mit unterschiedlichen Beeinträchtigungen nutzbar gemacht werden. Das ermöglicht es Gesichter zu identifizieren, Mimik oder Emotionen besser zu verstehen, Sprache in Text umzuwandeln oder komplexe Situationen verständlich aufzubereiten (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020).

Wenn Assistenzrobotik und autonome Systeme in einer ausreichend „strukturierten“ Umwelt agieren, können sie zunehmend eigenständig Entscheidungen treffen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, pflegebedürftige Menschen in bestimmten Situationen zeitweise allein von Robotern oder selbstfahrenden Systemen begleiten zu lassen, etwa beim Transport, bei einfachen Routinetätigkeiten oder bei Sicherheitsaufgaben (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021; Huchler et al.).

Gleichzeitig müssen dabei Fragen von Sicherheit, Verantwortung, Datenschutz und sozialer Einbindung sorgfältig adressiert werden (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

„Bei Eva ist es so, dass Umarmungen das Liebste ist, das sie macht. Und das muss nicht immer ich sein, der umarmt und umarmt wird, das könnte auch mal ein Roboter sein. [...] Das zeigt eigentlich, dass sie nur etwas brauchen würde, das sich auch mit ihr beschäftigt ...“

Leo Wolfisberg,
Vater einer schwerbehinderten Tochter

Solche Aussagen verdeutlichen, dass Menschen mit schweren Behinderungen nicht nur funktionale, sondern auch soziale und emotionale Unterstützung benötigen. Das sind Aufgaben, die teilweise von sozialen Robotern oder digitalen Avataren übernommen werden können, sofern sie verantwortlich gestaltet und in menschliche Unterstützungssysteme eingebettet sind (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020).

Virtual Reality – Barrierefreiheit in der Maschine

Während sich ein Teil der technischen Entwicklung auf die Digitalisierung der analogen Welt konzentriert, entsteht parallel ein immer größerer digitaler Raum, der weitgehend unabhängig von physischen Gegebenheiten existiert. In Chats, Foren und Online-Spielen können Menschen mit Behinderungen häufig in anderer Weise teilnehmen als in der analogen Welt – auch wenn ihre körperliche oder sprachliche Präsenz eingeschränkt ist.

In virtuellen Welten können Avatare Fähigkeiten besitzen, die im physischen Leben nicht verfügbar sind: fliegen, springen, sich barrierefrei bewegen. Behinderung kann dort unsichtbar werden oder sich sogar in eine Ressource verwandeln, etwa wenn Spieler:innen ihren Avatar bewusst gestalten und Fähigkeiten wählen, die in der analogen Welt verwehrt sind.

Mit Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) wird dieses Eintauchen unmittelbarer:

- Nutzer:innen können Sport treiben, Lernumgebungen erkunden, einkaufen oder mit Freund:innen interagieren, unabhängig von räumlichen Barrieren.
- Physiotherapie- und Reha-Programme können durch immersive VR-Umgebungen motivierender gestaltet werden, insbesondere in Kombination mit Robotik oder Exoskeletten (Huchler et al.).

Bislang gelten virtuelle Welten häufig noch als „unecht“ im Gegensatz zur sogenannten „realen“ Welt. Doch diese Unterscheidung beginnt zu verschwimmen: Mit AR werden digitale Informationen direkt über die physische Umgebung gelegt, und viele soziale Kontakte entstehen oder verlaufen bereits im digitalen Raum (Huchler et al. 2020).

Für Menschen mit Behinderungen kann VR/AR:

- neue Formen von Teilhabe ermöglichen,
- soziale Isolation verringern,
- Lern- und Arbeitssituationen barriereärmer gestalten,
- und in Verbindung mit BCIs oder adaptiven Interfaces alternative Steuerungsmöglichkeiten bieten (Buson 2023; Huchler et al.).

Aktuell ist die Fortbewegung in VR technisch noch durch bspw. Raumgrenzen oder fehlende natürliche Gehinterfaces begrenzt. Perspektivisch könnten feinere BCI-Steuerungen, multimodale Interfaces oder KI-basierte Bewegungsprognosen eine intuitivere Avatarsteuerung ermöglichen (Buson 2023). Wichtig ist, dass solche Lösungen nicht nur als „Ersatzwelt“ dienen, sondern mit realen Teilhabemöglichkeiten verknüpft werden und die Autonomie der Nutzer:innen stärken (Huchler et al.; Huchler et al. 2020).

Mainstream statt „behinderter“ Technologie

Die Ausweitung der Infosphäre und die wachsende Vernetzungsdichte führen dazu, dass immer mehr Geräte und Dienste der Allgemeinheit potenziell auch als Assistenztechnologien genutzt werden können. Für Menschen mit Behinderungen hat die Nutzung von Mainstream-Technologien mindestens zwei zentrale Vorteile:

1. Kosten und Verfügbarkeit

Massenprodukte sind in großen Stückzahlen verfügbar und dadurch deutlich günstiger als spezialisierte Assistenzgeräte. Updates, Wartung und Weiterentwicklung werden durch Marktvolumen und Wettbewerb getrieben (Stowasser et al. 2020).

2. Reduktion von Stigmatisierung

Geräte, die explizit als „Hilfsmittel für Behinderte“ gekennzeichnet sind, werden oft mit Abhängigkeit und Differenz verbunden. Dagegen stehen Smartphones, Tablets, Smart Speaker oder VR-Brillen für Normalität, Zugehörigkeit und Kompetenz (Huchler et al. 2020).

Studien zeigen, dass ein signifikanter Anteil der Nutzer:innen klassischer Assistenzsysteme, unter anderem wegen des Stigmas, der Komplexität oder mangelnder Alltagstauglichkeit, nach einiger Zeit wieder aufgibt. Apps und Systeme, die auf etablierten Plattformen wie Smartphones aufsetzen, können diese Hürde reduzieren, weil sie äußerlich nicht als „Behindertentechnologie“ auffallen (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

„Es wird auch viel normaler, man ist kein Sonderling mehr, wenn man ein iPad hat.“

Prof. Dr. Maja Steinlin,
Neuropädiatrie Inselspital Bern

Allerdings reicht es nicht aus, Mainstream-Technologien „nachträglich“ barrierefrei zu machen. Behindertenorganisationen und aktuelle Forschung betonen, dass Menschen mit Behinderungen von Anfang an in die Gestaltung solcher Systeme einbezogen werden müssen (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Dies entspricht dem Prinzip des **„Design for All“ bzw. Universal Design:**

- Barrierefreiheit und Zugänglichkeit werden als integrale Gestaltungsziele definiert,
- nicht als spätere Zusatzoption.
- Partizipative Entwicklungsprozesse helfen, technische Lösungen wirklich an den Bedürfnissen der Nutzer:innen auszurichten (Huchler 2022; Huchler et al.; Stowasser et al. 2020).

Für die Zukunft bedeutet dies:

Je stärker digitale Infrastrukturen, urbane Räume, Mobilitätssysteme und Alltagsgeräte von Beginn an so gestaltet werden, dass sie für Maschinen verständlich und für Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten nutzbar sind, desto weniger werden spezialisierte „Nischenlösungen“ erforderlich sein – und desto eher können Menschen mit Behinderungen selbstverständlich am technologisch geprägten Alltag teilhaben (Schäfer et al. 2020 - 2021; Profanter et al. 2021; Huchler et al. 2020).



