



Impulspapier

Adaptation von Technik an den Menschen zur Förderung der Technologieadoption und technologischer Souveränität

Bedeutung für eine moderne Volkswirtschaft
am Beispiel der Robotik

Rat für technologische Souveränität

Hinweis

Die Veröffentlichung des Rats für technologische Souveränität gibt nicht notwendigerweise die Meinung des BMBF wieder.

Einleitung

Maßnahmen zur Sicherung der technologischen Souveränität¹ stehen zunehmend im Mittelpunkt politischer Diskussionen². Vorrangig adressiert werden hierbei Konzepte zur Reduzierung von als kritisch eingestuften, einseitigen internationalen Abhängigkeiten sowie zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit in Schlüsseltechnologien wie beispielsweise Mikroelektronik, Kommunikationstechnologien, Energietechnik oder Künstlicher Intelligenz (KI). Ihre Kritikalität für aktuelle und zukünftige standortrelevante Anwendungsfelder ist dabei ein wichtiges Argument³. Damit die Technologien ihre sozioökonomische Wirkung entfalten und zur Sicherung technologischer Souveränität beitragen können, ist Verfügbarkeit allein nicht ausreichend. Eine moderne Volkswirtschaft muss die Fähigkeit aufweisen, neue Technologien in Arbeits- und Lebenswelten zu adoptieren. Darunter ist die Akzeptanz, Integration und Nutzung einer neuen Technologie in einem bestimmten Umfeld zu verstehen. Sie beinhaltet neben der schon jetzt umfangreich adressierten Technologieakzeptanz auch deren mehrwertstiftende Nutzung. Der Rat für technologische Souveränität weist darauf hin, dass die Fähigkeit einer Gesellschaft zur Technologieadoption vor dem Hintergrund technologischer Souveränität bisher nicht ausreichend untersucht wurde. Insbesondere im wichtigen Anwendungsfeld der Robotik

kann neben der strategischen Entwicklung von Kompetenzen die Fähigkeit zur Technologieadoption in Arbeits- und Lebenswelten von großer Bedeutung sein. Im Zentrum steht hier der Prozess der aktiven Adaptation, spezieller der Fähigkeit von Technik zur Anpassung an den Menschen. Deren Gestaltung ist wichtig für die Adoption und kann somit zur Erreichung der technologischen Souveränität in Anwendungsfeldern der Robotik in Arbeits- und Lebenswelten beitragen (siehe Abbildung 1). Dabei ist die Adaptation von Technik an den Menschen als ein aktiver Prozess zu verstehen, der von der Technik ausgeht.

TECHNOLOGIEADOPTION

Unter Technologieadoption ist die Akzeptanz, Integration und Nutzung einer neuen Technologie in einem bestimmten Umfeld zu verstehen.

ADAPTATION

Adaptation von Technik an den Menschen ist als ein aktiver Prozess zu verstehen, der von der Technik ausgeht.

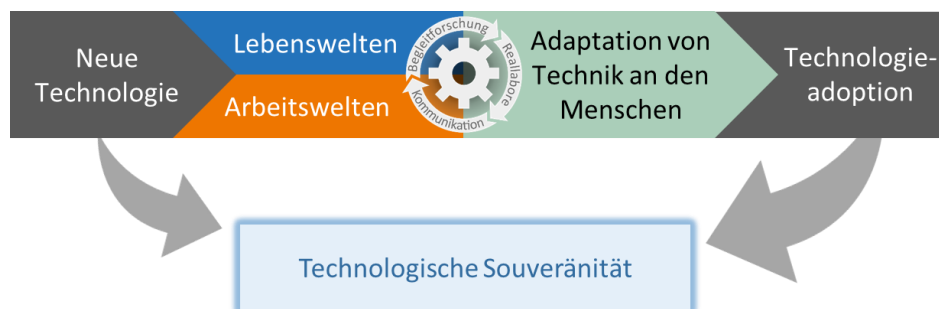


Abbildung 1: Eintrag von neuen Techniken und Technologieadoption zur Technologischen Souveränität in Abhängigkeit von Adaptationsprozessen von Technik an den Menschen.

