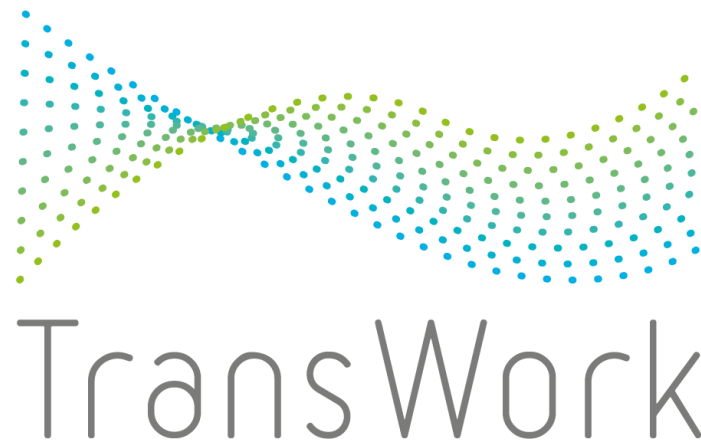




Künstliche Intelligenz als unterstützende Lerntechnologie

Dezember 2020

Niels Pinkwart, Susan Beudt

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Berlin
{niels.pinkwart,susan.beudt}@dfki.de

Künstliche Intelligenz ist bereits heute – und vermutlich noch in wesentlich stärkerem Maße in der Zukunft – eine der Schlüsseltechnologien für viele Bereiche von Gesellschaft und Wirtschaft. Auch in Bildungskontexten hat sich Künstliche Intelligenz von einem „Nischenforschungsgebiet“ in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt. Dieser Artikel beschreibt zunächst die lern- und medientheoretischen Grundlagen, auf denen KI-gestützte Bildungstechnologien basieren, und stellt eine Typisierung dieser Technologien vor. Nachfolgend werden Einsatzszenarien für KI in der beruflichen Bildung, unterteilt nach primärer Zielgruppe und Granularität des Einsatzes, beschrieben. Der Beitrag stellt dann Fallbeispiele aus verschiedenen Projekten und Branchen exemplarisch näher vor, an die sich eine Diskussion von aktuellen Potenzialen, Grenzen und Herausforderungen beim Einsatz von KI in der Bildung in Form von acht Thesen sowie ein Ausblick in künftig sinnvolle Handlungsfelder bezüglich des Einsatzes von KI in der beruflichen Aus- und Weiterbildung anschließt.

1 Einleitung

Künstliche Intelligenz (KI) ist bereits heute – und vermutlich noch in wesentlich stärkerem Maße in der Zukunft – eine der Schlüsseltechnologien für viele Bereiche von Gesellschaft und Wirtschaft. Die Erwartungen der Menschen an KI sind dabei divers und reichen von utopischen Phantasien bis hin zu Ängsten vor dem Verlust von Arbeitsplätzen oder gar einer Machtübernahme durch intelligente Maschinen (Bitkom 2020). Eine 2019 durchgeführte globale „AI at Work“-Studie ergab kürzlich das bemerkenswerte Ergebnis, dass 64% der befragten Personen KI mehr als ihren Vorgesetzten vertrauen (Oracle 2019). Ungeachtet von Erwartungen einzelner prägt KI bereits heute Tätigkeitsprofile, Arbeitsplätze und die Arbeitsorganisation in vielen Unternehmen. KI-Technologien verändern in zahlreichen Anwendungsgebieten das Verhältnis zwischen ArbeitnehmerInnen und Maschinen. Damit gehen veränderte Anforderungen an Beschäftigte einher, insbesondere müssen Konzepte zur Qualifizierung und Kompetenzentwicklung an den KI-getriebenen und durch KI fortschreitenden Wandel des Arbeitslebens angepasst werden (vgl. Plattform Lernende Systeme 2019). Ein Teil dieser Konzepte kann ein Einsatz von KI für Aus- und Weiterbildungszwecke selbst sein. Dieses Forschungs- und Anwendungsgebiet hat seine Ursprünge u. a. in den Arbeiten von Jaime Carbonell (1970), der mit dem SCHOLAR-System KI zur adaptiven Vermittlung von Geographiewissen einsetzte. Seitdem haben sich Bildungstechnologien auf Basis Künstlicher Intelligenz von einem „Nischenforschungsgebiet“ in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt. Auch Publikationen zu einem Einsatz in der betrieblichen Bildung datieren mindestens 30 Jahre zurück (Aleksander et al. 1990); in der Einleitung dieses Werkes findet sich ein (leider nicht näher belegter) Verweis auf eine Veröffentlichung des Fraunhofer IAO aus den 80er Jahren, in dem die Fabrik der Zukunft und die Rolle von KI für ebendiese motiviert werden. Heute ist KI in der beruflichen Bildung angekommen: aus Gründen wie z. B. der Erhöhung der Effizienz oder der Personalisierung von Lernangeboten setzen nach aktuellen Benchmarking-Studien (Siepmann 2020) bereits mehr als ein Viertel der Unternehmen Verfahren wie z. B. Chatbots oder adaptive Schulungssysteme ein oder planen einen solchen Einsatz – mit einem deutlichen Steigerungstrend im Vergleich zu 2019. Bedenken bzgl. des Einsatzes werden nach der von Siepmann durchgeführten Studie beispielsweise mit geringem internen Know-How, hohen Implementierungskosten, nicht genügend ausgereifter Technik und Datenschutzbedenken begründet. Einen Blick auf die aktuelle Situation in deutschen Berufsschulen wirft Roppertz (2020): sie zeigt, dass es aktuell vereinzelte KI-Projekte an Berufsschulen gibt, die aber noch nicht die breite Masse erreicht haben und daher als Pilotprojekte zu betrachten sind. Nach den Analysen von Roppertz lässt sich auch feststellen, dass BerufsschullehrerInnen dem Einsatz von KI-basierten Lernanwendungen in der Berufsschule durchaus offen gegenüberstehen. Sie können sich vorstellen, selbst KI-basierte Anwendungen zu nutzen, und erwarten ebenfalls, dass KI-basierte Lernanwendungen wie Adaptive Learning oder Learning Analytics in der Berufsschule insgesamt an Bedeutung gewinnen und das Lehren und Lernen grundlegend verändern werden. Diese Einschätzungen werden auch von anderer Seite geteilt. So findet sich im HolonIQ Artificial Intelligence & Global Education Report (HolonIQ 2019) die Einschätzung, dass KI die am schnellsten wachsende Technologie in der Bildung ist, verbunden mit einer Einschätzung, dass der Einsatz von KI im Bildungsbereich in den nächsten Jahren explodieren wird und bis 2025 ein globales Volumen von 6 Mrd. \$ erreichen wird – mit einem Schwerpunkt auf den USA und China. Auch in anderen Foresighting-Studien zu Technologie in der Bildung spielt Künstliche Intelligenz eine immense Rolle. So benennt etwa der Horizon Report des Jahres 2020 sechs künftig relevante Technologien (Adaptive Learning; AI/Machine Learning; Analytics for Student Success; Elevation of Instructional Design, Learning Engineering, and UX Design; Open Educational Resources; XR), von denen fünf zumindest in Teilen auf Methoden der Künstlichen Intelligenz beruhen (Educause 2020). Wir beobachten also, dass derzeit Verfahren der KI in der Bildung von verschiedenen Seiten erhebliches Entwicklungspotenzial attestiert wird, aber gegenwärtig in Deutschland in der Praxis noch nicht in der Breite angekommen ist. Gleichzeitig ist die öffentliche Debatte um Künstliche Intelligenz

nicht selten von Mythen geprägt, bei denen KI oft ein Bedrohungspotenzial attestiert wird und Szenarien von Massenentlassungen und die Übernahme der Arbeitswelt durch Roboter aufgebaut werden – andererseits wird KI aber auch als Mittel für die lernförderliche Arbeitsgestaltung, personalisierte Qualifizierung und als Chance zur Entlastung von monotonen Tätigkeiten gesehen.

Ziel dieses Artikels ist es, in das Thema „KI als Technologie zur Unterstützung von Lernprozessen“ mit einem Fokus auf adaptiven Lernsystemen und einer speziellen Berücksichtigung des Sektors der beruflichen Bildung einzuführen. Dieser Artikel beschreibt dazu zunächst die relevanten lern- und medientheoretischen Grundlagen, auf denen KI-gestützte Bildungstechnologien basieren, und stellt eine Typisierung dieser Technologien vor. Nachfolgend werden in Abschnitt 3 Einsatzszenarien für KI in der Bildung, unterteilt nach primärer Zielgruppe und Granularität des Einsatzes, beschrieben. Der Beitrag stellt dann in Abschnitt 4 Fallbeispiele und aktuelle Forschungsvorhaben aus verschiedenen Branchen der betrieblichen Bildung exemplarisch näher vor, an die sich in Abschnitt 5 eine Diskussion von aktuellen Potenzialen, Grenzen und Herausforderungen beim Einsatz von KI in der Bildung in Form von acht Thesen sowie ein Ausblick in künftig sinnvolle Handlungsfelder bezüglich KI in der Aus- und Weiterbildung anschließt.

2 Theoretischer Rahmen und Technische Dimensionen

In diesem Abschnitt soll eine kurze Übersicht über die Konzepte, Theorien und Technologien gegeben werden, welche für KI-gestützte Bildungsangebote relevant sind.

Lern- und Medientheorien

Auf der theoretischen Ebene sind hier zunächst Lerntheorien als eine wesentliche Basis für Bildungstechnologien zu nennen. Zwar ist nicht jedes heute auf dem Markt befindliche Produkt explizit lern- oder bildungstheoretisch fundiert, die konzeptionelle Funktionsweise der Systeme lässt sich aber in der Regel durchaus vor dem Hintergrund der verschiedenen Lerntheorien einordnen. Eine frühe lerntheoretische Position ist der u.a. auf Thorndike, Pawlow und Skinner zurückgehende Behaviorismus (vgl. Mills 1998), bei dem ausschließlich das beobachtbare Verhalten von Lernenden im Zusammenspiel mit Reizen aus der Umwelt – und nicht etwa Gedanken, Gefühle o.ä. – im Zentrum der Analyse stehen. Bekannte behavioristische Lerntheorien umfassen etwa die klassische Konditionierung nach Pawlow oder die operante Konditionierung nach Skinner. Frühe Computer-Based-Training-Programme, bei denen ausschließlich die möglichst schnelle korrekte Beantwortung von Fragen im Zentrum stand (und bei denen falsche Antworten sanktioniert wurden bzw. korrekte Antworten belohnt wurden) sind Beispiele für Bildungstechnologien, die auf behavioristischen Prinzipien beruhen. Obwohl der Behaviorismus aus heutiger Sicht allgemein als zu eingeschränkte Lerntheorie abgelehnt wird und heutige Bildungstechnologien nur sehr selten ausschließlich auf den Reiz-Reaktions-Schemata basieren, die dem Behaviorismus unterliegen, lässt sich durchaus ein Teil der Funktionsweise auch aktueller Lernsoftware auf zumindest teilweise behavioristische Ansätze zurückführen. Dazu gehören Übungsprogramme wie z.B. Vokabeltrainer, Rechtschreiblernprogramme oder auch spezifische Schulungssysteme etwa für die Bedienung von Maschinen. Diesen ist gemein, dass mit ihnen durch wiederholte Übungen bestimmte Fertigkeiten trainiert werden können. Der Schwerpunkt liegt oft auf der Wiederholung und Festigung eines konkret definierten Lernmaterials. Die Lernenden erhalten nach jeder Übung Rückmeldungen zur Korrektheit und werden typischerweise durch Belohnungssysteme zum Lernen motiviert (vgl. Arnold 2005). Künstliche Intelligenz spielt in rein behavioristisch orientierten Bildungstechnologien auf Grund deren einfacher Strukturierung eher selten eine Rolle – es ist aber durchaus vorstellbar, dass z.B. Verfahren des Educational Data Mining eingesetzt werden, um behavioristisch konstruierte Lernsoftware zu analysieren und zu verbessern

(z.B. bezüglich der optimalen Reihenfolge von Aufgabenpräsentationen auf Basis der statistischen Erwartung der korrekten Bearbeitung).