Porträt Patrick Mayer

„Ich träume davon, dass wir alle maximal mobil sind.“

Der Alpinist Patrick Mayer ist inkomplett querschnittsgelähmt und entwickelte aus persönlicher Erfahrung heraus ein eigenes Mobilitätshilfsmittel – Kufen für Rollstühle.



Patrick Mayer, 37 Jahre alt und in Tübingen geboren, ist seit einem Snowboardunfall im Jahr 2000 inkomplett querschnittsgelähmt und auf Gehhilfen sowie einen Rollstuhl angewiesen. Er beschreibt sich selbst als „Macher“ – als jemand, der Herausforderungen nicht nur überwindet, sondern in produktive Energie umwandelt. Seine eigene Behinderung sei nicht nur Ausgangspunkt, sondern auch tägliche Motivation, technische Lösungen zu entwickeln, die die Mobilität von Menschen mit Behinderungen verbessern.

Aus dieser Motivation entstand sein erstes Produkt: „Wheelblades“, kleine Kufen, die an den Vorderrädern von Rollstühlen oder Kinderwagen befestigt werden und das Fortbewegen im Schnee erleichtern. Mayer begann mit ersten Prototypen, die er selbst baute und im Gelände testete. Das Institut für Produktdesign, Entwicklung und Konstruktion (IPEK) der Fachhochschule Ostschweiz unterstützte später die Weiterentwicklung, sodass daraus ein serienreifes Produkt entstand, das inzwischen mehrfach mit Designpreisen ausgezeichnet wurde.

Der Hauptsitz seiner Firma Wheelblades GmbH liegt in Maienfeld, also strategisch in der Nähe verschiedener Wintersportgebiete. Dort werden alle Komponenten angeliefert und von Mayer persönlich zusammengesetzt. „Made in Switzerland“ sei nicht nur ein Qualitätsversprechen, sondern Ausdruck seiner Haltung: Er möchte die Menschen, die an der Entwicklung und Produktion beteiligt sind, persönlich kennen, um Qualität, kurze Wege und Nutzerorientierung sicherzustellen.

Mayer begann schon als Neunjähriger mit dem Snowboarden; der Traum, Freestyle-Athlet zu werden, führte ihn in die Schweizer Berge an das Hochalpine Institut in Ftan. Nach seinem Unfall kämpfte er sich mit außergewöhnlicher Entschlossenheit zurück: Bereits acht Monate nach der Rehabilitation nahm er als Monoskifahrer an den Winter-Paralympics in Salt Lake City teil.

Seine Erfindung der Wheelblades entstand aus praktischer Erfahrung: Als passionierter Wintersportler störte es ihn, dass es keine Lösung gab, um Rollstühle im Schnee leichter voranzubewegen. Statt sich mit dieser Einschränkung abzufinden, begann er selbst zu konstruieren. Dass er Nutzer und Entwickler zugleich ist, sieht er als zentrale Stärke – ein Prinzip, das auch in aktuellen Forschungsansätzen betont wird: Assistive Technologien werden erfolgreicher, wenn sie konsequent aus der Sicht der Nutzer:innen gestaltet sind (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Mayer arbeitet bereits an weiteren Mobilitätshilfen. Seine Vision formuliert er klar: „Ich träume davon, dass wir alle maximal mobil und flexibel sind – denn Mobilität bringt Lebensfreude zurück.“ Diese Aussage verbindet sich mit einem zentralen technologischen Trend: Mobilitätsunterstützung als integraler Bestandteil persönlicher Autonomie, der zunehmend durch intelligente Systeme, adaptive Mechanik und KI-basierte Hilfe erweitert wird (Ibrahim 2024; Schulze et al. 2021; Huchler et al.).

Für ihn gehören Funktionalität und Design untrennbar zusammen. Produkte müssten ästhetisch ansprechend, intuitiv nutzbar und flexibel einsetzbar sein. Das sind Anforderungen, die auch in der aktuellen Forschung zu inklusivem Design und alltagsnaher Assistenz hervorgehoben werden (Huchler et al. 2020). „Ob mit oder ohne Behinderung – die Menschen wollen heute unkompliziert und flexibel leben“, betont Mayer. Sein Ziel sei, dass Produkte nicht als Sonderlösungen wahrgenommen werden, sondern selbstverständlich in den Alltag integriert sind – ein Ansatz, der auch in der heutigen Entwicklung von Mainstream-Technologien mitgedacht werden sollte (Stowasser et al. 2020).

3D-Druck & Vernetzung

Im 20. Jahrhundert wurden die meisten Medien von wenigen großen Unternehmen produziert und vertrieben. Die Digitalisierung hat diese Produktionsstrukturen grundlegend verändert: Über Smartphones, Computer und das Internet kann heute praktisch jeder Mensch Inhalte erstellen und global verbreiten. Dies ist möglich, weil es sich um vollständig digitale Informationen handelt, die sich leicht kopieren und transformieren lassen.

Demgegenüber stehen materielle Objekte wie Möbel, Kleidung, Küchenutensilien oder technische Hilfsmittel. Deren Produktion ist traditionell an industrielle Infrastrukturen gebunden. Mit dem Aufkommen kostengünstiger 3D-Drucktechnologien entsteht jedoch ein vergleichbares Paradigma wie in der digitalen Medienproduktion: Digitale Baupläne können heruntergeladen, bearbeitet und lokal in physische Objekte überführt werden. Die Transformation von digitalen in analoge Formen findet zunehmend im eigenen Haushalt, in Makerspaces oder in dezentralen Werkstätten statt.

Gerade im Bereich der Prothetik, wo Produkte häufig in kleinen Stückzahlen hergestellt und entsprechend teuer sind, schafft 3D-Druck ein enormes Potenzial. Robotische oder bionische Armprothesen kosten schnell mehrere Zehntausend CHF. Für Kinder, die aufgrund ihres Wachstums jährlich neue Prothesen benötigen, stellt dies eine besondere finanzielle Belastung dar.

Internationale Initiativen wie Open Bionics oder e-NABLE haben daher begonnen, Prothesenkomponenten mithilfe von 3D-Druckern herzustellen und so die Produktionskosten auf wenige Tausend CHF zu senken.

- Open Bionics stellt personalisierte Druckmodelle auch kommerziell bereit.
- e-NABLE vermittelt zwischen Personen mit Bedarf und Menschen oder FabLabs, die über geeignete Drucker verfügen.

Durch Open-Source-Baupläne, die frei verwendet und modifiziert werden können, entsteht eine globale Community, die Designs verbessert, anpasst und weiterentwickelt (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Diese Offenheit ist ein entscheidender Innovationsfaktor: Wie digitale Wissensplattformen (z. B. Wikipedia) von vielen Beteiligten gleichzeitig profitieren, ermöglicht auch offenes Design eine schnelle Evolution funktionaler Lösungen. Darüber hinaus werden Hilfsmittel individuell gestaltbar – etwa Prothesen im Stil von Superhelden- oder Fantasyfiguren, die nicht verborgen, sondern gerne gezeigt werden.