Bedeutung der Adoption von Technologien

In einigen Bereichen hat sich die Technologieentwicklung signifikant gesteigert: Während es 75 Jahre dauerte, um 100 Millionen Nutzende mit dem Festnetz zu erreichen, dauerte es nur 16 Jahre, um die gleiche Anzahl an Nutzenden in Mobilfunknetzen zu erreichen. ChatGPT

schaffte dies in nur zwei Monaten⁴. Um Wirkung zu entfalten muss die Adoption von Technologie mit der Geschwindigkeit der Entwicklung von Technologie Schritt halten. Doch nicht nur die Geschwindigkeit der Adoption hat zugenommen, sondern auch die Dynamik. Diese ist

zunehmend entscheidend für die Entfaltung sozioökonomischer Wirkungen⁵. In der Vergangenheit wurden neue Anwendungsfelder oftmals durch das technisch Machbare getrieben; heute entscheidet sich der Erfolg vieler Anwendungen und damit oft auch ihre zugrundeliegenden Technologien durch deren Adoption. Vor dem Hintergrund signifikanter Investitionen in neuartige Technologien und Anwendungen ist die Berücksichtigung der Technologieadoption daher entscheidend, um die damit verbundenen sozioökonomischen Ziele zu realisieren. Die Bedeutung der Adoption wird in zahlreichen Diszipli-

nen als zentral für sozioökonomische Veränderungen gesehen, beispielsweise in der Volkswirtschaft⁶, der Gesundheitsforschung⁷ oder der Energieforschung⁸.

Technologische Souveränität ist ein wichtiges strategisches Ziel zahlreicher Regierungen, diese adressieren hierbei ein Bündel von Schlüsseltechnologien⁹. Für die Adoption von Technik sind unterschiedliche Aspekte relevant. In Anwendungsfeldern wie z.B. der Robotik, in denen Menschen direkt mit der Technik interagieren, ist die Adaptation von Technik an den Menschen ein bedeutsamer Aspekt.

Adaptation von Technik an den Menschen – heute und in Zukunft

Die zunehmend breite Verfügbarkeit vieler Technologien, aber auch die stark gewachsenen Fähigkeiten im Bereich des maschinellen Lernens, begünstigen den Trend, dass Technik im immer näheren Umfeld des Menschen eingesetzt und mit seinen Handlungen immer enger verzahnt wird. Durch diesen Trend wird die interaktive und kollaborative Zusammenarbeit zwischen Mensch und Technik stark zunehmen. Vom Menschen getriebene Ansätze wie das User-Centered Design (UCD), welches zum Ziel hat, dass ein zukünftiges Produkt hinsichtlich Aufbaus, Inhalts und Designs die Anforderungen, Erwartungen und Bedürfnisse eines angenommenen Endnutzenden erfüllt, müssen ergänzt werden durch Ansätze, bei denen die Adaptation von der Technik ausgeht. Bei diesem technikgetriebenen Ansatz der Adaptation passt sich die Technik eigenständig an die Bedürfnisse und Anforderungen des Menschen an. Hierfür wird an spezifischen Schnittstellen geforscht und Lösungen werden entwickelt, die es den Menschen erlauben (technische) Systeme ohne Vorwissen und mit niedrigen Zugangsschwellen zu steuern und mit ihnen zu interagieren. Natürliche Sprachschnittstellen und Schnittstellen wie Chatbots sind prominente Beispiele. Schon das Computerprogramm ELIZA¹⁰, welches in den sechziger Jahren entwickelt wurde, zeigte, dass Interaktion mit Computerprogrammen in natürlicher Sprache zu einer enormen Steigerung der Akzeptanz führen. Auch der Grundstein für die hohe Akzeptanz potentiell gesellschaftstransformierender Technologien wie Large Language Models (LLMs) basiert auf der Nutzung von Chatbots, die natürliche Spracheingaben erlauben und dadurch diese fortschrittliche Technik in großer Breite verfügbar gemacht haben.

Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine ist nicht auf sprachliche Kommunikation beschränkt, sondern kann sich schon heute auf eine Breite an Sensorik stützen¹¹. Sensorik und Signalverarbeitung ermöglichen eine multimodale Wahrnehmung und Analyse menschlichen

Verhaltens. Hierauf baut eine inzwischen weit verbreitete Anpassung von (technischen) Systemen an den Menschen auf. Deswegen ist es notwendig, dass ein technisches System den Menschen und dessen Situation während der Interaktion wahrnimmt. Dies wird beispielsweise sehr häufig bei Robotern der Fall sein, die über multimodale Sensorik zur Wahrnehmung der Bedürfnisse des Menschen und dessen Situation verfügen und somit unter anderem Anforderungen in einer Interaktion erkennt. Multimodale Sensor-Technologie spielt daher eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI).¹² Sie ermöglicht auch eine natürlichere sowie intuitive Kommunikation^{13,14} und passt sich insofern an das Bedürfnis des Menschen an, wie gewohnt zu kommunizieren.

Multimodale Sensorsysteme sind zusammen mit Ansätzen der KI Voraussetzungen dafür, dass sich Systeme während der Interaktion an den Menschen anpassen, indem sie aus ihr lernen.¹⁵ „Active Learning“ ermöglicht z.B. das Erlernen von individuellen Fähigkeiten eines Systems, wie eines persönlichen robotischen Assistenten, um sehr individuelle Anforderungen des Nutzenden zu adressieren. Der Mensch fungiert als Lehrender, ohne Kenntnisse im maschinellen Lernen oder Robotik zu haben. Dabei erfragt der Roboter geeignete Beispiele von einem menschlichen Partner, um die Lernaufgabe effizient zu lösen. Dieses Erfragen von Beispielen muss möglichst natürlich erfolgen¹⁶. Es besteht jedoch die Gefahr des Ermüdens des Lehrenden (Nutzenden) explizite Anweisungen zu geben. Um dem zu begegnen, werden auch implizite „Signale“ vom Menschen verwertet. Ein Beispiel ist das Intrinsische Interaktive Reinforcement Lernen, bei dem als Lernsignale während der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) sogar Gehirndaten genutzt werden¹⁷.

Lernen in der Interaktion ermöglicht also eine aktuelle und kontinuierliche Anpassung von Technik an den Menschen hin zu sehr individualisierten Lösungen. An diesem

Beispiel aus der MRI muss außerdem betont werden, dass nicht nur die sensorischen Schnittstellen zum System relevant sind, sondern auch deren Fähigkeiten, Objekte in der Kollaboration menschenähnlich^{18,19} und sicher²⁰ zu manipulieren oder sich insgesamt wie vom Menschen erwartet, zu verhalten. Dies wiederum verlangt, die Bedürfnisse des Menschen zu erlernen und sich anzupassen.

Die Relevanz von Adaptation von Technik an den Menschen ist somit auf verschiedenen Ebenen adressiert und findet in der Produkt- und Lösungsentwicklung bis hin zur Forschung große Beachtung. Adressiert werden auch übergreifende Fragen zu Voraussetzungen wie Technikakzeptanz und Technologieoffenheit in der Gesellschaft, welche z.B. durch Begleitforschungsmaßnahmen oder die Entwicklung von Kommunikationsstrategien intensiv gefördert werden. Die Schaffung von Reallaboren dient dem Test neuer Technologien in realitätsnahen Szenarien, um eine sichere und effiziente (natürliche) Interaktion in Arbeits- und Lebenswelten zu fördern. Es wird auch anerkannt, dass für die Umsetzung stark interdisziplinäre Forschung (Sensorik, KI, Robotik, Neurologie, Psychologie, Ethik, Rechtswissenschaften und andere) notwendig ist. Insbesondere Ansätze, die der Entwicklung intuitiver Schnittstellen und Lernen in Systemen zur Anpassung an den Menschen durch Nutzung multimodaler

Sensorsysteme und Methoden der KI dienen, haben jedoch noch ein weiteres bedeutsames Potential: Sie fördern Technikadoption in Industrie und Gesellschaft. Am zuvor benannten Beispiel von ChatGPT kann dieses Potential, das die Fähigkeit von Technik zur Anpassung an den Menschen mit sich bringt, verdeutlicht werden. Hier ermöglicht z.B. die Kombination verschiedener Techniken – hier LLM und ein Chatbot – die Nutzbarmachung komplexer Technik in der Breite der Gesellschaft, indem sie auf das Bedürfnis von Menschen eingeht, Technik natürlich über Sprache zu bedienen und zu steuern. Dabei fördert eine solche Adaptation von Technik an den Menschen die Entwicklung neuer Wertschöpfungsmöglichkeiten und erlaubt die einfache Implementierung in der Industrie. Die Nutzung von modernen Technologien wird in vielen wirtschaftlichen Bereichen essentiell werden, in denen sie heute noch keine große Rolle spielt. Gleichzeitig wird die Schwelle für die Nutzung dieser Technologien herabgesetzt – ein Beitrag zur Lösung des Fachkräftemangels. Die Bedeutung solcher Ansätze der Adaptation von Technik an den Menschen zur Befriedigung seiner Bedürfnisse oder der Steigerung der Produktivität bis hin zur Relevanz für Technikadoption, also zu Eigen machen neuer Techniken, wird erkannt. Dennoch wird deren Relevanz für die technologische Souveränität derzeit nicht ausreichend adressiert.