Eine weitere und für KI immens wichtige lerntheoretische Fundierung ist der mit Namen wie Bruner verknüpfte Kognitivismus. Kern kognitivistischer Lerntheorien sind die individuelle Informationsverarbeitung beim Menschen sowie die dazugehörigen Denk- und Verarbeitungsprozesse der Lernenden. Viele Bildungstechnologien, die auf kognitivistischen Lerntheorien basieren, modellieren Lernprozesse explizit. Teils kommen hier kognitive Architekturen wie z.B. ACT-R (Anderson et al. 2004) zum Einsatz, viele Intelligente Tutoriensysteme wie etwa ALEKS (Hagerty & Smith 2005), Andes (VanLehn et al. 2010) oder die Technologie von SquirrelAI (Cui et al. 2018) basieren auf Domänenmodellierung über Knowledge Spaces (Falmagne et al. 2013) oder Ontologien. Auf Basis dieser Modelle der Anwendungsdomänen und den Aktionen der Benutzer werden (z.B. über Bayes-Netze) die Wissensstände der Nutzenden in Lernermodellen erfasst – auf dieser technischen Basis ist dann wiederum eine Personalisierung der Anwendung passend zum aktuellen Wissensstand der Nutzer möglich, z.B. um ideal passende Aufgaben für bestehende Wissenslücken auszuwählen. Studien zeigen, dass die so konstruierten Bildungstechnologien eine hohe Effektivität erreichen können (Ma et al. 2014). Auch eine Visualisierung der Domänen- und Lernermodelle ist in kognitiven Tutorsystemen möglich, z.B. über Open Learner Models (Bull & Kay 2010) – heute oft verknüpft mit weiteren Visualisierungen, z.B. in Learning Analytics Dashboards (Bodily et al. 2018).

Bildungstechnologien vom Typ CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) sind ein Beispiel für soziale (oder soziokonstruktivistische) Modelle des Lernens. In CSCL-Systemen steht oft weniger die Vermittlung von Wissen bzw. Informationen durch den Computer an die Lernenden im Mittelpunkt. Vielmehr dienen diese Systeme dazu, Lernen in Gruppen geeignet zu unterstützen, etwa durch Unterstützung bei der Bildung von Gruppen (Konert et al. 2014) oder die Ermöglichung und Förderung von Kommunikation und Kooperation. Dass kooperatives Lernen in der Tat unter vielen Bedingungen erfolgreicher ist als individuelles Lernen konnte empirisch nachgewiesen werden (u.a. Slavin 2011). Theoretisch können die Ansätze vieler CSCL-Bildungstechnologien auf Positionen des situierten Lernens (Lave & Wenger 1991) zurückgeführt werden. Hier wird Lernen als eingebettet in den Prozess der Produktion und Reproduktion von sozial definierten Wissens- und Machtstrukturen gesehen – z.B. in einem System der Ausbildung, welches sich durch Weiterentwicklung der beteiligten Personen (von NovizInnen zu ExpertInnen, MentorInnen und MeisterInnen) selbst erhält (Lave & Wenger 1991). Eine für kollaborative Lerntechnologien wichtige weitere Theoriebasis ist der Konnektionismus. Dieser baut auf dem Konstruktivismus auf, geht aber davon aus, dass Lernen ein selbstorganisierter Prozess in realen oder virtuellen Netzwerken ist, der vor allem darin besteht, Verbindungen herzustellen. Die Kunst des individuellen Lernens besteht dann darin, diese Verbindungen für persönliche Bedürfnisse nutzbar zu machen (vgl. Stangl 2020). Künstliche Intelligenz kann in kollaborativen Bildungstechnologien z.B. dazu genutzt werden, auf Basis von Domänen- und Lernermodellen gut passende Lerngruppen oder LernpartnerInnen zu empfehlen (Hoppe 1995). Auch können KI-Verfahren verwendet werden, um Gruppeninteraktionen zu analysieren (Ferguson & Shum 2012).

Auch der Konstruktivismus ist mit Vertretern wie Piaget und Papert (1980) eine wichtige Basis für einige Bildungstechnologien. Kern des Konstruktivismus ist es, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem individuelle Repräsentationen der Welt selbstorganisiert durch die Lernenden erschaffen werden. Bei dem aus dem Konstruktivismus abgeleiteten Konstruktionismus spielt darüber hinaus das konkrete Herstellen von Artefakten als Teil des Lernprozesses eine große Rolle – dieses wird als sehr lernförderlich angesehen, da die Aktivität der Lernenden (welche nach konstruktivistischen Positionen für den Wissenserwerb essentiell ist) gesichert ist und der Ausbau der Wissensstrukturen parallel zur Erstellung des Artefakts verlaufen kann. Bildungstechnologien, die konstruktivistisch oder konstruktionistisch angelegt sind, erlauben oft einen relativ freien Umgang mit den zur Verfügung

stehenden Materialien – diese können dabei digital sein (z. B. virtuelle Programmierlernumgebungen, manipulierbare VR-Umgebungen oder virtuelle Labore und Simulationen) oder auch in der realen Welt existieren (z.B. Makerspaces, Robotik, praktische Teile in der Handwerksausbildung). Auch Mischformen existieren, etwa bei Physical Computing Lernumgebungen, bei denen die Lernenden sowohl einen Roboter bauen als auch dessen Steuerung programmieren (Schulz & Pinkwart 2015). Künstliche Intelligenz kann für konstruktivistisch/konstruktionistisch orientierte Bildungstechnologien potenziell u. a. in Form von Educational Process Mining eingesetzt werden, um die Nutzungsprozesse zu analysieren und typische Nutzungsmuster zu identifizieren (Bogarin et al. 2018). Auch wäre es denkbar, KI direkt in das konstruierte Artefakt einzubetten und dieses so in die Lage zu versetzen, während des Konstruktionsprozesses Rückmeldungen an Lernende zu geben (vgl. Schulz 2018).

Neben Lerntheorien sind für Bildungstechnologien auch weitere theoretische Fundamente relevant. Dies betrifft insbesondere medientheoretische Arbeiten – da lernunterstützende Software oft auch als „Bildungsmedien“ oder „Bildungswerkzeuge“ bezeichnet werden, bieten sich als grundlegende medientheoretische Basis z. B. die Arbeiten von McLuhan (1964) an, die Medien explizit als Werkzeuge betrachten. Auch die Arbeiten von Andersen (2003) sind für Bildungstechnologien relevant – er betrachtet drei verschiedene Rollen, die Computer haben können: Automaten, Werkzeuge und Medien. Im Kontext von Computern in der Bildung werden diese Rollen etwa durch automatisierte Analytics-Verfahren (Automaten), Lernunterstützungstools (Werkzeuge) oder CSCL-Kommunikationstools (Medien) repräsentiert (siehe auch Panke 2006 für eine weiterführende Übersicht).

Abschließend seien zu den für Bildungstechnologien zentralen Grundlagen noch drei weitere Theorien erwähnt, welche jeweils Implikationen für die Gestaltung von Lehr/Lernsoftware haben. Die Medienreichhaltigkeitstheorie (Daft & Lengel 1986) ist eine Kommunikationstheorie, die Anforderungen an Kommunikationsmedien in Abhängigkeit von der Kommunikationsaufgabe erklärt. Im Kontext von Bildungstechnologien ist die Theorie damit insbesondere für kollaborative Lerntechnologien (z. B. CSCL, MOOCs) relevant – sie besagt, dass reichhaltigere Kanäle (z. B. Videokonferenzen oder Face-to-Face-Kommunikation) für die Bewältigung komplexerer Aufgaben vorzuziehen sind, wohingegen weniger reichhaltige Kanäle (z. B. Chats) für einfachere Aufgaben oft ausreichen und sogar vorteilhaft sein können.

Auch die Kognitive Theorie des Lernens mit Multimedia (Mayer 2009) und die Theorie der kognitiven Belastung (Sweller et al. 1998) befassen sich mit der medialen Repräsentation von Lerninhalten – allerdings nicht spezifisch für kollaborative Kontexte. Die Kognitive Theorie des Lernens mit Multimedia beschreibt die Verarbeitung multimedialen Lernmaterials. Dabei wird bei der Informationsverarbeitung unterschieden hinsichtlich der Modalität der Informationsdarbietung (auditiv – visuell) und bezüglich der genutzten Codes (verbal - bildhaft). Die Informationsverarbeitungskapazität für auditiv-verbale und visuell-bildhafte Materialien werden dabei als begrenzt angenommen. Aus der Kognitiven Theorie des Lernens mit Multimedia lassen sich einige Empfehlungen für die Gestaltung von Bildungstechnologien ableiten – etwa das Modalitätsprinzip, welches die Verwendung gesprochenen anstatt geschriebenen Texts als Begleitung für bildhafte Darstellungen empfiehlt. Auch aus der Theorie der kognitiven Belastung können Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Bildungstechnologien abgeleitet werden. Die Theorie unterscheidet zwischen drei Belastungsarten, die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen. Der Belastungsanteil des Intrinsic Cognitive Load ergibt sich aus der Komplexität (Elementinteraktivität) der Anwendungsdomäne und dem Vorwissen der Lernenden. Der mit Extraneous Cognitive Load bezeichnete Belastungsanteil wird durch eine nicht ideale Gestaltung der Lernanwendung verursacht, und der Germane Cognitive Load repräsentiert den wünschenswerten und für Lernen förderlichen Teil der Belastung, bei dem kognitive Repräsentationen ausgebildet werden. Ziel bei der Gestaltung von

Bildungstechnologien ist die weitestgehende Reduzierung von Extraneous Cognitive Load unter gleichzeitiger Förderung von Germane Cognitive Load. Die in der Theorie enthaltene Modellierung von Elementinteraktivität weist konzeptionelle Ähnlichkeit zu Domänenmodellen im Kontext von Intelligenten Tutorsystemen auf; eine Berücksichtigung von Prinzipien der Theorie der kognitiven Belastung ist daher im Kontext von KI-gestützten Bildungstechnologien möglich (vgl. Courtmanche et al. 2008).

Typen von KI-Bildungstechnologien

Nachfolgend sollen einige in Forschung und Praxis wichtige Arten KI-gestützter Bildungstechnologien mitsamt den typischen Einsatzzielen vorgestellt werden. Die Ausführungen differenzieren dabei hinsichtlich dreier Unterscheidungsdimensionen: der Form von Künstlicher Intelligenz, die in den Systemen eingebaut ist, dem Ziel des Systemeinsatzes und der Repräsentationsform.