Neben der Prothetik betrifft diese Entwicklung auch Rollstühle, Exoskelette und kleinere Alltagshilfen. Während früher einzelne Tüftler ihre Geräte nur für sich selbst anpassten, ermöglicht heute die globale Vernetzung, dass Ideen, Baupläne und Problemstellungen

gemeinschaftlich weiterentwickelt werden. Dadurch fließt das Erfahrungswissen der Betroffenen frühzeitig in neue technische Lösungen ein. Das ist ein Aspekt, der auch in aktuellen Studien zu partizipativer Entwicklung und nutzerzentriertem Design betont wird (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Gleichzeitig verbindet sich 3D-Druck zunehmend mit weiteren technologischen Trends:

- Generatives Design und KI unterstützen die Optimierung von Bauteilen (Huchler et al.).
- Semantische Produktionssysteme ermöglichen modulare Fertigung (z. B. OPC UA Skills) (Profanter et al. 2021).
- Smarte Materialmodelle und Simulationen helfen, Prothesen ergonomisch und biomechanisch anzupassen (Huchler et al.).
- Vernetzte Open-Source-Communities beschleunigen Innovation durch kollaborative Iteration (Stowasser et al. 2020).

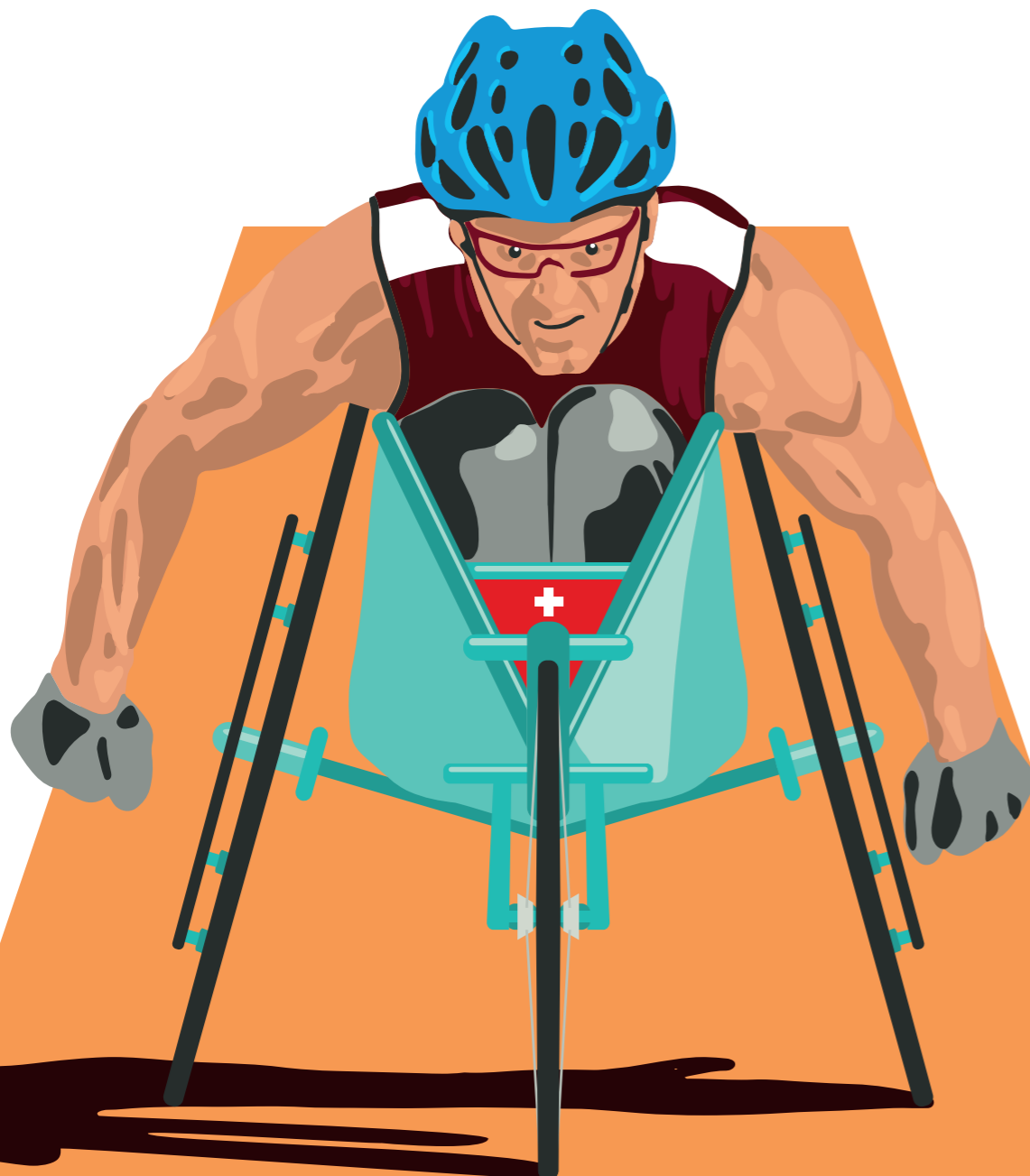
Die Kombination von 3D-Druck, digitalem Wissen, vernetzten Gemeinschaften und nutzerzentrierter Entwicklung eröffnet so neue Wege des Barriereabbaus. Sie ermöglicht nicht nur kostengünstige, funktionale und personalisierte Hilfsmittel, sondern fördert auch die soziale Teilhabe, weil Betroffene selbst zu Gestalter:innen ihrer Technologie werden (Huchler et al. 2020).



Porträt Heinz Frei

„Es geht darum, für alle etwas zu finden, das sie mental stärkt!“

Vor 38 Jahren, während der Vorbereitung auf eine Sportstaffette, verunfallte Heinz Frei schwer und brach sich die Brustwirbelsäule zwischen dem vierten und fünften Wirbel. Was zunächst nach dem Ende einer sportlichen Zukunft aussah, wurde zum Beginn einer außergewöhnlichen Laufbahn: Heute zählt Frei zu den erfolgreichsten Paracycling-Athleten der Schweiz. Er ist ein Vorbild für viele Menschen mit und ohne Behinderung



Als gelernter Vermessungszeichner war es für ihn anfänglich kaum vorstellbar, jemals wieder intensiv Sport treiben zu können. „Im Nachhinein gesehen“, sagt er, „lag das auch daran, dass der Rollstuhlsport in der Schweiz damals quasi noch nicht existierte.“ Aus der Angst heraus, den Zugang zum Sport zu verlieren, wurde er zum Tüftler. Gemeinsam mit einem befreundeten Rollstuhlfahrer baute er an mehreren Samstagnachmittagen in einer Garage seinen ersten Rennrollstuhl – eine Eigenkreation, die ihm neue körperliche Möglichkeiten eröffnete. Der Sport wurde für ihn ein Weg, den Körper wieder zu spüren, Grenzen zu testen und die Freude an Bewegung neu zu entdecken.

Sein Weg zur internationalen Spitze begann 1980, als er in Montreal erstmals Rollstuhlfahrer sah, die einen Marathon absolvierten. Dieses Erlebnis setzte enorme Motivation frei. Vier Jahre später startete Frei bei seinen ersten Paralympischen Spielen; bis heute gewann er 15 Goldmedaillen. 1987 triumphierte er im Marathon von Montreal. 2005 feierte er in Berlin seinen 100. Marathonsieg. Auch mit 58 Jahren blieb er im Spitzensport aktiv: Bei den Paralympischen Spielen in Rio 2016 gewann er Bronze in der Mixed-Staffel der Handbiker und verpasste im Zeitfahren über 20 Kilometer die Medaillen um Hundertstelsekunden.

