

2.04

Die Macht der KI: Von Informationssystemen zu „Intelligence everywhere“

ANETTE WEISBECKER

NEUE INFORMATIONSTECHNOLOGIEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DIE ARBEITSWELT

Die rasante Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie wie Künstliche Intelligenz (KI) oder Quantencomputing ist ein entscheidender Treiber der Digitalisierung, sowohl für die Wirtschaft (BMW, 2023) als auch für die Gesellschaft (D21, 2024). KI ist durch das Aufkommen von ChatGPT im November 2022 verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Quantencomputing ermöglicht es, komplexe Problemstellungen effizient zu lösen (Tutschku et al., 2023). Neue Informationstechnologien bieten somit zum einen die Möglichkeit, sowohl Produkt- als auch Prozessinnovationen voranzutreiben, und zum anderen haben sie weitreichende Auswirkungen auf die Lebens- und Arbeitswelten der Menschen (Deloitte, 2024; Bitkom, 2024; Candelon et al., 2024; Noy & Zhang, 2023).

Entsprechend wurde im Rahmen des 70. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) unter dem Motto „Arbeitswissenschaft in-the-loop“ betont, dass es die vornehmliche Aufgabe der Arbeitswissenschaft ist, die Arbeit menschengerecht, produktiv und ressourceneffizient zu gestalten (GfA, 2024). Die Arbeitswissenschaft hat sich von der Mensch-Technik-Interaktion über die Mensch-Rechner- und Mensch-Maschine-Interaktion zu einer Mensch-Technologie-Interaktion in nicht-deterministischen, offenen und dynamischen Kollaborationssystemen entwickelt (Hölzle, 2024). Für deren Gestaltung sind innovative Ansätze notwendig, die aufzeigen, wie Arbeit als Zusammenspiel von Mensch und Technologie aussehen kann (Hölzle et al., 2024). Ein Beispiel hierfür ist der interdisziplinäre Forschungsansatz „Arbeitswissenschaft-in-the-loop“, der die Stärken der Menschen (z. B. Kreativität, Intention und Moral) mit denen der Rechner bzw. Maschinen (z. B. Ausdauer, Genauigkeit, Strukturiertheit) integriert und so zu einer symbiotischen Interaktion von Menschen und Technik führt (Hölzle et al., 2024).

Die verstärkte Nutzung digitaler Technologien, einhergehend mit einer innovativen Arbeitsgestaltung (Bauer, 2023), führt zu neuen Wertschöpfungsoptionen (Röhl et al., 2021). Dafür ist die Nutzung vorhandener Daten essenziell (Weisbecker, 2023), um Verantwortliche mit den notwendigen Informationen zu versorgen, die sie zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigen (Seagate, 2020). Nur wenn die notwendigen und korrekten Daten zur richtigen Zeit benutzergerecht und aufgabenorientiert an die Nutzenden gelangen, können fundierte Entscheidungen getroffen werden.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (KI)

Einsatz Künstlicher Intelligenz in Unternehmen

KI mit ihrem breiten Anwendungsspektrum kann für Gesellschaft und Umwelt von Nutzen sein und der Wirtschaft Wettbewerbsvorteile verschaffen (EFI, 2024; European Commission, 2024).

Die verschiedenen Aspekte der KI zeigt die folgende Definition (Braun et al., 2023: S. 7): „Künstliche Intelligenz (KI) ist definitionsgemäß eine in Rechenmaschinen ablaufende Abfolge mathematischer Modelle; diese zeichnen mithilfe spezieller Schnittstellen menschliches und maschinelles Verhalten mittels umfangreicher Daten auf, um es mathematisch zu verarbeiten und zu imitieren. Die Datenmuster werden im Trainingsprozess erfahrenen KI-Instruktoren vorgelegt, die festlegen, wie die Künstliche Intelligenz auf einen Input angemessen reagiert. Der antrainierte KI-Automat reagiert mit seinem heuristischen Methodenset fortan auf von ihm selbst identifizierte Datenmuster.“ Sie verweist zum einen auf die notwendigen mathematischen Grundlagen und Modelle und zum anderen auch auf die unverzichtbare Interaktion mit Menschen, z. B. für das Training der Modelle.