Eine wesentliche Unterscheidung von KI-basierten Bildungstechnologien kann über die Art der im System eingesetzten KI-Verfahren durchgeführt werden. Hier können als wesentliche Typen wissensbasiert/symbolische und statistisch/lernende sowie hybride Systemtypen angeführt werden. Wissensbasierte Systeme sind allgemein gefasst Computerprogramme, die eine Wissensbasis zur Lösung komplexer Probleme verwenden. Wissensbasierte Bildungstechnologien beinhalten daher eine Wissensbasis und einen Inferenzmechanismus. Der erste Teil, die Wissensbasis, stellt Fakten über die Welt (z. B. Anwendungsdomäne, zu lernende Konzepte, etc.) dar, oft in einer Art Ontologie. Zusätzlich kann etwa auch der aktuelle Wissensstand der LernerInnen im Computer repräsentiert werden. Der zweite Teil, der Inferenzmechanismus, ermöglicht die Ableitung neuer Erkenntnisse wie z. B. die Diagnose eines Lernfortschritts. Inferenzen können z. B. über WENN-DANN-Regeln in Verbindung mit Vorwärts- oder Rückwärtsverkettungsansätzen, über Verfahren wie etwa Bayes'sche Netze oder andere symbolische Logikkalküle erfolgen. Bildungstechnologien, welche statistisch/lernende Verfahren der KI wie etwa neuronale Netze oder Support Vector Machines einsetzen, lernen aus Beispielen und können dieses Wissen nach Abschluss der Trainingsphase verallgemeinern. Zu diesem Zweck bauen Algorithmen des maschinellen Lernens ein statistisches Modell auf, das auf Trainingsdaten basiert. Das System lernt dabei die Beispiele nicht einfach auswendig, sondern erlernt Muster und Regelmäßigkeiten in den Daten. So kann das System nach der Trainingsphase dann auch unbekannte Daten beurteilen. Methoden des maschinellen Lernens werden häufig für Klassifizierungs- und Vorhersageaufgaben eingesetzt – im Bildungstechnologiebereich z. B. zur Klassifikation von Lernertypen (Rüdian et al. 2019) oder zur Vorhersage von Erfolg (Ye & Biswas 2014), um dann bei prognostiziertem Risiko ggf. (automatisierte) Interventionen oder Unterstützungsmechanismen zu initiieren. Sowohl wissensbasiert/symbolische als auch statistisch/lernende Verfahren haben im Bildungskontext Vor- und Nachteile. So ermöglichen wissensbasierte KI-Verfahren es in der Regel über das explizit codierte Wissen und die (idealerweise fachlich/didaktisch fundierten) Regeln auf eine einfache Weise, die Entscheidungen oder Empfehlungen des Systems den NutzerInnen zu begründen und zu erklären. Auch benötigen sie keine expliziten Datensammlungen – bei den für statistisch/lernende Verfahren im Bildungsbereich benötigten Daten handelt es sich in der Regel zu einem großen Teil um personenbezogene Daten (wie individuelle Leistungsdaten, Noten, Testergebnisse etc.), so dass besonders hohe Anforderungen an Datensicherheit und Datenschutz gestellt werden. Liegen hingegen ausreichend Daten vor, so haben maschinelle Lernverfahren oft Vorteile z. B. hinsichtlich der Vorhersagegüte bei Klassifikationsentscheidungen (z. B. Asif et al. 2017) oder der höheren Breite an Anwendungsmöglichkeiten (Verarbeitung von Audio, Sprache, Bilddaten, Sensordaten etc.). Werden maschinelle Lernverfahren mit symbolischer KI kombiniert, resultieren hybride Ansätze (Greer et al. 2015, Wahlster 2020), welche die Vorteile beider Verfahren miteinander kombinieren können. Zur Ermöglichung gezielter Reflexion über automatische Rückmeldungen auf durch Lernende produzierte Texte setzen etwa Wang et al. (2020) Naive-Bayes-Klassifikatoren zur

Erkennung der Qualität der Lernerlösungen ein und kombinieren dies mit explizit codiertem Domänenwissen, welches die Studierenden zur Reflexion über ihre Lösung verwenden können.

Neben der Art der KI-Algorithmen variieren auch die Ziele des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz in Bildungstechnologien. Einige Systeme setzen KI für eine automatisierte Bewertung bzw. Benotung von Lernerlösungen ein. Ziel ist dabei in der Regel, Lernenden Rückmeldungen zum Lernstand zu geben, ohne die insbesondere selbstgesteuertes Lernen nur schwierig möglich ist (Butler & Winne 1995), und dies gleichzeitig skalierbar vollautomatisiert zu tun. Viele dieser Systeme (insbesondere jene, bei denen Freitextaufgaben oder sonstige komplexere Aufgabenstellungen eingesetzt werden) verwenden dazu maschinelle Lernverfahren, gerade in tutoriellen Systemen kommt aber auch symbolische KI für automatisierte Bewertungen zum Einsatz. Die automatisierte Bewertung von Lernerlösungen ist Voraussetzung für eine zweite häufige Zielsetzung von KI im Bildungsbereich: die Unterstützung adaptiven Lernens – intelligenter Lehrmethoden, die es ermöglichen, Lernangebote, Ressourcen und Lernaktivitäten so passgenau für einzelne NutzerInnen bereitzustellen, dass diese den individuellen Bedürfnissen (Fähigkeiten, Kompetenzen, Erwartungen etc.) möglichst optimal entsprechen. Basierend auf im System erhobenen Indikatoren wie etwa Lernstatus, Kompetenzniveau oder Interessen werden in adaptiven Bildungstechnologien mit der Zielsetzung einer Vermeidung von Über- oder Unterforderung und der Erhöhung der Motivation über KI-Algorithmen automatisch Inhalte angeboten, die den Bedürfnissen der jeweiligen Lernenden entsprechen. Die Realisierung von adaptiven Lernangeboten erfordert feingranular bereitstehende Lernmaterialien, ein möglichst präzises Domänenmodell und ein technisch formalisierbares didaktisches Modell. Wissensbasiert/symbolische KI-Ansätze sind für diese Zielsetzung prädestiniert. Ein weiteres mögliches Ziel von KI-Technologien in der Bildung besteht darin, individuellen Nachteilen wie z. B. Behinderungen über Assistenzsysteme bzw. assistive Technologien zu begegnen. Teils verwenden assistive Technologien im Kontext von Sinnesbehinderungen (wie Screenreader, Spracheingaben, Bilderkennungssoftware mit Text-to-Speech) Methoden der Künstlichen Intelligenz und sind auch speziell in Bildungskontexten verwendbar (Quek et al. 2016). Für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen oder mit Autismus können auch adaptive Lerntechnologien gut einsetzbar sein (Hassan & Pinkwart 2019). Eine vierte oft mit KI in der Bildung verknüpfte Zielsetzung sind automatisierte Analysen auf Datensätzen mit dem Ziel der Gewinnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen oder der datenbasierten Verbesserung von Lerntechnologien. Verfahren des Learning Analytics und des Educational Data Mining (Baker & Inventado 2014) sind mit diesen Zielen verknüpft. Learning Analytics bezeichnet die kontinuierliche Messung, Sammlung, Analyse und Interpretation von Lernsystemdaten zum besseren Verständnis und zur Optimierung des Lernens in den jeweiligen digitalen Lernumgebungen. Neben Informationen, die im Rahmen der Nutzung von Lernanwendungen entstehen (z. B. Logfiles), können über multimodale Analytics-Ansätze auch weitere Daten wie etwa Augen- und Kopfbewegungen, Körperdaten (Puls, Blutdruck), Gesichtsausdrücke, Gehirnströme etc. ausgewertet werden (Blikstein 2013, Di Mitri et al. 2018) und erlauben so z. B. grundsätzlich die Berücksichtigung von Emotion in KI-gestützten Bildungstechnologien (Yun et al. 2019), auch wenn derzeit diese Systeme noch Grenzen hinsichtlich der Erkennungsqualität haben (Barrett et al. 2019), die für die Konstruktion von Bildungstechnologien zu berücksichtigen sind.

Als letzte zentrale Unterscheidungsdimension für KI-basierte Bildungstechnologien soll in diesem Beitrag auf die Repräsentations- bzw. Interaktionsform der Technologie eingegangen werden. Hierbei haben sich aktuell fünf Kerntypen etabliert: klassische Web/App-Anwendungen, sprach/dialogorientierte Systeme, visuelle Repräsentationen, XR-Systeme (als Oberbegriff für Augmented Reality, Virtual Reality und Mixed Reality) und Robotik-Anwendungen. Die weitaus meisten der aktuell eingesetzten Bildungstechnologien sind in Form von „klassischen“ Webseiten, installierbarer Software oder Apps mit Interaktionsmethoden realisiert, die Lernende auch aus der Verwendung anderer Software kennen (WIMP-Metaphorik, Point-and-Click, Direkte Manipulation

oder etablierte Methoden der Informationsrepräsentation und Navigation in mobilen Anwendungen). KI-Funktionalität wird hier z.B. über personalisierte Empfehlungen oder Nachrichten sowie über die adaptive Gestaltung der Interaktion mit dem System integriert. Seit einigen Jahren nehmen – u.a. aufgrund der Fortschritte in der KI speziell im Bereich der Sprachverarbeitung – auch sprach- bzw. dialogorientierte Bildungstechnologiesysteme (teils unter den Bezeichnungen Learnbots oder Conversational Agents) eine prominentere Rolle ein (Roos 2018, Le et al. 2018). In diesem Interaktionsparadigma „sprechen“ Lernende mit der KI, welche dann z.B. über sokratische Dialoge, über gezielte Wissensabfragen oder über die Möglichkeit des Nachfragens bei Verständnisproblemen im Lernprozess Unterstützung leisten kann (z.B. Wartschinski et al. 2017). Explizite visuelle Repräsentationen der (Resultate von) KI-Systemfunktionen sind ein dritter Repräsentationstyp. Hierunter fallen beispielsweise visuell im Interface dargestellte Lernbegleiter (Hietala & Niemirepo 1989), oft mit Möglichkeit der Interaktion mit diesen, oder die bereits erwähnten offenen Lernermodelle (Bull & Kay 2010) und Visualisierungen in Learning Analytics Dashboards (Bodily et al. 2018). Die beiden letzteren Ansätze haben es zum Ziel, die oft durchaus komplexen Ergebnisse von KI-Analysen für die Nutzenden verständlich und auf einfache Art zugänglich zu machen – oft verknüpft mit der Erwartung, dass diese dann auf dieser Basis ihren Lernprozess besser regulieren und steuern können. Studien belegen, dass visuelle Attraktivität und die Benutzerfreundlichkeit von Dashboards zentrale Faktoren für den Grad des Verstehens von Benutzern sind, und dieser sich wiederum auf die wahrgenommene Nützlichkeit der Dashboards und damit auf potenzielle Verhaltensänderungen bei Lernenden auswirkt (Park & Jo 2019). Die Nutzung von Augmented Reality, Virtual Reality und Mixed Reality ist eine weitere Repräsentationsform für KI-basierte Bildungstechnologien, welche historisch schon recht weit zurückreicht (Rickel et al. 1997). Aktuelle Anwendungen, welche KI mit XR kombinieren, finden sich beispielsweise in dem Gebiet Fahrertraining (Ropelato et al. 2017) oder in der Mediziner Ausbildung (Almiyad et al. 2017) – insgesamt besteht aber für die Repräsentationsform XR im Kontext von KI-gestützten Bildungstechnologien noch einiger Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich intelligent/adaptiver Unterstützung (vgl. Herbert et al. 2018, Chavez et al. 2017). Ähnliches gilt für die letzte Repräsentationsform in dieser Zusammenstellung: die physische Repräsentation der KI-gestützten Bildungstechnologie, etwa über Ansätze des Physical Computing (s.o., Schulz 2018) oder über Roboter als „Learnbots“, welche dann z.B. oben genannte Funktionen eines Lernbegleiters wahrnehmen können, gleichzeitig über die Sensoren Learning-Analytics-Funktionalität bieten können und auch für nicht rein kognitive Tätigkeiten (z. B. Handwerk) durch ihre Interaktionsmöglichkeiten gut geeignet sind. Studien zeigen durchaus positive Effekte beim Einsatz von Robotern als Lernassistenten auf (Michaelis et al. 2018, Wei & Hung 2011), es mangelt jedoch derzeit noch an breiteren Forschungserkenntnissen gerade in den sich für Robotik anbietenden Berufsbildungskontexten.

3 Einsatzebenen

Vor dem in Abschnitt 2 dargestellten theoretischen und technischen Hintergrund soll nun auf Einsatzszenarien für KI in der Aus- und Weiterbildung eingegangen werden. Grundsätzlich kann und sollte bei Einsatzgebieten von KI in der Bildung hinsichtlich der Granularität und der primären Zielgruppe der jeweiligen Anwendung – etwa die Lernenden, die Lehrenden oder die Aus- und Weiterbildungsorganisation als Ganzes – unterschieden werden (Pinkwart 2020).