Die technische Entwicklung der Rollstühle prägte seine Karriere wesentlich. Sein erster Rollstuhl, 1978 von einem Ergotherapeuten angepasst, wog rund 18 Kilogramm und hatte eine starre Rückenlehne. „Seither hat sich zum Glück sehr viel getan“, sagt Frei. Moderne Aktivrollstühle wiegen teils weniger als sechs Kilogramm, sind hochgradig anpassbar und werden zunehmend auch unter ästhetischen Gesichtspunkten gestaltet – ein Trend, der mit einer stärkeren Nutzerorientierung und dem

Verständnis von Hilfsmitteln als Lifestyle-Produkte einhergeht (Huchler et al. 2020). Für viele Nutzer:innen ist dies nicht nur funktional, sondern körperlich gesundheitsrelevant, da der Rollstuhl häufig mehrfach täglich gehoben und transportiert werden muss.

Frei wird regelmäßig von Entwicklern und Firmen kontaktiert, die ihm neue Innovationen zeigen möchten. Diesen Ansatz hebt die aktuelle Forschung als zentral hervor: Betroffene sollten aktiv in Entwicklungsprozesse eingebunden werden, um praxisnahe und bedarfsgerechte Lösungen zu ermöglichen (Stowasser et al. 2020). Für ihn ist klar: „Nur wenn Nutzer früh beteiligt sind, gelingen Entwicklungen, die im Alltag wirklich funktionieren.“

Heute arbeitet er als Coach und Mentor am Schweizer Paraplegiker-Zentrum in Nottwil. Er sieht seine Aufgabe darin, Betroffenen, ohne falsche Erwartungen, Perspektiven aufzuzeigen: „Ich weiß, dass ich aus Sportmuffeln keine Spitzensportler machen kann. Und nicht alle sind physisch überhaupt in der Lage, Sport auszuüben.“ Ihm gehe es vielmehr darum, die individuellen Stärken eines Menschen zu erkennen und Wege aufzuzeigen, wie diese genutzt werden können.

„Es geht darum, für alle etwas zu finden, das sie mental stärkt“, betont Frei. Dieser Ansatz deckt sich mit modernen Rehabilitations- und Empowerment-Konzepten, die psychische Stabilisierung, Motivation und Selbstwirksamkeit als zentrale Bausteine der Teilhabe begreifen (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020). Voraussetzung dafür ist jedoch immer die aktive Mitarbeit der Betroffenen. Es benötigt ein Zusammenspiel von persönlichem Engagement und technischer Unterstützung, das Frei selbst exemplarisch verkörpert.

Gesellschaftliche Anforderungen

In dieser Studie verstehen wir Behinderung als Diskrepanz zwischen individuellen Fähigkeiten und den Anforderungen von Umwelt und Gesellschaft. Neue Technologien können diese Diskrepanz auf zwei grundsätzliche Weisen beeinflussen:

1. Stärkung individueller Fähigkeiten

Etwa durch Prothesen, Exoskelette, Kommunikationshilfen, BCI oder kognitive Assistenzsysteme, die Handlungsspielräume erweitern (Buson 2023; Schulze et al. 2021; Huchler et al.).

2. Absenkung oder Umgestaltung von Umwelthanforderungen

Zum Beispiel durch barrierefreie Informationssysteme, Smart Homes, selbstfahrende Fahrzeuge, digitale Kommunikationsformen und KI-gestützte Assistenz, die weniger körperliche oder sensorische Voraussetzungen verlangen (Ibrahim 2024; Profanter et al. 2021; Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Auf diese Weise können Technologien Behinderung reduzieren, indem sie entweder Menschen flexibler machen oder die Umwelt „freundlicher“ gestalten. Zugleich können sie neue Formen von Behinderung erzeugen, etwa wenn digitale Dienste Präsenz vor Ort voraussetzen, bestimmte kognitive Fähigkeiten erfordern oder nur für Menschen nutzbar sind, die über passende Geräte, Kompetenzen und finanzielle Ressourcen verfügen (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Beispiele:

- Menschen, die sich selbst als empfindlich gegenüber elektromagnetischer Strahlung beschreiben, erleben in einer durchfunkten Umwelt Einschränkungen, die es früher in dieser Form nicht gab.
- Die Verlagerung vieler sozialer Interaktionen in textbasierte Chats, soziale Medien oder Messenger kann für blinde oder sehbehinderte Menschen zu neuen Ausschlüssen führen, wenn Barrierefreiheit unzureichend umgesetzt ist.
- Wenn Banken oder Verkehrsbetriebe analoge Schalter schließen und Dienstleistungen nur noch digital oder über Automaten anbieten, entstehen neue Barrieren für Menschen mit kognitiven, motorischen oder sensorischen Einschränkungen.

Technologie ist damit nicht einfach „die Lösung“, sondern trägt immer auch zur Veränderung des Normals bei.

Hohe Erwartungen und Normierungsdruck

Neue Technologien verändern, was als „normal“ und „machbar“ gilt. Sie können Behinderung nicht nur verringern, sondern auch neu definieren oder verschärfen, indem Erwartungen steigen:

- Leistungssteigerung durch Medikamente, Neurostimulation oder digitale Tools kann zu einem impliziten Enhancement-Druck führen (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020). Wer nicht „optimiert“, fällt möglicherweise zurück und wird als „nicht leistungsfähig genug“ betrachtet.
- In solchen Kontexten besteht die Gefahr, dass Menschen, die sich Enhancement verweigern oder es sich nicht leisten können, unabhängig von einer medizinischen Diagnose, als „defizitär“ oder „behindert“ wahrgenommen werden.

Auch infrastrukturelle Lösungen können unbeabsichtigte Exklusionseffekte haben. Das Beispiel des Eurokey-Systems für Lifte zeigt, wie eine an sich sinnvolle Technologie Zugänge neu reguliert: Bestimmte Lifte sind nur noch mit Speziälschlüssel nutzbar. Wer keinen Schlüssel besitzt oder ihn motorisch nicht bedienen kann, wird ausgeschlossen, obwohl er zuvor aufgrund eines allgemein zugänglichen Lifts relativ selbstständig mobil sein konnte.

Solche Beispiele verdeutlichen:

- Technologien können oft gleichzeitig für unterschiedliche Gruppen inkludieren und exkludieren.
- Sätze wie „Das kann man heute ja lösen“ oder „Jetzt gibt es keine Ausrede mehr“ spiegeln einen gesellschaftlichen Normierungsdruck wider, der die Vielfalt individueller Situationen und Grenzen ausblendet.

Der Wunsch, Prothesen oder Hilfsmittel zu verstecken, verweist ebenfalls auf gesellschaftliche Normen. In einer Umgebung, in der Diversität anerkannt und sichtbar gelebt wird, wären möglicherweise, statt möglichst unsichtbarer Anpassungen, eher offen sichtbare, gestaltete und sogar betonte Hilfsmittel attraktiv (Huchler et al. 2020).

Die Verantwortung, solche Effekte mitzudenken, liegt nicht nur beim Staat, sondern auch bei Unternehmen, Forschungsinstitutionen und Designteams. Ein frühzeitiger Einbezug von Menschen mit Behinderungen in Konzeption und Entwicklung kann die Zahl derjenigen, die von neuen Lösungen ausgeschlossen werden, deutlich verringern (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Zugänglichkeit Finanzierung

Viele Menschen mit Behinderungen warten nicht primär auf „die neueste Spitzeninnovation“, sondern benötigen zuallererst Zugang zu bestehenden Technologien.