KI kann große Datenmengen verarbeiten und so helfen, komplexe Situationen präziser zu analysieren und besser zu verstehen und somit eine solide Grundlage für Entscheidungen liefern (Peissner, 2024). Es liegt dabei in der Verantwortung des Menschen, die KI mit geeigneten, validen Daten zu trainieren, damit verwendbare Ergebnisse entstehen. Ebenso entscheidet der Mensch, was er mit den erzeugten Ergebnissen macht. Das Potenzial der KI liegt somit nicht nur in der Automatisierung von Arbeitsprozessen, sondern vielmehr in der Kooperation mit dem Menschen, bei der bestehende Tätigkeiten durch Teilautomatisierung bzw. Wirkungsverstärkung unterstützt und beschleunigt werden oder die durch eine Qualitätsverbesserung einen deutlichen Performanzschub erfahren (André et al., 2021; Chadelon et al., 2023; Kintz et al., 2024).

Bei der Entwicklung von KI-Anwendungen ist es unabdingbar, die Innovationskraft der Mitarbeitenden von Anfang an miteinzubeziehen. Um dies zu erreichen, unterstützt beispielsweise das KI-Fortschrittszentrum „Lernende Systeme und Kognitive Robotik“ kleine und mittelständische Unternehmen dabei, die Chancen von KI und vor allem des maschinellen Lernens für sich zu nutzen. Das KI-Fortschrittszentrum ist eine Initiative der Fraunhofer-Institute IAO und IPA gemeinsam mit dem IAT der Universität Stuttgart sowie dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg und bildet den anwendungsorientierten Zweig des Cyber Valley. In diesem können Unternehmen mittels verschiedener Transferformate KI kennen- und nutzen lernen (Fraunhofer IAO & Fraunhofer IPA, 2022). Mit dem AI Explorer werden erste Anwendungsfälle für den Einsatz von KI in Unternehmen identifiziert. In Quick Checks werden Innovationsideen analysiert und erste Ansätze erarbeitet. Diese können in Exploring Projects in erste Konzepte umgewandelt und prototypisch umgesetzt werden. In diesem Rahmen wurden in einem breiten Anwendungsspektrum wie Medizin, Pflege, Logistik, Produktion, Vertrieb, Kundenkommunikation (Drawehn & Pohl, 2023) bereits weit über fünfzig Projekte durchgeführt.

Darüber hinaus wurde in Stuttgart und München je ein KI-Studio als Anlaufstelle für die Öffentlichkeit eingerichtet. Im Jahr 2024 ist das KI-Infomobil regelmäßig in Deutschland unterwegs (Kocher, 2024). Das Ziel dieser vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales geförderten, breit angelegten Kampagne ist es, das Wissen um Möglichkeiten und Grenzen von KI in die Bevölkerung zu tragen. Denn nur wenn die Menschen eine Technologie verstehen, können sie ihren Einsatz mitgestalten. Dies setzt auch Qualifizierung und entsprechende Bildungsangebote voraus.

Die Einführung von KI-Anwendungen im Arbeitsumfeld erfordert Planung und abgestimmtes Vorgehen. Abbildung 1 zeigt dazu ein Vorgehensmodell, das die Durchgängigkeit von der Projektidee bis hin zur Einführung und Nutzung im Unternehmen gewährleistet und dabei die integrierte Betrachtung von Mensch, Technik und Organisation explizit berücksichtigt (Kutzias et al., 2023).