Auf der **Mikroebene** geht es um die KI-basierte Unterstützung von konkreten Lehr- und Lernprozessen, welche zeitlich begrenzt sind und einen überschaubaren Umfang haben. Ziel ist es, den konkreten Wissenserwerb zu unterstützen bzw. durch Übung und Training bestehende Kompetenzen zu sichern und zu festigen. Viele kleinere Schulungsprogramme zu speziellen Aus- und Weiterbildungsthemen

(Microlearning-Inhalte) fallen in die Mikroebene. Für viele Aus- und Weiterbildungsszenarien sind auf der Mikroebene auch interaktive und multisensorische Lern- und Übungsprogramme relevant. Diese umfassen z.B. Ansätze der Augmented, Mixed und Virtual Reality ebenso wie den Einsatz von fortgeschrittener Sensorik. So wurden beispielsweise im BMBF-Projekt LISA¹ Sensoren wie Pulsmesser, Hautwiderstandsmesser und Umgebungssensoren in Lerntechnologien integriert. Darauf aufbauend passten die Systeme die individuelle Lernumgebung an und boten den Lernenden Handlungsoptionen dazu an, wie sie ihr eigenes Lernverhalten anpassen und verbessern können – ein im Projekt verfolgtes Beispiel ist hier die Adaptierung des Schwierigkeitsgrades bei Rettungskräftebildungen (in Simulatoren) auf Basis von Performanz des Nutzenden und des Stressgrades (Fortenbacher et al. 2019). Auch Lernbegleiter, z. B. in Form von Robotern, können auf der Mikroebene eingesetzt werden, etwa zur Unterstützung affektiver/emotionaler Dimensionen des Lernens (Yun et al. 2019), zur Stützung von kollaborativen Lernformen (Traeger et al. 2020) oder auch zur Assistenz bei konkreten handwerklichen Aufgaben, welche physische Aktivität erfordern. Diese Formen von Mensch-Roboter-Interaktion – oft über den Begriff der „Cobots“ als kollaborierende Roboter charakterisiert, die mehr als nur Assistenzdienste leisten, sondern mit Menschen in Arbeitsprozessen zusammenarbeiten – haben Potenzial in einer ganzen Reihe von handwerklichen Tätigkeiten (Djuric et al. 2016). Nach einer Blitzumfrage des Zentralverbands Deutsches Handwerk (2019) sehen 71% der Befragten einen Bedarf der stärkeren Verankerung von KI in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung im Handwerk (vgl. auch Guthard 2020). Auch auf der Mikroebene des Einsatzes von Digitalisierung in der Bildung angesiedelt sind Systeme, welche XR in der Berufsbildung zu spezifischen, oft kurzfristigen, Schulungszwecken einsetzen. Aktuelle Beispiele hierfür finden sich etwa in den Gebieten der Lackiererausbildung (Weise et al. 2020) oder in der Ausbildung der Kfz-Branche (Guo et al. 2019) – wie in Abschnitt 2 bereits skizziert, besteht aber durchaus noch Potenzial bezüglich einer tieferen Integration von KI (und spezifisch Adaptivität) in die XR-Bildungstechnologien.

KI-Unterstützung auf der **Mesoebene** – also der mittelfristige Einsatz von KI über die kürzere Verwendung in spezifischen Lernszenarien hinweg – kann z. B. durch Verfahren der automatisierten Analyse von Lernergebnissen und Leistungsdaten erfolgen, etwa durch Verfahren des Educational Data Mining und der Learning Analytics. Über diese Ansätze können Fortschritte im Lernprozess quasi in Echtzeit ermittelt und visualisiert werden, z. B. als Grundlage für eine Selbstreflexion der Nutzer etwa über Learning Analytics Dashboards (Verbert et al. 2013). Auch können sie zu einer Identifikation von individuellen Lernmustern, -ständen und -vorlieben dienen und so eine Basis für eine adaptive Gestaltung von Bildungstechnologien darstellen – etwa über die Personalisierung von Trainingsaufgaben, die Empfehlung von Bildungsmaterialien passend zu aktuellen Interessen oder Bedarfen, oder die Empfehlung von potenziell relevanten Kontaktpersonen (Tutoren, Peer-Learners). Auf der Mesoebene der KI-Unterstützung angesiedelt sind auch KI-basierte Assistenztechnologien, welche nicht spezifisch auf Bildungskontexte zugeschnitten, aber in diesen einsetzbar sind – wie etwa Text-to-Speech-Generatoren oder Bilderkennungssoftware mit Audioausgabe für blinde NutzerInnen bzw. Personen mit Dyslexie, oder andere fachspezifische digitale Assistenzsysteme, welche nicht primär für einen kurzfristigen Einsatz zu Schulungszwecken gedacht sind, sondern z. B. auch über einen mittelfristigen Zeitraum als integrierte Lern- und Arbeitswerkzeuge eingesetzt werden. Dies trifft nach Link et al. (2020) für einen nicht geringen Teil der Assistenzsysteme zu. KI-gestützte Bildungstechnologien auf der Mesoebene können Rollen von virtuellen Hilfslehrpersonen oder automatisierten TutorInnen einnehmen. So können sie etwa durch eine Nutzung von Wissensdatenbanken Fragen der Lernenden auf den jeweils passenden Lern- und Wissensniveaus und ggf. im Kontext der jeweiligen Fragestellung beantworten. Die Reaktion kann dabei je nach Interaktionsparadigma entsprechend ausfallen, etwa durch Hinweise, Sprachnachrichten oder

¹ <https://www.interaktive-technologien.de/projekte/lisa>

Handlungen von Lernassistenten. Auch können KI-Bildungstechnologien auf der Mesoebene AusbilderInnen im Bereich des Prüfens und Testens unterstützen, indem Leistungen der Lernenden zu speziellen Aufgaben in unterschiedlichen Prüfungsformaten automatisch analysiert und bewertet werden können. Aus diesen Bewertungen können dann wiederum für die Lehrkräfte Erkenntnisse für die weitere Gestaltung der Ausbildungsprozesse abgeleitet werden. Potenziale für KI auf der Mesoebene der betrieblichen Aus- und Weiterbildung bestehen weiterhin in der adaptiven und individualisierten Generierung von Aus- und Weiterbildungsempfehlungen wie z. B. der Generierung von Plänen zur sinnvollen Kombination verschiedener Microlearnings, Tests und praktischer Tätigkeiten bis hin zu einem personalisierten Fortbildungsmodul (vgl. Ullrich 2007, Rüdian & Pinkwart 2019).

Auf der **Makroebene** sind KI-Bildungstechnologien angesiedelt, welche längerfristige – bis hin zu permanenter – Unterstützungsfunktionalität für die jeweilige Zielgruppe leisten. Hier bieten insbesondere dauerhaft eingesetzte Verfahren des Educational Data Mining bzw. der Learning Analytics die Möglichkeit, datenbasiert eine umfassende Evaluation der Nutzung und der Effektivität von Aus- und Weiterbildungsangeboten durchzuführen. Neben der dadurch entstehenden Transparenz können auf dieser Grundlage, ggf. in Kombination mit weiteren Daten etwa zu künftig im Unternehmen verstärkt notwendigen Kompetenzen, Optimierungen an den Angeboten selbst vorgenommen werden oder Empfehlungen für menschliche Akteure (Weiterbildungsverantwortliche oder -anbieter, MitarbeiterInnen, Bereichsleitungen etc.) abgeleitet werden. Langfristig wird so durch KI-gestützte Analysen des Weiterbildungsgeschehens eine gezieltere strategische Planung von Aus- und Weiterbildung im Unternehmen möglich und somit die Kompetenzentwicklung von Belegschaften unterstützt. Neben dieser Dimension der organisationalen Weiterentwicklung sind auf der Makroebene der KI-Bildungstechnologien auch die Unterstützung für Individuen bei der längerfristigen beruflichen Orientierung und der damit verknüpften sinnvollen perspektivischen Auswahl von Weiterbildungsangeboten möglich. Während jedoch Empfehlungssysteme für Jobs durchaus bereits existieren, teilweise in Karriereportale und soziale Netzwerke integriert, und auch Online-Kursplattformen sowie Hochschulen mit Analytics-Verfahren und personalisierten Empfehlungen für einzelne Lernende arbeiten sowie Analysen zur Förderung von Adoption dieser Systeme existieren (Gasevic et al. 2019), sind entsprechende Arbeiten im Bereich der beruflichen Aus- und Weiterbildung deutlich weniger prominent verfügbar (Rivera et al. 2018).

Zusammenfassend kann hinsichtlich der verschiedenen Einsatzebenen von KI in der beruflichen Bildung festgestellt werden, dass in einer Mehrzahl der existierenden Arbeiten primär die lernenden Personen selbst (und nicht etwa AusbilderInnen oder Organisationen), z. B. über Assistenzsysteme, von der KI-Funktionalität profitieren. Viele existierende Systeme legen ihren Fokus dabei auf konkrete Lernprozesse (Mikroebene) oder einen mittelfristigen Einsatz im Kontext von integrierten Lern- und Arbeitsassistenzsystemen (Mesoebene). Es existieren kaum Publikationen zu einem Einsatz von KI auf der Makroebene, etwa zum langfristig/strategischen Aus- und Weiterbildungsmanagement.

4 Exemplarische aktuelle Forschungsvorhaben und Projektbeispiele

Während der Schwerpunkt der Ausführungen in den Abschnitten 2 und 3 auf einer übersichtsartigen Darstellung des Forschungs- und Anwendungsgebietes KI in der Bildung lag, sollen nun exemplarisch einige Fallbeispiele aus der aktuellen Forschung etwas detaillierter dargestellt werden. Nachfolgend finden sich dazu zwei projektübergreifende Branchenbeispiele sowie Beschreibungen zu zwei derzeit in Durchführung befindlichen Forschungsprojekten.

Branchenbeispiel 1: Produktion

Gleich eine ganze Reihe aktueller Forschungsprojekte widmet sich Anwendungen von KI im Kontext von Produktion und in produktionsnahen Bereichen. Hier spielt KI etwa in Form von Spracherkennung im Produktionsumfeld eine wichtige Rolle, da so eine Freihandbedienung von Systemen ermöglicht wird, was z.B. in der Logistik ein wichtiger Faktor ist. Eine weitere wesentliche Klasse von KI-Anwendungen im Produktionsumfeld sind Assistenzsysteme. Hatiboglu et al. (2019) berichten von Anwendungen für Assistenzsysteme, bei denen die Adaptivität darin besteht, dass für die Montage ungeschulten MitarbeiterInnen Anweisungen als Video bereitgestellt werden, während die Unterstützung später reduziert werden kann (schnell lesbarer Text und Bilder). Auch im BMBF-Projekt APPSist standen Anwendungen von KI im Kontext von Industrie 4.0 im Mittelpunkt: Ziel war die Erstellung einer allgemeinen, wiederverwendbaren und leicht erweiterbaren Softwarearchitektur für mobile, kontextsensitive und intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste. Während erstere beim Beheben eines aufgetretenen Problems (z.B. bei der Wartung einer Maschine) zum Einsatz kamen, unterstützten letztere die Wissensvermittlung und zielten damit auf das Erreichen von individuellen mittel- und langfristigen Entwicklungszielen ab (Ullrich & Igel 2017). In APPSist kamen dabei u.a. auch AR-Technologien zum Einsatz. Der Einsatz von AR findet sich auch in vielen anderen Assistenzsystemen im produktionsnahen Bereich, etwa integriert mit Objekterkennungs-KI zur Unterstützung von NutzerInnen während eines Montageprozesses durch adaptive Einblendungen von Informationen passend zu Prozessschritten und Objekten (z.B. Digital Manufacturing 2020). Politisch wird der Einsatz von XR-Technologien für die berufliche Bildung unterstützt – so wird im Rahmen der BMBF-Förderlinie „VR/AR in der beruflichen Bildung“ etwa das Projekt LeARn4Assembly² gefördert. In diesem Projekt werden anhand von drei Anwendungsszenarien aus dem Produktionsbereich (Mechatronik, Gewinderollen-Aufbereitung und Zylindermontage) arbeitsplatzintegrierte Lern- und Assistenzlösungen unter Einsatz von VR- und AR-Technologien entwickelt und getestet. Dabei findet auch hier eine integrierte Betrachtung von Lern- und Assistenzsystemen statt (Haase et al. 2020, vgl. Ullrich & Igel 2017, Link et al. 2020), und jenseits der Assistenzsysteme selbst wird auch ein Fokus auf die lernförderliche Gestaltung des Arbeitsplatzes insgesamt gelegt. Auch die Arbeiten von Mekacher (2019) thematisieren die Verwendung von XR-Technologien mit eingebetteten Assistenzdiensten und geben als Anwendungsbeispiele z.B. den Automobilsektor an. Die Lernenden (bei Mekacher auch SchülerInnen mit Behinderung in der Berufsausbildung) setzen AR-Technologie als Assistenzsystem ein, um nicht sichtbare Komponenten oder die komplexen Zusammenhänge zwischen Modulen zu visualisieren, Zusatzinformationen und technische Dokumentationen einzublenden, um die Fehlersuche und -behebung zu beschleunigen, und um Montagevorgänge zu visualisieren. Insgesamt ist in der Produktionsbranche derzeit ein Trend hin zu XR-basierten Assistenzsystemen (durchaus als Kombination von Lern- und Arbeitsunterstützungsfunktionen) mit teilweise integrierten adaptiven oder adaptierbaren Komponenten erkennbar. Wie bereits in Abschnitt 2 ausgeführt, variiert dabei der Grad des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz zwischen den verschiedenen Systemen.