Das geschieht durch:

- bezahlbare Finanzierung,
- verständliche und verlässliche Bedienbarkeit,
- ausreichende Betreuung und Anpassung,
- sowie gute Information über vorhandene Optionen (Stowasser et al. 2020).

Technologien der Spitzentechnik, etwa robotische Prothesen, Exoskelette, komplexe Kommunikationshilfen oder KI-gestützte Assistenzsysteme, sind zu Beginn häufig teuer. Solche „State of the Art“-Lösungen spielen dennoch eine wichtige Rolle: Sie bereiten spätere Massenprodukte vor, deren Preise nach und nach sinken (Huchler et al.).

Gleichzeitig entstehen Spannungsfelder:

- Sozialversicherungen stehen unter finanziellem Druck und müssen definieren, was als Grundbedarf und was als Luxus gilt.
- Individuen erleben diese Grenzen oft als willkürlich, insbesondere wenn Standardgeräte (z. B. Tablets) nicht erstattet werden, während teure Spezialgeräte finanziert werden, weil sie nicht als Alltagsgegenstände gelten.

Prothesen für Freizeit- oder Leistungssport werden häufig nicht übernommen und als „nicht notwendig“ klassifiziert, obwohl sie für körperliche und psychische Gesundheit sowie soziale Teilhabe bedeutsam sein können (Schulze et al. 2021). Ähnliche Fragen stellen sich für Hilfsmittel wie Schwimmprothesen, Outdoor-Rollstühle oder angepasste Fahrräder.

Langfristig sind Folgekosten relevant: Wer sich dank Hilfsmitteln bewegen, Sport treiben und soziale Kontakte pflegen kann, reduziert das Risiko sekundärer Erkrankungen (Dekubitus, Adipositas, Depression etc.). Diese Nutzen werden im aktuellen System jedoch nur teilweise oder versetzt sichtbar (Stowasser et al. 2020).

Betreuung und technische/ pädagogische Kompetenz

Technik allein genügt nicht. Viele Systeme, insbesondere Kommunikationshilfen, komplexe Apps oder Smart-Home-Integrationen, erfordern:

- Anpassung an individuelle Fähigkeiten,
- Schulung der Nutzer:innen,
- und Begleitung durch Fachpersonen.

Hier zeigen sich mehrfach „Lücken“:

- Techniker:innen kennen oft die Bedarfe von Menschen mit Behinderungen zu wenig.
- Pflege- und Betreuungspersonen sind häufig nicht ausreichend mit Technik vertraut.
- Schnittstellenlösungen (z. B. Bedienung eines Smartphones über einen Rollstuhl-Joystick) sind selten und außerhalb spezialisierter Fachstellen kaum bekannt (Stowasser et al. 2020).

Die Suche nach Fachpersonen, die sowohl pädagogisches, pflegerisches als auch technisches Know-how besitzen, wird als zentrale Herausforderung beschrieben. Das ist ein Problem, das auch in neueren Analysen zu sozio-technischen Transformationsprozessen betont wird (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Hinzu kommt die hohe Veränderungsdynamik digitaler Geräte: Updates, Modellwechsel und Schnittstellenänderungen können dazu führen, dass mühsam eingerichtete Assistenzsysteme plötzlich nicht mehr funktionieren und neu konfiguriert werden müssen (Huchler et al.).

Information und Vernetzung

Der Markt für Hilfsmittel und Assistenztechnologien ist unübersichtlich. Einzelpersonen (selbst Fachpersonen) können kaum den Überblick über alle Geräte, Apps und Anpassungsmöglichkeiten behalten. Daher gewinnen Netzwerke und Plattformen an Bedeutung:

- Patient:innenorganisationen,
- Fachgesellschaften,
- Rehaeinrichtungen,
- Foren und Online-Communities.

Sie dienen als Informationsquellen, Austauschforen und Inspirationsräume. Gleichzeitig besteht weiterhin Bedarf an niedrigschwelligen, behinderungsübergreifenden Überblicksangeboten, die aktuelle, verständliche und ergänzbare Informationen zu Hilfsmitteln bereitstellen – etwa in Form kollaborativer Webtools (Stowasser et al. 2020).

Vorbilder und Peer-Kontakte, wie in Sportvereinen, Rollstuhlclubs oder Online-Gruppen, haben eine wichtige motivationale Funktion: Sie zeigen, was möglich ist, geben praktische Tipps und unterstützen beim Aufbau von Selbstvertrauen (Schulze et al. 2021; Stowasser et al. 2020).

Inklusion

Technologie kann Inklusion auf mehreren Ebenen fördern:

- 1. Funktionale Inklusion**
durch Unterstützung von Mobilität, Kommunikation, Wahrnehmung und kognitiver Organisation (Buson 2023; Schulze et al. 2021; Huchler et al.).
- 2. Soziale Inklusion**
durch Anschluss an digitale Kommunikationsformen, sozialen Austausch, Freizeitangebote und Bildung (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).
- 3. Symbolische Inklusion**
durch sichtbar gestaltete Hilfsmittel, die Stärke und Kompetenz statt Defizit signalisieren (Huchler et al. 2020).

Schon vergleichsweise einfache Anwendungen wie Videotelefonie (z. B. „FaceTime“) oder Chat-Apps ermöglichen Menschen mit Sprach- oder Bewegungsbeeinträchtigungen, bspw. über Mimik, Gestik oder unterstützte Kommunikation, neue Formen des Kontakts. Voraussetzung ist, dass Umfeld, Betreuung und Technik diese Nutzungsformen akzeptieren und unterstützen (Stowasser et al. 2020).

Inklusion bedeutet dabei nicht nur, an „positiven“ Interaktionen teilhaben zu können, sondern auch das Recht auf Ambivalenz: Menschen mit Behinderungen sollen genauso widersprechen, fluchen oder nerven dürfen wie alle anderen. Assistive Kommunikationssysteme müssen daher auch negative oder kritische Äußerungen ermöglichen (Huchler et al. 2020). Das Bedürfnis, „normale“ Geräte wie Smart-

phones, Tablets oder Standard-Software zu verwenden, ist eng mit Inklusion verknüpft. **Mainstream-Geräte** gelten als Ausdruck von Zugehörigkeit, während spezielle „Behindertengeräte“ oft als stigmatisierend erlebt werden (Huchler et al. 2020). Design, Leichtbau und Ästhetik von Hilfsmitteln tragen dazu bei, wie diese im Alltag wahrgenommen und erlebt werden (Schulze et al. 2021; Huchler et al.).

Was als „behindert“ gilt, ist kulturell und historisch variabel. Beispiele wie Brillen, Zahnsparren oder (in Zukunft möglicherweise) Hörgeräte zeigen, dass Hilfsmittel ihren Stigma-Charakter verlieren können, wenn sie verbreitet sind, modisch gestaltet werden oder Vorteile bieten (Huchler et al. 2020).

Sichtbare Vorbilder (Paralympics-Athlet:innen, Unternehmer:innen oder Aktivist:innen) können hierzu beitragen, indem sie Hilfsmittel offen zeigen, erklären und positiv besetzen. Gleichzeitig bleibt zentral: Inklusion entsteht nicht allein durch Technik, sondern vor allem durch Kontakt, gemeinsame Aktivitäten und geteilte Räume (Stowasser et al. 2020; Huchler et al. 2020).