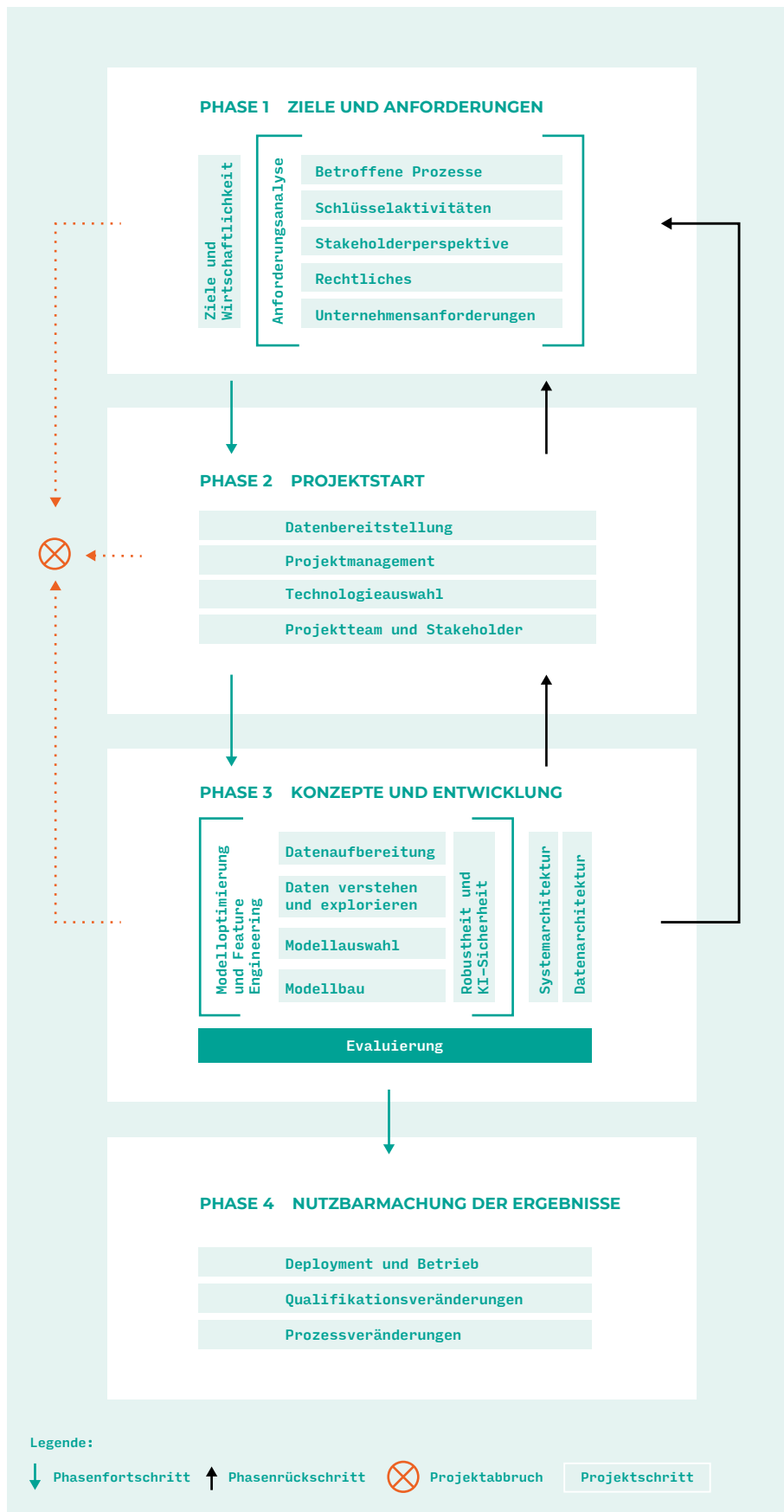


Abbildung 1: Vorgehensmodell zur Durchführung von KI-Projekten (Kutzias et al., 2023)

Generative KI

Als Generative KI wird ein Teilbereich von KI bezeichnet, bei dem aus vorhandenen Daten und Informationen neue Inhalte erzeugt werden. Diese Inhalte können dabei von unterschiedlicher Art sein, z. B. Texte, Bilder, Videos, Audios, Programmcodes. Die Erzeugung neuer Inhalte kann unimodal (z. B. Text zu Text) oder multimodal (z. B. Text zu Bild oder umgekehrt) erfolgen. Die Grundlagen der generativen KI sind vorab trainierte Modelle, die riesige Datenmengen, große Rechenleistung sowie lernende Algorithmen benötigen. Zu diesen Modellen zählen z. B. leistungsfähige Sprachmodelle (Large Language Models (LLM)), die natürliche Sprache verarbeiten und generieren sowie multimodale Modelle für z. B. Sprache, Audio, Bilder. Bekannte Beispiele für Anwendungen der generativen KI sind multimodale Sprachmodelle wie GPT-4, Aleph Alpha oder DeepL Write für die automatische Textgenerierung, DALL-E zur Erzeugung von Bildern aus Texten oder Voice Engine zum Klonen von Stimmen. In der technologischen Entwicklung können große Sprachmodelle zukünftig durch Large Action Models (LAM) abgelöst werden, die auf reale Interaktion trainiert werden, z. B. mit Daten aus Anwendungen und Geräten der erweiterten Realität (XR) (Future Today Institut, 2024; Hölzle et al., 2023).