Branchenbeispiel 2: Pflege

Auch im Bereich der Pflege existieren bereits einige Beispiele für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Übersichtsartikel (z.B. Robert 2019, de Jesus 2019) zeigen verschiedene Rollen, die Verfahren der Künstlichen Intelligenz in der Pflegebranche einnehmen können. Eine davon ist Robotik: diese spielt in Form von Cobots eine Rolle in Szenarien, in denen die Pflege und Betreuung teilweise durch Roboter und teilweise durch menschliche PflegerInnen durchgeführt wird. So finden sich internationale Beispiele an der Duke University, die mit dem Tele-Robotic Intelligent Nursing Assistant (TRINA) einen (ferngesteuerten, nicht komplett KI-getriebenen) Pflegeroboter konstruieren, der sich an MitarbeiterInnen im Gesundheitswesen richtet, die z. B. PatientInnen in Quarantäne betreuen und

² <https://www.learn4assembly.de>

dadurch hohen Infektionsrisikos ausgesetzt sind (Li et al. 2017). Robotische Assistenten werden beispielsweise auch im Kontext von Kindern mit ASD eingesetzt (Jain et al. 2020) und können auch große Potenziale für die Unterstützung in der beruflichen Rehabilitation aufweisen, sodass diese Repräsentationsform von KI daher zukünftig auch das Lernen und Arbeiten von Menschen mit Behinderungen zunehmend unterstützen könnte. Neben Robotik ist auch die Nutzung von Patientendaten (insbes. Gesundheitsdaten) und deren computergestützter Interpretation, etwa zur Unterstützung bei der Dokumentation und Einsatzplanung, ein Einsatzgebiet von KI in der Pflege (z. B. Robert 2019). Auch in Deutschland werden bzw. wurden eine ganze Reihe von Forschungsprojekten zum Einsatz von Unterstützungstechnologien in der Pflegebranche durchgeführt. Während die meisten Projekte dabei Lern- und Arbeitsunterstützung miteinander integrieren und damit keine dezidierten Bildungstechnologien, sondern kombinierte Assistenzsysteme untersuchen, widmete sich das BMBF-Projekt AKOLEP explizit der Lernunterstützung. Technische Systeme sind in der Pflegeausbildung noch wenig verbreitet (Trübswetter & Figueiredo 2019) – Ziel von AKOLEP war es, Lernenden in der Pflegeausbildung Rückmeldungen zu ihren fachlichen und sprachlichen Kompetenzen zu geben. Technisch wurden im Projekt Prozessmodelle, eine Lernumgebung mit Sensorik und Displays sowie Software mit Anleitungen eingesetzt – Pflegende konnten direktes Feedback auf ihre Ausübung und ihren Lernfortschritt bei typischen Pflegetätigkeiten wie Körperwäsche, Aufstehunterstützung, Wundversorgung oder Hygienemaßnahmen bekommen. Integrierte Lern- und Arbeitsunterstützung wurde im BMBF-Projekt KoLeGe³ in Form einer mobilen Pflegedienst-App realisiert, welche auch jenseits der individuellen Unterstützung Funktionen für Arbeitsteams beinhaltet (z. B. Nachrichten, digitale Übergaben) – eine detaillierte Publikation von Evaluationsergebnissen bzgl. der App ist nach Wissensstand der AutorInnen bislang noch nicht erfolgt. Im BMAS-Projekt Sprint-Doku (Becker & Recken 2019) steht auch Software, hier speziell für eine intelligente Vernetzung für Altenpflegedokumentationssysteme, im Mittelpunkt. Mittels digitaler Dokumentation und unter Einsatz von KI-Verfahren zur Spracherkennung sollen im Projekt Methoden ermittelt werden, die zu einer Entlastung von Pflegekräften und VerwaltungsmitarbeiterInnen hinsichtlich der aufwändigen Dokumentationsarbeit führen. Im BMAS-Projekt PFL-EX⁴ stand nicht eine einzelne Technologie im Mittelpunkt, sondern es wurden eine Reihe verschiedener Digitaler Technologien durch Pflegekräfte erprobt. Zwischenergebnisse (veröffentlicht auf der Projekthomepage) zeigen, dass viele der getesteten Technologien (Videovisiten und –konferenzen, Messenger, Lernplattformen) durch die Pflegekräfte intuitiv nutzbar sind, zu deren Pflegeverständnis passen und dabei helfen können, Belastungen zu reduzieren. Da KI-Technologien insbesondere im Pflegesektor auch oft ethische Fragen aufwerfen (Betreuung Schutzbedürftiger durch Maschinen, Fragen nach Verantwortung bei fehlerhafter Einschätzung von Situationen durch KI, etc.), gibt es in vielen Förderprojekten auch Arbeitspakete zu ELSI-Begleitforschung – so wird etwa im BMAS-Projekt EXPERTISE 4.0 die Wissensmanagement-Plattform WiQQi dazu eingesetzt, nicht nur die fachlichen, sondern auch die ethischen Aspekte des Einsatzes technischer Lösungen in der Pflege zu diskutieren⁵. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Lern- und Assistenzsysteme in der Pflegebranche in ihrer Verbreitung derzeit durchaus zunehmen, wobei der Schwerpunkt eher auf berufsintegrierten Assistenzsystemen als auf reinen Schulungssystemen liegt. Künstliche Intelligenz spielt z. B. über Robotik oder Sprachinteraktion eine Rolle. In beruflichen Bildungskontexten werden die Möglichkeiten und Notwendigkeiten von Digitalisierung in der Pflegeausbildung im Allgemeinen durchaus diskutiert (z. B. Ortmann-Welp 2020), adaptive Technologien werden aber noch eher selten verwendet.

³ <https://kolegeprojekt.uni-bremen.de/>

⁴ <https://pfl-ex.de/>

⁵ <https://www.expertise-vier-punkt-null.de/>

Projektbeispiel 1: KI-gestützte Lösungen für betriebliche Weiterbildung

Der demographische und KI-getriebene digitale Wandel der Arbeitswelt birgt für Unternehmen und Beschäftigte einige Potenziale und Herausforderungen. In diesem Text wurden Potenziale für die betriebliche Bildung bereits anhand einiger Beispiele aufgezeigt. Mit den Veränderungsprozessen durch KI (z.B. hinsichtlich Tätigkeitsprofile und Verhältnis zwischen Mensch und Maschine) gehen jedoch auch sich ändernde Anforderungen an Qualifizierung und Kompetenzen der Belegschaft einher, denen u.a. durch adaptive Bildungstechnologien begegnet werden kann. Im Rahmen des BMAS-Experimentierraumprojekts NAWID⁶ befassen sich Unternehmens- und Wissenschaftspartner gemeinsam mit ebendiesen Potenzialen und Herausforderungen. Die Projektbeteiligten entwickeln und erproben dabei KI-basierte Assistenz- und Wissensdienste zur Unterstützung von personalisiertem Lernen am Arbeitsplatz. Dabei werden zum einen unternehmensspezifische Bildungsräume berücksichtigt und konkrete – an den Bedarfen der beteiligten Unternehmen ausgerichtete – Lösungen für die digitale Transformation beruflicher Bildung, lebenslangen Lernens und betrieblicher Qualifizierung erarbeitet. Zum anderen werden auch übergeordnete Leitfragen der Demographie (z. B. in Bezug auf Sicherung von Erfahrungswissen oder intergenerationaler Zusammenarbeit) sowie Fragen des Wandels der Lernkultur im Zuge digitaler Transformationsprozesse berücksichtigt.

Die Methode der BMAS-Lern- und Experimentierräume⁷ unterstützt dabei Unternehmen und Beschäftigte darin, sich in einem geschützten Rahmen und in einem offenen und vertrauensvollen Austausch mit entsprechenden Fragen zu befassen und die Arbeitswelt der Zukunft gemeinsam zu gestalten. Ein besonderer Fokus des Projekts liegt auf sozialpartnerschaftlichen Dialogprozessen. So werden im Prozess der gemeinsamen modellhaften Entwicklung und Erprobung von KI-basierten Assistenz- und Wissensdiensten seit Projektbeginn die Sozialpartner und teils auch Beschäftigte selbst mit eingebunden. Dieser partizipative, co-kreative Gestaltungsprozess ermöglicht es, Herausforderungen (z.B. hinsichtlich Datenschutz oder Akzeptanz) frühzeitig zu erkennen und gemeinsam mögliche Lösungen zu diskutieren und in die Entwicklung einfließen zu lassen. Hierbei profitieren alle Projektpartner auch von dem unternehmensübergreifenden Austausch und Wissenstransfer.

Die gemeinsame modellhafte Entwicklung und Erprobung der KI-Systeme erfolgt für verschiedene Anwendungsfälle, die personalisiertes Lernen auf dem Office Floor und auf dem Shop Floor adressieren. Im Zentrum eines Anwendungsfalls steht dabei die personalisierte Weiterbildung mittels adaptivem E-Learning. Hierbei wird ein wissensbasiertes System entwickelt und erprobt, welches adaptive Lernunterstützung auf der Mikroebene leisten soll. Das System erweitert ein inhaltlich existierendes E-Learning-Angebot um nutzeradaptive Unterstützungsangebote, die insbesondere das Monitoring und Management des eigenen Lernprozesses fördern sollen (z.B. die Reflexion der Lernenden über den Lernfortschritt, Prüfung des eigenen Verständnisses der präsentierten Lerninhalte). Dadurch soll das System auch selbstorganisiertes Lernen unterstützen, welches insbesondere relevant für arbeitsplatznahe und lebenslange Lernszenarien ist.

In einem weiteren Use Case steht die personalisierte Aus- und Weiterbildung in der Produktion im Fokus. Konkret soll das Erlernen und Trainieren eines komplexen Montageprozesses (Montage der Mischeinheit eines Klimarohrsystems im Flugzeugbau) unterstützt werden, für das neben differenziertem Fachwissen auch anspruchsvolle manuelle Fertigkeiten benötigt werden. Die Unterstützung adaptiven Lernens auf der Mikroebene soll realisiert werden, indem das System relevantes Domänenwissen sowie Informationen über die individuellen Kompetenzen und Vorerfahrungen der Lernenden mit datenbasierten Analysen (z.B. sensorbasierte Erfassung von Interaktionen der Lernenden mit dem System, Bauteilbewegungen, etc.) kombiniert, Probleme beim

⁶ <https://www.experimentierraume.de/projekte/inqa-experimentierraume/nawid/>

⁷ <https://www.experimentierraume.de/die-idee/was-sind-experimentierraume/>

Lernen und der Montage erkennt und Hilfestellungen in Echtzeit anbietet. Bei der Erarbeitung der für das hybride KI-System erforderlichen Komponenten (z.B. Domänenmodell, didaktisches Wissen, feingranulare Lernmaterialien) wird mit Beschäftigten, Betriebsräten und Auszubildenden zusammengearbeitet. Dadurch soll bestehende Expertise und Erfahrungswissen im Unternehmen erfasst und durch die Einbindung dieser Akteure (z.B. auch älterer Beschäftigter) als Co-Designer innovativer Qualifizierungsmaßnahmen die Adoption der Systeme gefördert werden.

Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse werden für andere Projekte und Unternehmen über das Projekt hinaus zugänglich gemacht, damit diese daraus lernen und sie handlungsleitend für eigene Entwicklungs- und Implementationsprozesse von KI-Bildungstechnologien sowie zukünftig für strategische Planungen der betrieblichen Aus- und Weiterbildung auch auf der Makroebene nutzen können.

Projektbeispiel 2: KI-basierte Assistenzdienste in der beruflichen Rehabilitation

Im Rahmen der Typisierung von KI-Bildungstechnologien (Abschnitt 2) wurden bereits Systeme erwähnt, deren Einsatzziel in der Unterstützung von Menschen mit Behinderungen in Bildungskontexten besteht (über Assistenzsysteme oder assistive Technologien). Für die berufliche Erstausbildung sowie für Weiterbildungen und Umschulungen (z. B. nach Unfällen im Zuge beruflicher Rehabilitationsmaßnahmen) besteht für diese sehr heterogene Zielgruppe großes Potenzial, welches bislang jedoch nur begrenzt genutzt wird. Daher wird im Rahmen des Projekts KI.ASSIST⁸ (gefördert aus Mitteln des Ausgleichsfonds) erstmals systematisch, wissenschaftlich fundiert und mit einem sehr praxisorientierten Ansatz untersucht, welche Personengruppen an welchen Lern- und Arbeitsorten langfristig von KI-Technologien profitieren können. Dabei besteht die übergeordnete Kernfrage darin, wie KI-basierte Assistenztechnologien dazu beitragen können, für Menschen mit (Schwer-)Behinderung den Übergang auf den allgemeinen Arbeitsmarkt zu unterstützen und ihre Teilhabe am Arbeitsleben zu verbessern. Das Projekt verfolgt dabei einen ausgesprochen menschenzentrierten Ansatz - neben Verbesserung von Teilhabe und Selbstbestimmung stehen etwa auch Fragestellungen mit Blick auf notwendige Kompetenzen im Umgang mit KI-basierten Assistenzsystemen, die Förderung von Datensouveränität und diesbezügliche Besonderheiten der heterogenen Zielgruppe sowie Kriterien zur Förderung der Adoption der Systeme im Mittelpunkt.

Eine Hürde für EntscheiderInnen und Fachkräfte, welche die Anwendung von KI-Assistenztechnologien zur Unterstützung in verschiedenen Bildungskontexten der beruflichen Rehabilitation bislang erschwerte, könnte unter anderem darin liegen, dass bislang eine systematische Übersicht solcher Technologien fehlte. Zudem sind wissenschaftliche Evaluationen von KI-Assistenztechnologien bislang rar und beziehen sich auf ausgewählte Anwendungsgebiete und Behinderungsarten (z.B. Bächler 2017, Bartolein 2013, Hantke & Schuller 2018). Somit sind Bewertungen mit Blick auf Wirkung, Nützlichkeit, Effektivität und Adoption bei der Unterstützung von Personen mit teils sehr individuellem Unterstützungsbedarf in diversen Lern- und Arbeitsprozessen nur für einen Ausschnitt der KI-Assistenztechnologien vorhanden.

Um zukünftig u.a. bessere Entscheidungsgrundlagen für PraktikerInnen vorzuhalten, führt das Forschungsvorhaben einerseits breit angelegte Monitoring-, Scanning- und Foresighting-Maßnahmen zu existierenden und in Entwicklung befindlichen KI-basierten Assistenztechnologien durch. Hierzu wurden bereits Interviews und Online-Befragungen mit ExpertInnen aus den Bereichen Inklusion und KI zur Bewertung entsprechender Technologien, die prototypisch für bestimmte Unterstützungskategorien sind, sowie zur Identifikation von wichtigen Einflussfaktoren durchgeführt. Die Repräsentations- oder Interaktionsarten der erfassten Technologien umfassen in der Mehrheit klassische Web/App-Anwendungen, sprach-/dialogorientierte Systeme und XR-Systeme. Potenzielle

⁸ www.ki-assist.de

zukünftige Entwicklungen werden u.a. auch im Rahmen des Foresightings betrachtet - hierbei sollen unter Einbindung von ExpertInnen relevante technologische Entwicklungen identifiziert werden, insbesondere im Hinblick auf vielversprechende Fortschritte in bestimmten Unterstützungsbereichen.

Zudem stellt ein zentraler Bestandteil des Forschungsvorhabens die praktische Erprobung und Bewertung von Technologien in sogenannten Lern- und Experimentierräumen (in Anlehnung an das Konzept der BMAS-Experimentierräume) in verschiedenen Einrichtungen der beruflichen Rehabilitation in den Mittelpunkt. Diese sollen es ermöglichen einerseits über partizipative Einbindung relevanter Stakeholder aus der Praxis (z. B. Fachkräfte, RehabilitandInnen) vorhandene Bedarfe (z. B. hinsichtlich zu unterstützender Behinderungsarten, konkreter Lern- und Arbeitsorte, etc.) frühzeitig zu erfassen, relevante Hinweise in Bezug auf den wahrgenommenen Nutzen konkreter KI-Assistenztechnologien und mögliche Anwendungsszenarien für deren Erprobung zu erhalten, sowie gemeinsam die Konzeption, Ausgestaltung und Umsetzung der Lern- und Experimentierräume vorzunehmen. Erste Erfahrungen im Zuge der Machbarkeitsanalyse und des Matchings dieser Bedarfe mit den recherchierten und bewerteten Technologien zeigten bereits einige Herausforderungen (etwa mit Blick auf Angebotslücken für Unterstützungsbedarfe bestimmter Behinderungsarten oder ganz konkreter Arbeitstätigkeiten, Lernsettings und häufiger Abläufe).

Die Erprobung und Evaluation verschiedener KI-basierter Assistenztechnologien soll einerseits Aussagen über ihren Nutzen, Adoption und Potenziale für bestimmte Zielgruppen und Tätigkeitsbereiche ermöglichen. Hinsichtlich der Einsatzebenen im Bildungskontext weist die Sichtung der gescannten KI-Assistenztechnologien dabei vor allem auf den Einsatz auf Mikro- und Mesoebene hin. Andererseits soll in den Lern- und Experimentierräumen modellhaft der Implementationsprozess betrachtet und evaluiert werden und gewonnene Erkenntnisse in Zusammenhang mit übergeordneten Fragen zu Transformations- oder auch Veränderungsprozessen durch den Einsatz von KI-Technologien sowie Potenziale und Risiken durch KI für die berufliche Teilhabe von Menschen mit Behinderung untersucht werden. Im Rahmen der Vorbereitung, Konzeption und Umsetzung der Lern- und Experimentierräume werden daher begleitend auch Fragen zu Gelingensfaktoren für die Einführung und den langfristigen Einsatz der Technologien erfasst sowie individuelle und organisationale Faktoren in Experteninterviews beleuchtet. Ziel ist es, Modelle digitaler Transformation durch KI in den Strukturen und Einrichtungen der beruflichen Rehabilitation zu erarbeiten, zu validieren und entsprechende Handlungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten. Dabei sollen auch Möglichkeiten des Einsatzes von KI auf der Makroebene für eine gezieltere strategische Aus- und Weiterbildungsplanung und Kompetenzentwicklungen ganzer Belegschaften sowie für die berufliche Orientierung für Individuen (z.B. Fachkräfte, RehabilitandInnen) beleuchtet werden und entsprechende Hinweise für eine zukünftige Förderung des KI-Einsatzes auch auf der Makroebene abgeleitet werden.

Mit dem Einsatz von KI in den Einrichtungen der beruflichen Rehabilitation gehen neben rechtlichen und sozialen auch ethische Fragen (ELSI) einher. Neben den enormen Potenzialen von KI für die berufliche Teilhabe und Selbstbestimmung von Menschen mit Behinderung können durch ihren Einsatz bei dieser Zielgruppe auch einige Risiken entstehen – etwa, wenn KI-Technologien genutzt werden, die für eine weniger diverse Zielgruppe und unter zu geringer Beachtung von ELSI-Faktoren entwickelt wurden. Diese Aspekte werden im Zuge des Implementationsprozesses der Lern- und Experimentierräume berücksichtigt und soweit möglich bearbeitet. Hierbei werden auch wertvolle Hinweise der Akteure vor Ort (z. B. Fachkräfte und RehabilitandInnen) mit aufgegriffen. Mit Blick auf ethische Aspekte bieten aktuelle Diskurse (siehe These 8 in Abschnitt 5) zu KI eine gute Orientierung. Da die Zielgruppe Menschen mit Behinderung darin bisher jedoch noch recht unterrepräsentiert war (siehe z.B. Hagendorff 2020), werden zudem in einer eigens gegründeten Arbeitsgruppe besondere Vulnerabilitäten von Menschen mit Behinderung betrachtet und Potenziale, Risiken und Grenzen des

Einsatzes von KI mit dem Ziel diskutiert, Empfehlungen für die Erweiterung bestehender Diskurse sowie Handlungsempfehlungen für die Praxis zu erarbeiten.

5 Potenziale, Herausforderungen und Grenzen

Auf Basis des diskutierten Stands der Forschung und der Praxis soll nun der Versuch einer Einschätzung von Potenzialen, Grenzen und Herausforderungen des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz in der (insbesondere beruflichen) Aus- und Weiterbildung unternommen werden. Hierzu werden nachfolgend insgesamt acht Thesen formuliert.

These 1: Bedarf nach Evaluationsstudien insbesondere in arbeitsplatznahen Szenarien

Wie in Abschnitt 2 dieses Artikels dargestellt, besteht durchaus kein Mangel an empirischen Untersuchungen zu KI-gestützten Bildungstechnologien im Allgemeinen. So wurden beispielsweise Kognitive Tutorensysteme in vielfältigen Untersuchungen über Jahrzehnte evaluiert und die Möglichkeiten und Grenzen dieser Systeme sind daher in der Forschung gut bekannt. Für andere Formen KI-gestützter Bildung (beispielsweise Learning Analytics Dashboards) gilt dies weniger, und insbesondere in Bezug auf arbeitsplatznahes Lernen in der beruflichen Weiterbildung sind die publizierten Forschungserkenntnisse zu Wirkung, Wirksamkeit, Effektivität und Adoption noch nicht ausreichend – und stehen insbesondere in einem Missverhältnis zu den relativ hohen Erwartungshaltungen und Potenzialen, die mit KI in der beruflichen Bildung in vielen öffentlichen Statements sowie in der Beschreibung von einigen Produkten am Markt verbunden werden. Dies soll nicht ausdrücken, dass diese Potenziale nicht existieren – es erscheint jedoch aus Forschungssicht dringend geboten, die Übertragbarkeit der existierenden Erkenntnisse zu KI-gestützten Bildungstechnologien auf berufliche Bildungskontexte systematisch zu untersuchen sowie noch ungenügend untersuchte Technologien in Labor- und Feldstudien sowie im Praxiseinsatz zu evaluieren und die Ergebnisse zu publizieren. Dies umfasst Erkenntnisse zur Effektivität der Systeme (z. B. bzgl. konkreter lernförderlicher Wirkung) an sich ebenso wie Modelle zur organisationalen Implementierung der Bildungstechnologien (vgl. Gasevic et al. 2019).