Porträt Mirco Eisenegger und Jonas Brändli

„Wenn ich mein Handy nicht bedienen könnte – das wäre eine Katastrophe!“

Mirco Eisenegger und Jonas Brändli, beide von Duchenne-Muskeldystrophie betroffen und weitgehend gelähmt, wollen mithilfe von Technik selbstbestimmt bleiben, stoßen im Alltag aber immer wieder an Grenzen.



„Seht ihr, es funktioniert nicht!“ – Mirco Eisenegger ist hörbar frustriert. Auf seinem iPhone, das an einer Halterung an der rechten Rollstuhllehne befestigt ist, liest eine synthetische Stimme in viel zu hohem Tempo eine Suchergebnis-Seite vor. Das Gerät ist so eingerichtet, dass er es über den Joystick seines Elektrorollstuhls bedienen und damit Rollstuhl, Fernseher, Computer und andere Geräte im Zimmer steuern kann. Theoretisch. „Aber das klappt nur auf dem Papier, ständig fällt das Interface aus“, sagt er. „Obermühsam!“

Neben ihm sitzt Jonas Brändli. Er nutzt das System Easy Rider, mit dem er über vier Taster an der Kopfstütze seinen Rollstuhl steuert und zusätzlich Türen, den Lift oder Lichtschalter bedienen kann. „Bei mir funktioniert das ganz gut“, sagt er, aber auch er findet, dass technische Hilfsmittel im Alltag „oft unzuverlässig“ sind.

Beide Männer sind seit Kindheit im Rollstuhl, Mirco seit dem neunten, Jonas seit dem elften Lebensjahr. Sie leben in einer Wohneinrichtung und können ihren Körper nur noch sehr begrenzt aktiv bewegen. Trotz der schweren Muskeldystrophie ist ihnen eines besonders wichtig: möglichst viel Selbstständigkeit im Alltag. Das zeigt sich insbesondere bei scheinbar einfachen Dingen wie Türen öffnen, ein Gerät ein- oder ausschalten oder spontan mit anderen kommunizieren.

„Die technischen Geräte haben einen sehr großen Einfluss auf meinen Alltag“, sagt Mirco. „Wenn ich mein Handy nicht bedienen könnte, wäre das eine Katastrophe.“ Das Smartphone ist für ihn Kommunikationsmittel, Fernbedienung, Informationsquelle und Zugang zur Außenwelt zugleich. Entsprechend groß ist die Enttäuschung, wenn Systeme nicht wie vorgesehen funktionieren oder bei Änderungen an der Software plötzlich ausfallen.

Hinzu kommt die Limitierung durch grundlegende Hardware: Mirco unternimmt gerne selbstständige Ausflüge in die Stadt; die Batterie seines Rollstuhls reicht für rund 30 Kilometer. „Aber dann braucht sie neun Stunden zum Aufladen – zu lange, ich schlafe nur sieben“, sagt er. Moderne Akkutechnologien

könnten dieses Problem technisch lösen, sind in der für ihn nötigen Konfiguration aber kaum finanzierbar.

Ein zweites, strukturelles Problemfeld ist der Mangel an Unterstützung bei komplexeren Technologien. In Mircos Zimmer steht ein Prototyp des QuadStick: eines Mund-Joysticks, mit dem sich Spielkonsolen oder Computer über Pusten, Saugen und kleine Bewegungen von Zunge oder Kinn bedienen lassen. Damit könnte er schnelle, komplexe Spiele steuern oder auch Arbeiten am Computer erledigen. „Das Gerät wäre mega“, sagt er. „Aber niemand hier kann es programmieren.“ Der Entwickler mit dem nötigen Know-how sitzt in einem anderen Land und erwartet eine entsprechend bezahlte Dienstleistung. Für Mirco allein ist die Einrichtung ohne technische Unterstützung kaum zu bewältigen.

Solche Beispiele zeigen, wie groß die Kluft zwischen technischer Möglichkeit und praktischer Nutzbarkeit sein kann: Die Hardware existiert, die theoretischen Schnittstellen sind vorhanden, aber es fehlen Personen oder Strukturen, die die Systeme einrichten, anpassen und bei Problemen nachjustieren. Genau diese Lücke wird auch in anderen Teilen der Studie als Kernproblem beim Einsatz moderner Technologien benannt: Technik, die nicht verlässlich funktioniert oder nicht betreut wird, verschärft Frustration statt Autonomie.

Trotz aller Rückschläge bleiben beide optimistisch. Mirco ist überzeugt, dass zukünftige Innovationen, etwa intelligenter Rollstühle, robustere Schnittstellen und vielleicht Brain-Computer-Interfaces, das Leben mit Duchenne spürbar erleichtern werden. Jonas teilt diese Hoffnung. Für beide ist klar: Sie wollen so viel wie möglich von dem nutzen, was technisch möglich ist und gleichzeitig sichtbar machen, wo Systeme im Alltag noch scheitern und angepasst werden müssen.

Fazit

Die langfristigen technologischen Entwicklungen im Bereich Robotik, KI, Neurotechnologie und digitaler Assistenzsysteme eröffnen Szenarien, die noch vor wenigen Jahrzehnten unvorstellbar schienen. In einer fernen Zukunft könnte es möglich sein, dass Menschen mit Querschnittslähmungen wieder gehen, weil neuronale Signale über implantierte Schnittstellen erfasst, über Nanoroboter verstärkt und auf ein Exoskelett übertragen werden. Ein solches Exoskelett könnte äußerlich kaum von Kleidung zu unterscheiden sein und temporär eingesetzt werden, bis Regenerationsprozesse im Nervensystem abgeschlossen sind. Ähnliche Ansätze werden bereits heute erforscht (Buson 2023), etwa wenn Hirnsignale genutzt werden, um Roboterarme oder Mobilitätshilfen zu steuern, jedoch befinden sich diese Methoden noch in frühen Stadien und sind von einer alltagsnahen Anwendung weit entfernt.

Doch selbst wenn sich körperliche Behinderungen technologisch immer besser kompensieren lassen, bleibt offen, wie sich psychische und kognitive Einschränkungen entwickeln lassen. Trotz Fortschritten in der klinischen Neurotechnologie verstehen wir die funktionale Organisation des Gehirns weiterhin nur bruchstückhaft. Während KI-Systeme inzwischen in der Lage sind, Muster in neuronalen Signalen zu erkennen, erlaubt dies noch keine tiefgreifende oder zuverlässige Modulation mentaler Zustände. Visionen von Nanorobotern, die depressive Episoden unterbrechen oder kognitive Fähigkeiten steigern, bleiben derzeit spekulativ. Auch die Annahme,

dass hochentwickelte Assistenzsysteme Wünsche und Bedürfnisse von Menschen mit schweren geistigen Behinderungen zuverlässig „erkennen“ könnten, stößt an technische und ethische Grenzen (Ibrahim 2024; Albu-Schäffer et al. 2023).