Neben den erwarteten Veränderungen durch KI liegt der weitaus größere Hebel für den Unternehmenserfolg beim Einsatz generativer KI in strategischen Aspekten. So kann sie zur Entwicklung von Ideen und Lösungen genutzt werden und führt damit zu Veränderungen in Innovationsprozessen und dem Innovationsmanagement. Wichtig hierfür ist die enge Verzahnung von unternehmenseigener KI-Strategie mit der Daten- und Innovationsstrategie (Kintz et al., 2024). Hochwertige digitale Unternehmensdaten sind dabei einerseits erforderlich, um unternehmensspezifische KI-Modelle zu trainieren und Standardmodelle anzupassen und andererseits diese Modelle in Unternehmensprozesse zu integrieren.

Um den optimalen Umgang mit Generativer KI zu erreichen, wurden in einer vom Fraunhofer IAO durchgeführten Studie die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet (Kintz et al., 2024):

- Für Unternehmen:
 - AI-Literacy etablieren: KI Grundkompetenzen für alle Mitarbeitenden
 - Generative KI als strategisches Thema etablieren und Daten-, KI- und Innovationsstrategie verzahnen
 - Interne und externe Anwendungsfälle identifizieren und priorisieren
 - Partnerschaften eingehen und Abhängigkeiten vermeiden
 - Berufsspezifische KI-Weiterbildung und lebenslanges Lernen ermöglichen
 - KI-Regulierung begegnen und KI-Inhalte kennzeichnen

- Für Wissenschaft, Politik und Gesellschaft:
 - Es braucht ein „CERN für KI“, um wettbewerbsfähige KI-Initiativen in der europäischen Union dauerhaft zu etablieren sowie eigenständige Lösungen zu schaffen, um so technologische Souveränität zu gewährleisten
 - Ressourcenbedarf für Generative KI-Anwendungen senken
 - Proaktiv mit den Auswirkungen der Produktivitätsgewinne in Organisationen und Gesellschaft umgehen

Diese Empfehlungen und Erkenntnisse dienen als Wegweiser in dem sich schnell weiterentwickelnden Gebiet der Generativen KI. Sie sind insbesondere hilfreich bei der Entstehung großer multimodaler KI-Modelle bis hin zu Modellen, die ein allgemeines Verständnis der physischen Umgebung erlernen (Future Today Institut, 2024), der Ausweitung des Einsatzes in weitere Anwendungsgebiete und des notwendigen Bedarfs an Regulierung oder Zertifizierung von KI-Systemen.

KI-Verordnung der Europäischen Union

Damit Menschen und Unternehmen die Vorteile von KI nutzen und sich dabei gleichzeitig sicher und geschützt fühlen, hat die Europäische Union im März 2024 das Gesetz über Künstliche Intelligenz (kurz KI-Verordnung oder AI Act) (European Commission, 2024) verabschiedet. Dieses Gesetz, das einem risikobasierten Ansatz folgt, ist weltweit eine der ersten umfassenden Regulierungen von KI-Systemen. Die vier von der EU definierten Risikostufen für KI-Systeme sind: inakzeptables, hohes, begrenztes und minimales (bzw. kein) Risiko. Die höchste Risikostufe ist das inakzeptable Risiko. Diese Stufe kann in acht KI-Anwendungen unterteilt werden, die mit den Werten und Grundrechten der EU inkompatibel und damit in der EU verboten sind, z. B. „Social Scoring“. KI-Systeme mit hohem Risiko werden am schärfsten reguliert. Sie umfassen im Wesentlichen Sicherheitskomponenten von bereits regulierten Produkten und KI-Systemen, die die Gesundheit und Sicherheit von Menschen, ihre Grundrechte oder die Umwelt gefährden könnten, z. B. Medizingeräte oder kritische Infrastrukturen. Mit einem begrenzten Risiko werden KI-Systeme klassifiziert, die mit der Gefahr der Manipulation oder Täuschung einhergehen. Diese KI-Systeme müssen Transparenz-Bestimmungen einhalten, d. h. Menschen müssen über eine Interaktion mit einer KI informiert werden, sofern dies nicht offensichtlich ist, und alle KI-generierten Inhalte müssen gekennzeichnet werden. Das minimale Risiko stellt die niedrigste Risikostufe dar. Hierzu gehören alle KI-Systeme, die nicht in die anderen drei Risikostufen fallen, z. B. KI-basierte Suche. Für diese gibt es keine verbindlichen Verpflichtungen. Es wird jedoch empfohlen, allgemeine Grundsätze wie menschliche Beaufsichtigung, Nichtdiskriminierung und Fairness zu befolgen. Die schnelle Entwicklung von Generativer KI hat dazu geführt, dass zusätzlich zu den Risikoklassen Regeln für KI-Basismodelle („foundation models“) und KI-Systeme für allgemeine Verwendungszwecke („General Purpose AI“ (GPAI)) erstellt wurden. Die europäische KI-Verordnung gilt für jedes KI-System, das sich auf eine natürliche Person in der EU auswirkt.