These 2: Neue Unterstützungstechniken werden durch technischen Fortschritt möglich

In den vergangenen Jahren war ein beträchtlicher Fortschritt in der KI-basierten Gesten-, Mimik-, Sprach- und Sensordatenanalyse zu beobachten. Dies – zusammen mit einer zunehmend breiten Verfügbarkeit von (auch mobil nutzbarer) Sensorik und eines Ausbaus von Hochgeschwindigkeitsnetzen – ist eine technische Voraussetzung dafür, dass neben „klassischen“ Parametern (wie z. B. das bereits erlangte Wissen) zunehmend auch Dimensionen wie Emotion oder Affekt in intelligenten Bildungstechnologien mitberücksichtigt werden können. Diese können zu fortgeschrittenen „Learning Companions“ führen, welche z. B. auch das Stress- oder Frustrationsniveau von Lernenden berücksichtigen können (Yadegaridehkordi et al. 2019), bedürfen aber einer sorgfältigen Beurteilung hinsichtlich der Datennutzung und der noch bestehenden technischen Grenzen der automatisierten Emotionserkennung. Auch hat fortgeschrittene KI-basierte Gesten- und Mimikanalyse das Potenzial eines Einsatzes in Schulungsbereichen, die nicht reine kognitive Aktionen erfordern, sondern auch physisches Handeln. KI-Fortschritte im Bereich der Sprachtechnologien wie etwa GPT-3 ermöglichen es bereits heute, dass ein KI-System Texte generiert, die Menschen nur schwer von durch Menschen geschriebenen Artikeln unterscheiden können, und auch die Qualität maschineller Übersetzungen hat enorm zugenommen. Dies eröffnet enormes Einsatzpotenzial etwa für Sprachschulungen, Essay-Scorings, Kommunikationsunterstützung in mehrsprachigen Lernteams oder auch ganz neue Formen, in denen Chatbots oder virtuelle Lernbegleiter künftig mit NutzerInnen interagieren können. Es bedarf dabei allerdings didaktisch kluger Ansätze, welche auch die Schwächen

der KI-Verfahren berücksichtigen, um die Möglichkeiten dieser Verfahren zu nutzen und damit die Schulungsqualität potenziell deutlich zu verbessern.

These 3: Für inklusive Bildung bietet KI Chancen und birgt Risiken

Für Personen mit Lernschwächen wie Dyslexie, Legasthenie oder Dyskalkulie bestehen große Potentiale eines KI-Einsatzes in Bildungskontexten. KI-Verfahren können hier sowohl zu analytischen/prognostischen Zwecken zum Einsatz kommen oder auch konkret Hilfestellungen, etwa durch Assistenzsysteme oder durch Adaptivität, leisten. Ähnliches gilt für die Unterstützung von Lernenden mit sensorischen oder körperlichen Beeinträchtigungen. Bildungstechnologien müssen mit diesen (oft persönlichen) Assistenzsystemen kompatibel sein und können so auch Zugang und Partizipationsmöglichkeit bei Aus- und Weiterbildungsformaten eröffnen, die ohne Assistenzsysteme für die jeweiligen NutzerInnen nicht gegeben gewesen wären. Doch birgt KI – insbesondere bei einem unreflektierten Vorgehen in der Entwicklung – auch Risiken für Bildungstechnologien in Bezug auf inklusive Verwendbarkeit. Je mehr Bildungsprozesse durch digitale Systeme mediiert sind, desto wichtiger ist ein inklusiver Ansatz von Bildungstechnologien, um keine Nutzungsbarrieren aufzubauen. Daher ist die Einbeziehung von entsprechenden Stakeholdern in den Entwurfsprozess unverzichtbar für Systeme, die später in einer breiten Nutzung sein sollen. Insbesondere bei rein datengetriebenen KI-Verfahren hängt die Qualität der Analyse und damit auch die Güte der auf diesen Analysen basierenden adaptiven Unterstützungsfunktionen an den zur Verfügung stehenden Trainingsdaten. Im Bildungsbereich sind auf der Mikroebene oft Minderheiten wie z. B. Lernende mit Beeinträchtigungen nicht ausreichend in Datensätzen repräsentiert und werden somit in den KI-Algorithmen tendenziell als Outlier klassifiziert. Folglich werden die entsprechenden Personen dann auch vermutlich nicht von den Adaptivitätsfunktionen profitieren können. Auf Makroebene (kulturelle Faktoren) sind diese Verzerrungen der Forschungslandschaft bereits länger bekannt (Blanchard 2012).

These 4: Hybride Mensch-KI-Systeme gewinnen in Bildungskontexten an Bedeutung

KI-gestützte Systeme kommen zunehmend in der Bildung zum Einsatz. Einige dieser Systeme haben nachweisliches konkretes Unterstützungspotenzial auf verschiedenen Ebenen (z. B. Partizipationsmöglichkeit, Lerneffekte, Motivierung). Insbesondere adaptive Systeme können aber aus einer pädagogischen Perspektive heraus auch kritisch betrachtet werden, da Lernende durch sie ggf. weniger Kontrolle über ihren eigenen Bildungsprozess haben, sondern ihnen jeweils die Inhalte präsentiert werden, die auf Basis der algorithmischen Engine eines KI-Systems (letztlich also einer Maschine) als geeignet angesehen werden. Diese maschinelle Entscheidung mag tatsächlich sogar im Sinne einer höheren Effizienz förderlich für Aus- und Weiterbildungsprozesse sein – das dahinterliegende doch eindimensionale Bild eines Computerprogramms, welches für die Ausgestaltung von Bildungsverläufen an wichtiger Stelle mitverantwortlich ist, passt aber wenig zu einem freiheitlich-selbstbestimmten Bild von Lernenden. In der Tat wird diese Perspektive aber sowohl relativiert als auch verkompliziert durch die Tatsache, dass insbesondere in statistisch/lernenden KI-Bildungstechnologien die Nutzerdaten eine zentrale Rolle spielen, da durch diese erst via maschineller Lernverfahren die KI-Funktionalität erzeugt wird – praktisch lernen die Bildungstechnologien etwa bei Systemen wie Squirrel AI auch permanent weiter, indem über Verfahren des Educational Data Mining kontinuierlich die Systemmodelle auf Basis der Nutzungsdaten verbessert werden. De facto lernen also in solchen Systemkonstellationen sowohl die technischen Systeme als auch die menschlichen NutzerInnen (und ggf. auch die sozialen Systeme wie z. B. Lerngruppen mit Lehrpersonen oder Organisationen). Es ist konzeptionell sinnvoll, diese Hybridität in die theoretisch-konzeptionellen Ansätze zur Gestaltung von Bildungstechnologien aufzunehmen und Systeme ggf. auf diesen erweiterten Ansätzen zu entwerfen. Ein Ansatz hierzu wird von Holstein et al. (2020) aufgezeigt: die Autoren stellen eine Reihe von allgemeinen Dimensionen für hybride Adaptivität von Mensch und KI vor, und präsentieren dann unter Nutzung dieser Dimensionen verschiedene Möglichkeiten, wie Menschen und KI-Systeme die Fähigkeiten des jeweils anderen erweitern können und wie als Folge

neue Möglichkeiten für hybride Mensch-KI-Ansätze in der Bildung aussehen könnten. Reziprokes Lernen ist eine der Varianten dieser hybriden Mensch-KI-Adaptivität: hier lernen KI-Systeme auf Basis von expliziter menschlicher Instruktion oder der Beobachtung menschlicher Aktionen, während gleichzeitig Menschen unter Nutzung von ebenjenen Tools der Künstlichen Intelligenz lernen. Auch in den KI-Verfahren selbst beobachten wir eine Trendwende: waren „klassische“ KI-gestützte Bildungstechnologien regel- und wissensbasiert konzipiert (idealerweise auf Basis psychologischer Theorien wie etwa ACT-R als Fundament für tutorielle Systeme), konnte in den letzten Jahren ein Fokus auf statistische maschinellen Lernverfahren beobachtet werden. Da die Resultate letzterer Verfahren sich aber nur schwer einem Menschen erklären lassen, gleichzeitig aber verständliche Rückmeldungen für menschliche Lerner immanent wichtig für die Steuerung ihres Lernprozesses sind, steht zu erwarten, dass sich zunehmend der Ansatz von hybriden kognitiven KI-Verfahren durchsetzt, welcher datengetriebene Erkenntnisse mit wissensbasierten Erklärungen verknüpft (Wahlster 2020).

These 5: Es besteht Potenzial beim Einsatz von KI in der Bildung auf Makroebene

Die meisten Forschungsprojekte und –veröffentlichungen thematisieren den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Bildung mit einem deutlichen Schwerpunkt auf der Mikro – und Mesoebene, also im Kontext der Unterstützung konkreter kurz- oder mittelfristiger Lernprozesse. Betrachtet man die Rolle von KI in Unternehmenskontexten allgemein, so fällt auf, dass sehr oft auch längerfristige Zeithorizonte eine Rolle spielen – z.B. beim kontinuierlichen Einsatz von automatisierten Trendanalysen, beim Prozess-Monitoring und der intelligenten Produktionsplanung in smarten Fabriken oder auf der Produktebene (z.B. bei autonomen Fahrzeugen). Entsprechende längerfristige Ansätze für die Aus- und Weiterbildung unter Nutzung von Künstlicher Intelligenz sind in Organisationen oder Programmen der betrieblichen Aus- und Weiterbildung bislang eher rar. Auf universitärer Ebene sind Learning Analytics-Ansätze z.B. deutlich weiter verbreitet als in der betrieblichen Bildung. Auch für Schulungen bietet KI (z.B. über Recommender-Ansätze im Rahmen von digitaler Kursplanung) Potenzial, welches gegenwärtig nicht genutzt wird (Strickroth 2016) – so erscheinen etwa KI-gestützte kontinuierliche Aus- und Weiterbildungsprogramme für einzelne MitarbeiterInnen sowie ganze Belegschaften konzeptionell durchaus möglich (z.B. unter Nutzung von hybrider Mensch-KI-Adaptivität) und auch technisch über adaptive Microlearnings oder personalisiert empfohlene Zertifikatskurse realisierbar, Umsetzungen dieser Ansätze sind aber noch nicht sehr prominent am Markt vertreten.

These 6: KI kann deutlich weiter als bisher in bestehende Trainingssysteme integriert werden

Im Jahr 2020 wurden pandemiebedingt viele Aus- und Weiterbildungsformate unter Nutzung digitaler Technologien durchgeführt. In einem Großteil der dabei eingesetzten Systeme und Fortbildungskonzepte wie etwa Lernmanagementsysteme, Online-Kurse, Videokonferenzen oder Webinare wäre die Integration von Unterstützungsmethoden unter Verwendung von Künstlicher Intelligenz zwar prinzipiell denkbar, ist aber in vielen Fällen nicht erfolgt – über die Gründe kann hier nur spekuliert werden. Ein Faktor war vermutlich, dass der Umstieg ins digitale recht kurzfristig erfolgen musste und dabei zunächst auf Kernfunktionalität geachtet wurde, evtl. war auch seitens der Anbieter nicht genügend Wissen über die Potenziale von KI in der Bildung oder keine ausreichende Kompetenz zur Umsetzung vorhanden. Viele bereits bestehende Bildungstechnologien können durchaus durch eine Integration von KI weiterentwickelt werden ohne dabei das Basissystem (welches ggf. in Organisationen gut etabliert ist) zu ändern. So existieren für Lernmanagementsysteme beispielsweise Plug-Ins für Analytics & Empfehlungen, welche teilweise durch eigene KI-Elemente ergänzt werden können. Auch die vielfältige, für die berufliche Bildung hoch relevante, Forschung zu VR- und AR-basierten Bildungstechnologien kann potenziell von einer Einbeziehung von KI-Möglichkeiten, etwa zur Analyse von Aktivitätsmustern und zur personalisierten Rückmeldung auf Aktionen in den virtuellen Welten, profitieren.