Die technische Anpassung des Individuums, häufig kritisch als „Reparatur“ bezeichnet, ist nur ein möglicher Weg, um Benachteiligungen zu reduzieren. Ebenso bedeutend ist der Abbau von Umweltbarrieren: bauliche Zugänglichkeit, digitale Barrierefreiheit, barrierefreie Mobilitätskonzepte oder sozialräumliche Inklusion. Viele Entwicklungen entstehen dabei indirekt: Selbstfahrende Fahrzeuge (Ibrahim 2024) oder umfassend vernetzte Umgebungen (Stowasser et al. 2020) werden nicht primär für Menschen mit Behinderungen entwickelt, können ihnen aber dennoch erheblich zugutekommen. Ebenso hat gesellschaftlicher Wohlstand dazu geführt, dass Menschen mit Behinderungen heute länger und selbstbestimmter leben können als noch vor wenigen Jahrzehnten.

Gleichzeitig wird deutlich, dass sich nicht alle Ungleichheiten vollständig auflösen lassen. Die zentrale Frage lautet daher nicht, ob wir Benachteiligungen tolerieren, sondern welche und auf welcher Grundlage wir entscheiden, welche Unterstützungsformen gesellschaftlich garantiert werden sollen. Wo verläuft die Grenze zwischen Grundbedürfnis und Luxus? Wie weit darf oder muss individuelle Anpassung zumutbar sein? Mit der Verbreitung einfach nutzbarer Exoskelette oder hoch-

präziser Sensorimplantate könnten sich solche Zumutbarkeitsgrenzen verschieben. Doch jede Anpassung muss sich an Fragen der Würde, körperlichen Integrität, Zumutbarkeit und Sicherheit messen lassen. Das ist ein Aspekt, der in der Forschung zu autonomen Assistenzsystemen und KI-Systemen immer stärker diskutiert wird (Ibrahim 2024; Albu-Schäffer et al. 2023).

Besonders heikel sind technologische Eingriffe ins mentale Erleben. Wenn implantierte Systeme Entscheidungen vorwegnehmen oder Verhalten modulieren, stellt sich die Frage, in welchem Umfang Menschen noch als autonom gelten. Moderne Alltagstechnologien, von algorithmischen Empfehlungssystemen bis zu digitalem Assistenzverhalten, nehmen bereits heute Einfluss auf Entscheidungen, ohne dass dies als Autonomieverlust empfunden wird (Stowasser et al. 2020). Gleichzeitig zeigt die Forschung zu Mensch-Maschine-Interaktionen, dass fehlende Transparenz und unklare Verantwortlichkeiten das Vertrauen in solche Systeme erheblich beeinträchtigen (Ibrahim 2024; Albu-Schäffer et al. 2023). Für Menschen, die selbst keine informierte Entscheidung über technische Eingriffe treffen können, stellen sich diese Fragen noch dringlicher.

Auch wenn Konzepte wie Gehirn-Nanoroboter oder gedankenlesende Exoskelette heute lediglich spekulative Möglichkeiten darstellen, können sie dabei helfen, ethische Leitlinien für den Umgang mit zukünftigen Technologien vorzubereiten. Entscheidungen über den

Einsatz solcher Technologien dürfen nicht allein technologisch getrieben sein. Sie sind untrennbar mit gesellschaftlichen Werten verbunden: dem Schutz der Autonomie, der Wahrung der Würde und der Inklusion aller Menschen – unabhängig von technischen Möglichkeiten oder persönlichen Fähigkeiten (Huchler et al. 2020).

Gleichzeitig zeigt die Gegenwart, dass wir auf zukünftige Durchbrüche nicht warten müssen. Zahlreiche Technologien existieren bereits heute, deren Potenziale bei weitem nicht ausgeschöpft sind: intelligente Rollstühle, adaptive Bedienoberflächen (Schulze et al. 2021; Huchler et al. 2020), KI-gestützte Kommunikationshilfen (Buson 2023) oder Smart-Home-Lösungen (Stowasser et al. 2020). Ihr Nutzen hängt weniger von ihrer technischen Leistungsfähigkeit ab als von ihrer Zugänglichkeit, Finanzierung, pädagogischen Begleitung und gesellschaftlichen Akzeptanz. Technologie kann den Alltag erleichtern, doch die Bereitschaft, sie sinnvoll einzusetzen und an individuelle Bedürfnisse anzupassen, muss in der Gesellschaft selbst entstehen.

Am Ende bleibt festzuhalten: Der Weg zu einer inklusiven Zukunft führt nicht allein über spektakuläre Innovationen, sondern ebenso über soziale, politische und kulturelle Entscheidungen. Technologie kann Barrieren abbauen, doch ob sie dies tatsächlich tut, hängt davon ab, wie wir sie gestalten, für wen wir sie gestalten und wie wir gesellschaftlich auf ihre Möglichkeiten reagieren.

daaap eröffnet neue Wege beruflicher Teilhabe.

MACHEN SIE MIT!



Digitale Technologien verändern grundlegend, wie Arbeit organisiert, gelernt und gestaltet wird. Was in vielen Unternehmen als Effizienzthema beginnt, ist für die berufliche Inklusion eine echte Chance: Digitale Lösungen können Barrieren reduzieren, Tätigkeiten passgenauer zuschneiden und neue Arbeitsmodelle ermöglichen – vom barrierearmen Lernen über unterstützende Assistenzsysteme bis hin zu hybriden Arbeitsplätzen und digital gestützten Prozessen in Produktion, Dienstleistung und Verwaltung.

Gerade Werkstätten für behinderte Menschen und Inklusionsunternehmen stehen dabei an einer entscheidenden Schnittstelle: Sie schaffen konkrete Teilhabemöglichkeiten, entwickeln Qualifizierung, gestalten Übergänge und sind nah an den Bedarfen von Menschen mit Behinderungen. Digitale Lösungen eröffnen hier neue Wege – aber sie lassen sich selten „nebenbei“ einführen. Es braucht Orientierung, Praxiserfahrung, geeignete Partner, belastbare Use Cases und ein Netzwerk, das Wissen teilt, statt dass jede Organisation dieselben Fragen einzeln beantworten muss.

Genau an diesem Punkt setzt das daaap-Netzwerk an. Der zentrale Mehrwert: Austausch auf Augenhöhe und Zusammenarbeit, die konkrete Ergebnisse möglich macht. Wenn Werkstätten und Inklusionsunternehmen ihr Erfahrungswissen bündeln, entsteht Geschwindigkeit – bei der Auswahl von Tools, bei der barrierearmen Umsetzung, bei Sicherheits- und Datenschutzfragen und vor allem bei der Frage: Was funktioniert im Alltag tatsächlich? Was lohnt sich – und was eher nicht? Dieser offene, praxisnahe Dialog spart Zeit, reduziert Risiken und schafft die Grundlage für nachhaltige Digitalisierung, die Teilhabe wirklich stärkt.

Dass dieses Konzept trägt, zeigt die Dynamik des Netzwerks: Bereits mehr als 140 Organisationen sind Teil von daaap – und das, obwohl daaap noch jung ist und erst 2023 gestartet hat. In kurzer Zeit ist viel entstanden, weil die Bedarfe klar sind und weil die Mitglieder die Entwicklung aktiv mitgestalten.

daaap steht dabei nicht nur für Vernetzung, sondern für konkrete Unterstützung. Wir haben IT-Berater, die bei Implementierungen von Lösungen helfen, wir verleihen Testgeräte an Mitglieder, die erstmal etwas ausprobieren wollen, wir entwickeln gemeinsam Produkte, die Werkstätten helfen, wir beraten bei Förderanträgen und wir organisieren Exkursionen zu Messen, Herstellern, Forschungseinrichtungen und Werkstätten.