Vergleichbar mit dem Inkrafttreten der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) 2018 sind Unternehmen gefordert, sich frühzeitig mit der Umsetzung der europäischen KI-Verordnung zu beschäftigen. Dies erfordert auf der einen Seite entsprechenden Know-how-Aufbau und resultiert in höheren Kosten für KI-Systeme. So werden die Kosten für Compliance mit dem EU AI Act auf 17 Prozent der KI-Investitionskosten eines Unternehmens geschätzt (European Commission, 2021). Auf der anderen Seite bietet die KI-Verordnung ein Alleinstellungsmerkmal für KI-Anwendungen und kann so durch Transparenz und Vertrauen zu Wettbewerbsvorteilen führen.

QUANTUM MACHINE LEARNING

KI, insbesondere Machine Learning (ML), erfordert zum einen großes, interdisziplinäres Fachwissen, von der Datenakquisition, über die Wahl der Algorithmen bis zur Optimierung des Trainings, und zum anderen leistungsfähige Hardware. Ansätze wie Automated Machine Learning (AutoML) zielen darauf ab, durch Automatisierung den Prozess des maschinellen Lernens zu beschleunigen, was insbesondere bei der Algorithmenauswahl und der Optimierung von Hyperparametern möglich ist. Dies stellt jedoch hohe Anforderungen an die Hardware. Quantencomputing ermöglicht, bestimmte Probleme beim AutoML um Größenordnungen schneller zu lösen als konventionelle Computer. Das Feld des Quantum Machine Learning (QML) (Bauckhage & Piatkowski, 2022) befasst sich daher damit, wie dieser Quantenvorteil für ML-Algorithmen nutzbar ist.

Um Performance-, Geschwindigkeits- und Komplexitätsvorteile des Quantencomputings für maschinelles Lernen zu nutzen, bietet es sich an, Komponenten des Quantencomputings in heutige Lösungsansätze zu integrieren. Da nach derzeitigem Kenntnisstand Quantencomputer ihre Vorteile eher nur bei speziellen Problemstellungen, z. B. kombinatorischen Optimierungsproblemen, ausspielen können, ist zu prüfen, wann Quantencomputer und wann klassische Computer, die z. B. bei der kontinuierlichen Optimierung Vorteile haben, am besten für einen Lösungsansatz geeignet sind. Es werden somit Vorgehensweisen, Methoden und Entwicklungswerkzeuge benötigt, mit denen sich eine effiziente hybride Umsetzung von AutoML realisieren lässt, so dass die Vorteile verschiedener Computer-Architekturen ausgeschöpft werden können.

In dem Projekt „AutoQML – Developer-Suite für automatisiertes maschinelles Lernen mit Quantencomputern“ wird ein Werkzeugkasten entwickelt, in dem QML-Komponenten und Methoden zusammengeführt und Entwickelnden in einer Open-Source-Plattform zur Verfügung stehen werden (Klau et al., 2023). Die Erprobung in verschiedenen Anwendungsfällen im Automotive- und Produktionsbereich zeigt mögliche Performance- und Qualitätsverbesserungen durch den Einsatz von Quantencomputern. Darüber hinaus erleichtert die Umsetzung von hybridem Machine Learning als Integration von konventionellem und Quanten-Machine-Learning, die Integration und Migration zwischen konventionell/hybrid/Quantum.