Impulse

In der jüngeren Historie war es häufig notwendig, dass der Mensch sich neuen Anwendungen anpasst. Komplexe Funktionsweisen von Anwendungen mussten mühsam von Fachexpertinnen oder Fachexperten erlernt werden, bevor sie in die Umsetzung gebracht werden konnten. Dieser Ablauf kehrt sich nun in vielen Anwendungsbereichen um. Robotik ist dafür ein wichtiges Beispiel. Die Technik passt sich hier in vielen neuen Entwicklungen dem Menschen an. Dies wird z.B. ermöglicht durch Ansätze wie Large Action Models (LAMs), die es einem Menschen erlauben, einem Roboter in natürlicher Sprache komplexe Anweisungen zu geben, die dann bis in die Ausführungsebene umgesetzt werden können.²¹ Dies erleichtert die Adoption neuer technologischer Lösungen, hier solche der Robotik, ungemein, und ist damit auch sozioökonomisch hoch relevant.

Nur Technologien, die adoptiert werden, können sich langfristig durchsetzen. Hierbei ist die Adaptation an den Menschen ein entscheidender Hebel (siehe Abbildung 1). Dies ist relevant für Investitionen jeder Art in neue innovative Lösungen und bedeutet für die Forschungspolitik und -förderung **die Notwendigkeit, die Relevanz der Technikadoption in Debatten und Implementierungsstrategien zur technologischen Souveränität einzubeziehen. Dabei ist die Adaptation von Technik an den Menschen als Umsetzungsoption im Bereich der Robotik, aber auch in anderen**

Anwendungsbereichen mit starker Interaktion mit dem Menschen, von Anfang an mitzudenken.

Von hoher Dringlichkeit ist dabei nicht nur die intensivere Erforschung neuartiger Möglichkeiten der Anpassung von Technik an den Menschen, sondern insbesondere auch die Erforschung ihres Effektes auf den Erfolg der Technologieadoption. Relevante technische Entwicklungen betreffen beispielsweise neuartige Mensch-Technik-Schnittstellen, multimodale Sensorsysteme für eine verbesserte Wahrnehmung des Menschen und der Umgebung in unterschiedlichsten Szenarien durch die Maschine oder die Implementierung von KI-Methoden zur Anpassung von Technik an den Menschen während der Nutzung. Auch sollten Lösungen erforscht werden, die eine Interaktion zwischen Technik und Mensch angenehmer gestalten, beispielsweise durch natürliche Verhaltensweisen oder intelligente, sensible Manipulatoren in der Robotik. Nicht zuletzt müssen ethische, rechtliche und gesellschaftliche Fragen zum Einsatz von KI für ein kontinuierliches Lernen während der Anwendung adressiert werden, da Lernen in der Anwendung immer bedeutsamer wird.

Bei dieser Forschung ist die Kommunikation zwischen Forschenden und der breiten Gesellschaft als potentielle

Nutzerbasis essentiell. Reallabore und Begleitforschungsprojekte sind dabei beispielhafte Mittel für die konkrete Rückkopplung von Erfahrungen, Bedarfen und Herausforderungen im Einsatz der Technologie im menschlichen

Umfeld. Dies befördert die allgemeine gesellschaftliche Akzeptanz der neuen Technologien, aber insbesondere auch deren mehrwertstiftende sichere und effiziente Nutzung.