All das verfolgt ein gemeinsames Ziel: neue Wege der beruflichen Teilhabe zu eröffnen – mit digitalen Mitteln, aber vor allem mit gemeinsamem Lernen und handfester Umsetzung. Digitalisierung wird damit nicht zum Selbstzweck, sondern zum Hebel für mehr Selbstbestimmung, bessere Arbeitsgestaltung und neue Übergänge in den allgemeinen Arbeitsmarkt.

daaap ist offen für neue Mitglieder, die diese Entwicklung mittragen und mitgestalten wollen. Wenn Sie als Werkstatt oder Inklusionsunternehmen digitale Chancen für Teilhabe nutzen, Erfahrungen teilen und gleichzeitig von einem starken Netzwerk profitieren möchten, dann ist jetzt ein guter Zeitpunkt einzusteigen. Wenn Sie interessiert sind, dann schreiben Sie uns einfach an info@daaap.net eine Mail. Gemeinsam können wir Veränderung möglich machen.

Marc Brüggemann

Geschäftsführer der Sozialwerk St. Georg LenneWerk gGmbH und der georgs.plus gGmbH, sowie Mitglied im Vorstand des daaap-Netzwerks

Die Autoren der aktuellen Überarbeitung



Dr. Raimund Schmolze-Krahn leitet die Geschäftsstelle des Netzwerks für digitale Assistenzsysteme am Arbeitsplatz e.V. (daaap), er ist Geschäftsführer der syndeum GmbH und Vorstand des Inclusion Technology Lab e.V. Er verbindet Innovations- und Transferkompetenz mit konkreter Umsetzungserfahrung, insbesondere in der Einführung digitaler Assistenzsysteme und Assistenzrobotik in inklusiven Arbeitskontexten.



Carlo Weidemann forscht an der RWTH Aachen University am Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR) im Themenfeld Robotik und Mechatronik. Sein Schwerpunkt liegt auf der Mensch-Roboter-Kollaboration sowie auf kollaborativen Arbeitsplätzen, die Menschen mit Behinderungen im Arbeitsleben unterstützen und neue, inklusive Einsatzmöglichkeiten eröffnen.



Jonas Einck eine sozialwirtschaftliche Perspektive in die Publikation ein. Er ist Mitglied des Kuratoriums der Diakonie Düsseldorf, verfügt über einen Hintergrund in Sozialer Arbeit sowie im Management sozialwirtschaftlicher Organisationen und befasst sich mit den organisatorischen, kulturellen und praktischen Voraussetzungen, unter denen Technologie im Alltag Teilhabe ermöglichen kann.

Gemeinsam vereint das Autorenteam technologische Tiefe, sozialwirtschaftliche Umsetzbarkeit und praxisorientierten Transfer. Das erfolgt mit dem Ziel, Assistenzrobotik so zu gestalten, dass sie in realen Arbeitsumgebungen wirksam zur beruflichen Teilhabe beiträgt.

Ein besonderer Dank gilt auch den Autor:innen der ursprünglichen Studie Jakub Samochowiec und Angela Schmidt und dem Gottlieb Duttweiler Institute für die Bereitstellung und Ermöglichung der Aktualisierung der Studie.

Literaturverzeichnis

Albu-Schäffer, Alin; Huchler, Norbert; Kessler, Ingmar; Lay, Florian; Perzylo, Alexander; Seidler, Michael et al. (2023): Soziotechnisches Assistenzsystem zur lernförderlichen Arbeitsgestaltung in der robotergestützten Montage. In: Gr Interakt Org 54 (1), S. 79–93. DOI: 10.1007/s11612-023-00668-7.

Buson, Elisa (2023): Roboter zur Unterstützung von Menschen mit Behinderungen: Die Steuerung erfolgt mit den Augen, Gehirnwellen und 2 Algorithmen. Hg. v. TicinoScienza. Online verfügbar unter <https://www.ticinoscienza.ch/de/news.php?roboter-zur-unterstuetzung-von-menschen-mit-behinderungen-die-steuerung-erfolgt-mit-den-augen-gehirnwellen-und-zwei-algorithmen>, zuletzt aktualisiert am 24.11.2023, zuletzt geprüft am 09.12.2025.

Huchler, Norbert (2022): Komplementäre Arbeitsgestaltung. Grundrisse eines Konzepts zur Humanisierung der Arbeit mit KI. In: Z. Arb. Wiss. 76 (2), S. 158–175. DOI: 10.1007/s41449-022-00319-5.

Huchler, Norbert; Adolph, Lars; Andre, Elisabeth; Bauer, Wilhelm; Bender, Nadine; Neuburger, Rahild et al. (2020): Kriterien für die Mensch-Maschine-Interaktion bei KI. Ansätze für die menschengerechte Gestaltung in der Arbeitswelt. Hg. v. Plattform Lernende Systeme. Online verfügbar unter https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG2_Whitepaper2_220620.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2025.

Huchler, Norbert; Kessler, Ingmar; Lay, Florian; Perzylo, Alexander; Seidler, Michael; Steinmetz, Franz: Empowering Workers in a Mixed Skills Concept for Collaborative Robot Systems. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1616960/1616960.pdf>.

Ibrahim, Sara (2024): Von Drohnen gesteuerter Schweizer Rollstuhl zeigt Potenzial und Probleme von KI. Hg. v. SWI swissinfo.ch. Online verfügbar unter <https://www.swissinfo.ch/ger/wissenschaft/von-drohnen-gesteuerter-schweizer-rollstuhl-zeigt-potenzial-und-probleme-von-ki/87707621>, zuletzt aktualisiert am 14.10.2024, zuletzt geprüft am 09.12.2025.

Profanter, Stefan; Perzylo, Alexander; Rickert, Markus; Knoll, Alois (2021): A Generic Plug & Produce System Composed of Semantic OPC UA Skills. In: IEEE Open J. Ind. Electron. Soc. 2, S. 128–141. DOI: 10.1109/OJIES.2021.3055461.

Schäfer, Philipp Matthias; Steinmetz, Franz; Schneyer, Stefan; Bachmann, Timo; Eiband, Thomas; Lay, Florian Samuel et al. (2020 - 2021): Flexible Robotic Assembly Based on Ontological Representation of Tasks, Skills, and Resources. In: Esra Erdem, Meghyn Bienvenu und Gerhard Lakemeyer (Hg.): Proceedings of the Eighteenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 18th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning {KR-2021}. Hanoi, Vietnam, 11/12/2020 - 11/18/2021. California: International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization, S. 702–706.

Schulze, Hartmut; Bendel, Oliver; Schubert, Maria; Binswanger, Mathias; Simmler, Monika; Reimer, Ricarda T.D. et al. (2021): Soziale Roboter, Empathie und Emotionen - Eine Untersuchung aus interdisziplinärer Perspektive.

Stowasser, Sascha; Suchy, Oliver; Huchler, Norbert; Müller, Nadine; Peissner, Matthias; Stich, Andrea et al. (2020): Einführung von KI-Systemen in Unternehmen. Hg. v. Plattform Lernende Systeme. Online verfügbar unter https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG2_Whitepaper_Change_Management.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2025.



Impressum

April 2026
 Netzwerk für digitale Assistenzsysteme
 am Arbeitsplatz e.V. (daaap)
 Rüngsdorfer Str. 35, 53173 Bonn
www.daaap.net

Illustrationen: Alain LAIN Schibli
 Design: enven - Sven Aufvenne