Mit dem Aufkommen der ersten kommerziell verfügbaren Quantencomputer sind Unternehmen gefordert, sich mit der Technologie auseinanderzusetzen und deren Möglichkeiten für eigene Lösungen zu erforschen (Finsterhölzl et al., 2022; Tutschku et al., 2023). Dazu bedarf es unterschiedlicher Möglichkeiten für Unternehmen, Wissen aufzubauen, die Technologie zu erproben und eigene Anwendungen zu entwickeln. Dies bietet u. a. das seit 2020 bestehende Fraunhofer-Kompetenznetzwerk Quantencomputing (Belhau & Venzl, 2021), das bundesweit neun Kompetenzzentren umfasst, die ein breites Spektrum an Anwendungsfeldern wie Logistik, Chemie- und Pharmaindustrie, Finanz- und Energiesektor, Materialwissenschaften oder IT-Sicherheitstechnologien bedienen. Das Kompetenznetzwerk ist ein Quantenökosystem, das unterschiedliche Akteure aus Forschung und Industrie vernetzt. Auf regionaler Ebene bündeln in der Innovationsinitiative QuantumBW Wissenschaft und Wirtschaft ihre Kompetenzen, um die quantentechnologische Forschung in Baden-Württemberg in die Anwendung zu bringen. Mit dem Quantum Lab, bestehend aus Hardware- und Softwarelab, fördert das Fraunhofer IAO gezielt den Wissenstransfer für Quantentechnologien in Unternehmen und die Öffentlichkeit. Das Quantum Hardware Lab macht unabhängig vom Vorwissen die Phänomene der Quantenphysik für eine breite Zielgruppe erlebbar. Das Quantum Software Lab bietet einen praxisnahen Einstieg in die komplexe Welt der Quantenalgorithmen. Hier können unter Anleitung interaktive Erfahrungen mit der Programmierung von (hybriden) Quantenalgorithmen gesammelt oder bestehende Kompetenzen erweitert werden.

AUF DEM WEG ZU „INTELLIGENCE EVERYWHERE“

Die schnelle Erschließung neuer Informationstechnologien verspricht wirtschaftliche Vorteile und verbesserte Wettbewerbsfähigkeit, erzeugt durch erhöhte Effizienz und Produktivität sowie Qualitätsverbesserung. Sie unterstützt zum einen Innovationen und zum anderen bietet sie die Chance, dem Fachkräftemangel durch Automatisierung und Assistenz entgegenzuwirken. Damit einher gehen jedoch auch veränderte Anforderungen an die Kompetenzen der Beschäftigten, für die neue Aus- und Weiterbildungsangebote bereitzustellen sind. Um dies zu erreichen, bedarf es leistungsfähiger Netzwerke, die Akteure aus unterschiedlichen Sektoren zusammenbringen, um in dynamischen Formen der Kooperation zur Entstehung von Wissen und Innovationen beizutragen.

Wenn dabei lineare Wertschöpfungs- und Innovationsprozesse übersritten, dezentrale Netzwerke integriert und durch iteratives Vorgehen dynamischen Entwicklungen Rechnung getragen werden, können erfolgreiche Innovationsökosysteme entstehen (Adner, 2006; Gomes et al., 2018; Loss et al., 2024). Dazu notwendig ist ein integrativer Ansatz (Carayannis & Campbell, 2009; Loos et al., 2024), bei dem Innovation nicht nur auf technologischem und wirtschaftlichem Fortschritt beruht, sondern auch eine breite Akzeptanz und Unterstützung seitens der Gesellschaft und der politischen Entscheidungsträger gewährleistet ist. Durch eine enge Vernetzung der unterschiedlichen Akteure kann die Schaffung und Verbreitung von Wissen sowie die Akzeptanz und Erschließung der Potenziale neuer Informationstechnologien erreicht werden, was dazu beiträgt, Wohlstand zu erhalten und wirtschaftlichen Erfolg zu sichern.