¹ Eine Definition von „Technologischer Souveränität“ ist auf der Webseite des Rats zu finden: www.bmbf.de/rat4ts

² Dow Jones Factiva 3.05.2023-3.05.2024

³ O. Falck, S. Falk für den Rat für technologische Souveränität, 2024, [Schlüsseltechnologien im Fokus - Der Wettlauf um industrie- und technologiepolitische Führung: „Technologische Souveränität“ im internationalen Vergleich](#)

⁴ The Economist Times News, 2023, [ChatGPT witnesses massive rise, Chatbot gains 100 million users in two months](#)

⁵ World Economic Forum, Digital Transformation Initiative, 2018, [Maximizing the Return on Digital Investments](#)

⁶ [Digital technologies and productivity: A firm-level investigation - ScienceDirect](#)

⁷ S. Renukappa, P. Mudiya, S. Suresh, W. Abdalla, C. Subbarao, 2022, [Evaluation of challenges for adoption of smart healthcare strategies](#)

⁸ E. Fleiß, S. Hatzl, J. Rauscher, 2023, [Smart energy technology: A survey of adoption by individuals and the enabling potential of the technologies](#)

⁹ O. Falck, S. Falk für den Rat für technologische Souveränität, 2024, [Schlüsseltechnologien im Fokus - Der Wettlauf um industrie- und technologiepolitische Führung: „Technologische Souveränität“ im internationalen Vergleich](#)

¹⁰ J. Weizenbach, 1966, [ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine \(acm.org\)](#)

¹¹ E.-J. Rechy-Ramírez, A. Marín-Hernández, H.V. Ríos-Figueroa, 2018, [Impact of commercial sensors in human computer interaction: a review, in: J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.](#)

¹² N. S. Sreekanth, N. Varghese, C.H. Pradeepkumar, P. Vaishali, R.G. Prasad, N.K. Supriya Pal, 2016, [Multimodal Interface for Effective Man Machine Interaction, computer science](#)

¹³ A. Bonci, P.D. Cen Cheng, M. Indri, G. Nabissi, F. Sibona, 2021, [Human-Robot Perception in Industrial Environments: A Survey.](#)

¹⁴ M. Javaid et al., 2021, [Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications](#)

¹⁵ N. Huchler et al. (Hrsg.), 2020, [Kriterien für die menschengerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion bei Lernenden Systemen](#) – Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme

¹⁶ C. Chao, M. Cakmak and A.L. Thomaz, 2010, [Transparent active learning for robots.](#)

¹⁷ S.K. Kim, E.A. Kirchner, A. Stefes et al., 2017, [Intrinsic interactive reinforcement learning – Using error-related potentials for real world human-robot interaction](#)

¹⁸ K. Mülling, J. Kober, O. Kroemer, J. Peters, 2013, [Learning to select and generalize striking movements in robot table tennis](#)⁹

¹⁹ L. Gutzeit, A. Fabisch, M. Otto, J.H. Metzen, J. Hansen, F. Kirchner, E.A. Kirchner, 2018, [The BesMan Learning Platform for Automated Robot Skill Learning](#)

²⁰ E.A. Kirchner, S. Fairclough, F. Kirchner, 2019, [Embedded Multimodal Interfaces in Robotics: Applications, Future Trends, and Societal Implications](#)

²¹ z.B. Figure one robot: <https://www.figure.ai/>

Impressum

Herausgeber

Rat für technologische Souveränität, beauftragt vom BMBF

Mitglieder des Rats für technologische Souveränität

Dr. Viola Bronsema
Prof. Dr. Oliver Falck
Prof. Dr. Svenja Falk
Dr. Tim Gutheit
Dr.-Ing. Christina Hack
Dr.-Ing. Stefan Joeres
Prof. Dr. Elsa Andrea Kirchner
Prof. Dr.-Ing. Marion Merklein
Prof. Dr.-Ing. Hans Schotten
Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Federführende Autorinnen und Autoren dieses Papiers

Elsa Kirchner, Andreas Tünnermann, Svenja Falk

Zitierhinweis

Rat für technologische Souveränität (2024): Adaptation von Technik an den Menschen zur Förderung der Technologieadoption und technologischer Souveränität - Bedeutung für eine moderne Volkswirtschaft am Beispiel der Robotik

Redaktion

DLR Projektträger

Gestaltung

DLR Projektträger

Juni 2024

Kontakt

DLR Projektträger

Gesellschaft, Innovation, Technologie
Strategien für Schlüsseltechnologien
pt-ts@dlr.de