LITERATUR

- Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, 84(4), 98-148. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16579417
- André, E., Aurich, J. C., Bauer, W., Bullinger-Hoffmann, A., Heister, M., Huchler, N., Neuburger, R., Peissner, M., Stich, A. & Suchy, O. (2021). Kompetenzentwicklung für Künstliche Intelligenz - Veränderungen, Bedarfe und Handlungsoptionen. Projektbericht aus der Plattform Lernende Systeme. München: Lernende Systeme - Die Plattform für Künstliche Intelligenz. DOI: https://doi.org/10.48669/pls_20212.
- Bauckhage, C. & Piatkowski, N. (2021). Quantum Machine Learning. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): *Quantentechnologien*, 395-414. Stuttgart: Fraunhofer
- Bauer, W. (2023). Wie gestaltet sich New Work in der Wissenschaft. *Fraunhofer Magazin* Nr. 1, 36-37

- Behlau, K. & Venzl, H. (2021). Fraunhofer Kompetenznetzwerk Quantencomputing. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Quantentechnologien, 451-460. Stuttgart: Fraunhofer
- Bitkom (2024). Praxisleitfaden Generative KI im Unternehmen – rechtliche Fragen zum Einsatz generativer Künstlicher Intelligenz im Unternehmen. Berlin: Bitkom e.V.
- BMWK (2023). IKT-Branchenbild: Volkswirtschaftliche Kennzahlen, Innovations- und Gründungsgeschehen 2023. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- Braun, M., Leuteritz, J.-P., Link, M., Zaiser, H. & Kutzias, D. (2023). Leitfaden zu Strategie und Wandel für den KI Einsatz. Menschenzentrierte Erschließung der Potenziale Künstlicher Intelligenz. Stuttgart: Fraunhofer IA0. <https://www.ergebnisse.ki-ultra.iao.fraunhofer.de/leitfaeden/>
- Candelon, F., Krayer, L., Rajendran, S. & Zuluaga Martínez, D. (2023). How People Can Create – and Destroy – Value with Generative AI. New York: Boston Consulting Group Henderson Institute; <https://www.bcg.com/publications/2023/how-people-create-and-destroy-value-with-gen-ai>
- Carayannis, E. G. & Campbell, D. F. J. (2009). ‚Mode 3‘ and ‚Quadruple Helix‘: Toward a 21st Century Fractal Innovation Ecosystem. International Journal of Technology Management, 46(3/4). <https://doi.org/10.1504/ijtm.2009.023374>
- Deloitte (2024). Now decides next: Insights from the leading edge of generative AI adoption. London: Deloitte. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/deloitte_state-of-gen-ai-report.pdf
- Drawehn, J. & Pohl, V. (2023). Einsatz von KI mit Fokus Kundenkommunikation. Stuttgart: Fraunhofer IA0. DOI: <http://dx.doi.org/10.24406/publica-1704>
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2024). Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2024. Berlin: EFI
- European Commission (2024). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts. Brussel: European Commission. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-5662-2024-INIT/en/pdf>
- European Commission (2021). Study to support an impact assessment of regulatory requirements for Artificial Intelligence in Europe. Brussel: European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/55538b70-a638-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
- Fensterhölzl, R., Wittenbrink, N., Wenzel, B., Grzeschik, C., Eisenträger, M., Bürger, M. & Wischmann, S. (2022). Quantencomputing – Software für innovative und zukunftsfähige Anwendungen. Berlin: Technologieprogramm KI-Innovationswettbewerb des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Fraunhofer IA0, Fraunhofer IPA (2022). Das KI-Fortschrittszentrum stellt sich vor. Unternehmerischer Erfolg mit menschenzentrierter KI und Kognitiver Robotik. Stuttgart: Fraunhofer-Gesellschaft. <https://www.ki-fortschrittszentrum.de/>
- Future Today Institut (2024). 2024 Tech Trends Report. New York: Future Today Institut <https://futuretodayinstitute.com/trends/>
- GfA (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.) (Hrsg.) (2024). Arbeitswissenschaft in-the-loop. Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 06.-08.03.2024, Stuttgart. Sankt Augustin: GfA-Press
- Gomes, L. A. d. V., Facin, A. L. F., Salerno, M. S. & Ikenami, R. K. (2018). Unpacking the Innovation Ecosystem Construct: Evolution, Gaps and Trends. Technological Forecasting and Social Change, 136, 30-48. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.009>

- Hölzle, K. (2024). Arbeitswissenschaft in-the-loop (oder: Die Auswirkung der Mensch-Technologie-Integration auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung). *Keynote, Folien*, 07.03.2024. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 06.-08.03.2024. Stuttgart: IAT Universität Stuttgart und Fraunhofer IAO
- Hölzle, K., Braun, M., Dangelmaier, M., Haner, U.-E. & Ohlhausen, P. (2024). Arbeitswissenschaft in-the-loop. Mensch-Technik-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. In: GfA (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.) (Hrsg.) (2024): Arbeitswissenschaft in-the-loop. Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 06.-08.03.2024, Stuttgart. Sankt Augustin: GfA-Press
- Hölzle, K., Neuhüttler, J., Wenzel, G., Gladilov, N. C., Rasztar, L. A., Rose, R., Bauernhansl, T., Falkenau, F., Schrader, P., Schöllhammer, O., Ament, J., Runde, C. & Alexiadis, I. (2023). *CyberLänd – Potenziale des Metaverse für Unternehmen in Baden-Württemberg*. Stuttgart: Fraunhofer IAO. DOI: <http://dx.doi.org/10.24406/publica-2135>
- Initiative D21 e.V (2024). *D21-Digital-Index 2023/2024. Jährliches Lagebild zur Digitalen Gesellschaft*. Berlin: Initiative D21 e.V.
- Kintz, M., Beinbauer, W., Bienenzler, B., Drawehn, J., Dworschak, B., Engelbach, M., Haner, U.-E., Kaiser, S., Klau, D., Mackensen, J., Mozer, P., Peissner, M., Renner, T., Uhler, L. & Wulf, J. (2024). *Potenziale Generativer KI für den Mittelstand*. Stuttgart: Fraunhofer IAO. DOI: <https://doi.org/10.24406/publica-2246>
- Klau, D., Krause, H., Kreplin, D. A., Roth, M. C., Tutschku, C. & Zöllner, M. (2023). *AutoQML – A Framework for Automated Quantum Machine Learning*. Stuttgart: Fraunhofer IAO. https://www.digital.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/ikt/de/documents/AutoQML_Framework.pdf
- Kocher, J. (2024). *Roadtrip mit dem KI-Infomobil*. Forward Nr. 1, 2024. Stuttgart: Fraunhofer IAO
- Kutzias, D., Dukino, C. & Leuteritz, J.-P. (2023). *Leitfaden zur Durchführung von KI-Projekten. Menschenzentrierung von der Idee bis zur Anwendung*. Stuttgart: Fraunhofer IAO. <https://www.ergebnisse.ki-ultra.iao.fraunhofer.de/leitfaeden/>
- Loos, S., Bickert, F., Dotzel, M., Tutschku, C. & Kaiser, S. (2024). *Potenziale und Bedarfe des Quantencomputing-Innovationsökosystems*. Stuttgart: Fraunhofer IAO
- Noy, S. & Zhang, W. (2023). *Experimental Evidence on the Productivity Effects of Generative Artificial Intelligence*. MIT Working Paper. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology
- Peissner, M. (2024). *Es ist an uns, die Zukunft mit KI zu gestalten*. Forward Nr. 1, 2024. Stuttgart: Fraunhofer IAO
- Röhl, K.-H., Bolwin, L. & Hüttel, P. (2021). *Datenwirtschaft in Deutschland*. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft
- Seagate (2020). *Rethink Data: Put More of Your Business Data to Work-From Edge to Cloud*. Seagate Technology Report. https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/rethink-data/files/Rethink_Data_Report_2020.pdf
- Tutschku, C. K., Sturm, A., Knäble, F., Mummaneni, B. C., Pranjic, D., Stephan, C., Mayer, D. B., Kosmann, G., Roth, M., Matt, P.-A., Grigorjan, A., Wellens, T., König, K. Beisel, M., Truger, F., Shagieva, F., Denninger, O. & Garhofer, S. (2023). *Quantencomputing in der industriellen Applikation. Vom Algorithmen-, Markt- und Hardwareüberblick hin zu anwendungszentriertem Quantensoftware-Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.24406/publica-805>
- Weisbecker, A. (2023). *Daten sind die zentralen Treiber von Innovation*. Forward Nr. 2, 2023. Stuttgart: Fraunhofer IAO