These 7: KI ist nicht nur als Medium, sondern auch als Inhalt von Aus- und Weiterbildungen relevant

Angesichts des immer größer werdenden Effekts von KI für Unternehmen stehen die Systeme der beruflichen Aus- und Weiterbildung vor der Situation, Künstliche Intelligenz nicht „nur“ als Unterstützungsmöglichkeit für neue Formen von Qualifizierung einzusetzen, sondern auch die Qualifizierungsinhalte an sich auf eine sich durch KI ändernde Berufswelt anzupassen (vgl. Ma 2019). Es gibt viele Ansätze, die spezifischen Bedarfe für künftige Aus- und Weiterbildungsangebote in Bezug auf die dort zu vermittelnden Kompetenzen zu beschreiben und zu klassifizieren. So ist etwa eine Anlehnung an das Frankfurt-Dreieck (GI 2019) eine Orientierung an drei Perspektiven möglich:

- eine technologisch-mediale Perspektive, in der die Funktionalität und Struktur von KI-Systemen allgemein oder im jeweiligen beruflichen Anwendungsgebiet thematisiert wird,
- eine Interaktionsperspektive, die thematisiert, welche KI-Systeme wozu, warum und wie genutzt werden können, wie diese Nutzung in betriebliche Handlungsprozesse integrierbar ist und was dies letztlich für die handelnden Subjekte in ihrer Rolle bedeutet
- eine gesellschaftlich-kulturelle Perspektive, welche die Wechselwirkungen zwischen Individuen, Organisationen (wie z. B. Unternehmen), der breiteren Gesellschaft und der sich ausbreitenden Nutzung von Künstlicher Intelligenz betrachtet

Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt „WayIn“⁹ wurde über Literaturrecherchen, Auswertungen von Stellenausschreibungen und Experteninterviews ebenfalls ein Ansatz unternommen, die für eine zunehmend digitalisierte Arbeitswelt relevanten Kompetenzen in einem Kompetenzkatalog zu strukturieren. Dieser Katalog ist unterteilt in fünf Kompetenzdimensionen: fachspezifische Kompetenzen (pro Branche bzw. Tätigkeitsprofil), soziale Kompetenzen, personale Kompetenzen, Methodenkompetenzen und Daten/IT-Kompetenzen. In allen Kompetenzfeldern haben dabei KI bzw. Digitalisierung einen Einfluss – für die Fähigkeiten im Umgang mit Daten und IT-Systemen wurde im Kompetenzkatalog zwischen eher allgemeinen Kompetenzen und eher fachspezifischen Kompetenzen unterschieden. Erstere werden durch die fortschreitende Digitalisierung branchenübergreifend benötigt und gefordert. Letztere hingegen werden unter anderem in IT-Berufen sowie in den Berufsfeldern benötigt, die eine sehr hohe Nutzung digitaler Medien aufweisen – wobei tendenziell diese Berufsfelder zunehmen. Eine dritte Variante der Zusammenstellung von künftig in einer weiter vernetzten und mit KI integrierten Berufswelt notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen findet sich in der BMAS-Publikation „Kompetenz- und Qualifikationsbedarfe bis 2030“ (Patscha et al. 2017). Auch hier wird zwischen allgemeinen und branchenspezifischen Kompetenzbedarfen unterschieden und es wird argumentiert, dass auf der Ebene der branchenübergreifenden Trends physische Tätigkeiten an Relevanz verlieren, Wissenstätigkeiten zunehmend automatisiert werden und dafür sozial-interaktive Kompetenzen an Relevanz gewinnen. Allen Ansätzen ist gemein, dass Künstliche Intelligenz nicht als alleiniger, aber doch wichtiger Treiber der fortschreitenden Transformation durch Digitalisierung der Arbeitswelt gesehen wird, welche direkte Konsequenzen für die Ausrichtung (und kontinuierliche Revision) von Aus- und Weiterbildungsangeboten hat.

These 8: Ethik spielt eine wesentliche Rolle beim Einsatz von KI in der beruflichen Bildung

Es gibt wohl nur wenige Analysen zum Thema KI in der Bildung, welche nicht explizit auch auf ethische Fragen eingehen. Dies ist sehr zu begrüßen, da rein technikdeterministische Positionen für die Gestaltung von Bildungsarrangements sicher fehl am Platze sind und letztendlich auch nicht zu Erfolg führen können. Allgemein ist zu beobachten, dass in den letzten Jahren eine durchaus beachtliche Anzahl an ethischen Regeln und Richtlinien für viele Aspekte von KI publiziert worden sind, u. a. durch die OECD, die High-Level Expert Group on AI oder die Datenethikkommission der Bundesregierung (siehe Hagendorff 2020 für eine detaillierte Übersicht), und auch die kürzlich von DIN und DKE in einem

⁹ <http://www.wayin-inklusion.de/>

gemeinsamen Projekt mit dem BMWi entwickelte Normungsroadmap KI (Wahlster & Winterhalter 2020) enthält Ethik und Responsible AI als wichtige Faktoren. Speziell in Bildungskontexten treten in der Tat immer wieder ethische Fragen bei Design, Entwicklung und Anwendung von Künstlicher Intelligenz auf, deren Diskussion mit den jeweils relevanten Stakeholdern wesentlicher Faktor für die Akzeptanz dieser Systeme sind. Exemplarisch seien hier vier typische, in vielen Anwendungskontexten wiederkehrende, Fragestellungen genannt:

- Selbststeuerung vs. Assistenz: Viele KI-basierte Bildungstechnologien bieten für NutzerInnen Assistenzfunktionen an, die z.B. individuelle Nachteile kompensieren können und so eine Teilhabe ermöglichen. Diese Ansätze können jedoch auch hinterfragt werden: wäre es nicht teilweise möglich und sinnvoll, Menschen selbstgesteuerte eigene Kompensationsstrategien zu vermitteln, die nicht auf eine immer stärkere Abhängigkeit von Technik hinauslaufen (vgl. Drigas & Ioannidou 2012)?
- Privatheit vs. Effizienz: Viele der aktuellen KI-Verfahren benötigen Daten als wesentliche Grundlage – sowohl initial in Trainingsphasen als auch kontinuierlich zur fortlaufenden Verbesserung. Daten sind in Bildungskontexten regelmäßig personenbezogen und beinhalten teils bei fortgeschrittenen KI-Verfahren (z.B. Sensorik, Gesichtserkennung, physiologische Daten etc.) auch persönliche Informationen. Bis zu welchem Grad und in Verhältnis zu welchem Effizienzgewinn sollten die Daten verwendet oder gar dauerhaft gespeichert werden, und wie können NutzerInnen in diese Entscheidungsprozesse geeignet eingebunden werden?
- Souveränität vs. Performanz: Insbesondere adaptive KI-Bildungstechnologien haben sich in empirischen Untersuchungen als lernförderlich erwiesen, und viele NutzerInnen schätzen es sicher auch, wenn ihnen beispielsweise automatisiert genau für sie passenden Bildungsinhalte empfohlen werden. Aber bis zu welchem Grad wollen wir die Souveränität über einen Bildungsprozess an eine Maschine abgeben, insbesondere falls wir die Ergebnisse der Algorithmen nicht nachvollziehen können (Non-Explainable AI)?
- Freiwilligkeit vs. Funktionalität: Die bewusste Aktivierung von KI-Komponenten in Bildungssystemen durch die jeweiligen NutzerInnen z.B. über „Opt-In“-Lösungen ist datenschutzrechtlich und auch angesichts einiger der obigen Ausführungen durchaus ein gangbarer Weg. Allerdings ist auch hier im jeweiligen Kontext zu hinterfragen, ob nicht problematische Wahlentscheidungen (z.B. entweder müssen sehr sensible Daten preisgegeben werden oder das erfolgreiche Durchlaufen einer Schulung wird unwahrscheinlicher) entstehen. Langfristig ist es auch insbesondere für statistisch/lernende KI-Verfahren wichtig, dass möglichst repräsentative (i.d.R. also auch von heterogenen Teilnehmerkreisen generierte) Trainingsdaten zur Verfügung stehen, da sonst die Funktionalität der Systeme gerade für die Personengruppen tendenziell schlechter ist, die in den Trainingsdaten unterrepräsentiert sind.

6 Fazit und Ausblick

Bereits vor der Corona-Pandemie war ein Trend hin zu digital gestützten Bildungsangeboten beobachtbar – dieser Trend wurde im Jahr 2020 natürlich auf Grund der Rahmenbedingungen massiv verstärkt, so dass die Angebotsanzahl digital vermittelter Bildung rapide wuchs und auf eine sehr hohe Nachfrage stieß – auch bei Personenkreisen, die bislang eher selten über digitale Kanäle Aus- und Weiterbildungsangebote genutzt hatten und die nun evtl. eine größere grundsätzliche Offenheit auch für digitale Bildungsangebote haben. Die in der Breite in Deutschland verwendeten Bildungstechnologien, quer durch alle Sektoren von Schule über Hochschule bis hin zu beruflicher Aus- und Weiterbildung, nutzen derzeit die Unterstützungsmöglichkeiten durch Verfahren Künstlicher

Intelligenz allerdings noch begrenzt aus. Gleichzeitig wird KI-Technologien in der Bildung, etwa zur Erhöhung von Personalisierung und Adaptivität, ein hohes Potenzial zugeschrieben, und es existieren auch eine Reihe von Pilotprojekten und wissenschaftlichen Untersuchungen, die dieses Potenzial belegen. In diesem Beitrag wurden theoretische und technische Grundlagen von KI-gestützten Bildungstechnologien mitsamt deren Einsatzebenen zusammengefasst und ausgewählte Projekt- und Branchenbeispielen vorgestellt. Aus diesen Analysen wurde eine Reihe von Thesen zu Chancen, Risiken und Potenzialen abgeleitet.

Der aktuelle Stand von Forschung und Technik zeigt, dass KI-Systeme den großen Vorteil bieten, dass sie sich automatisch und situativ an die Bedarfe der Nutzenden anpassen können. Dies ermöglicht hoch-personalisierte und effiziente On-the-Job Trainings, die auch für Menschen mit Behinderung die Teilhabe an beruflicher Weiterbildung erhöhen können. Während es aber eine ganze Reihe von Lösungen für Menschen mit körperlichen und sensorischen Behinderungen gibt, ist noch weniger gut untersucht, welche Unterstützungsfunktionen KI-basierte Assistenzsysteme für die immer größer werdende (sehr heterogene) Zielgruppe der Menschen mit psychischen oder kognitiven Beeinträchtigungen beim arbeitsplatznahen Lernen bieten können. Handlungsbedarf besteht auch darin, die Möglichkeiten von KI-Technologien in der Bildung nicht „nur“ auf der Mikro- und Mesoebene auszuloten, sondern auch längerfristige Unterstützungsmöglichkeiten (etwa für strategisches KI-gestütztes Weiterbildungsmanagement) in den Blick zu nehmen. Intelligent kombinierte kleinere Weiterbildungseinheiten, abgestimmt auf individuelle Bedarfe bzw. Interessen einzelner Personen und strategische Entwicklungslinien von Organisationen, sind technisch möglich. Es bedarf aber Untersuchungen dazu, welche Ansätze der betrieblichen Weiterbildung und Qualifizierung über formale Schulungen hinaus für die Einführung und den Einsatz von KI-Technologien notwendig sind, und Fortschritten im Bereich der Modularisierung von Bildungsinhalten als Voraussetzung für eine Personalisierung. Auch liegen noch keine ausreichend detaillierten wissenschaftlichen Erkenntnisse dazu vor, welche Arten von datenbasierten, wissensbasierten und hybriden KI-Verfahren in welchen Formen von arbeitsplatznahen Lernszenarien jeweils Vorteile haben und wie diese praktisch eingesetzt werden können – hier wäre weitere technische und empirische Forschung sinnvoll. Ebenso besteht Forschungsbedarf zur Gestaltung und Untersuchung von hybriden Mensch-KI-Systemen in der Bildung und den damit einhergehenden reziproken Lernarrangements, bei denen KI-Technologien nicht „nur“ die Rolle des passgenauen Vermittlers von Wissen einnehmen, sondern selbst im Prozess lernen und auch in Szenarien eingebettet sind, welche menschliche Lehrpersonen und kollaboratives Lernen berücksichtigen. Handlungsbedarfe im Bereich des Forschungstransfers bestehen einerseits darin, den Transfer von Bedarfen der betrieblichen Weiterbildung zu Technologieanbietern stärker zu fördern, und andererseits in der Untersuchung von Transfer- und Adaptierungsmöglichkeiten von KI-gestützten Bildungskonzepten aus anderen Sektoren (insbesondere Hochschulbildung und Online-Lernen) und anderen Ländern (hier vor allem USA und China) für die berufliche Aus- und Weiterbildung in Deutschland. Ein solcher Transfer im Sinne einer erfolgreichen Einführung von KI-gestützten Bildungstechnologien in der Breite kann jedoch nur dann erfolgreich sein, wenn er einhergeht mit einer frühzeitigen Einbindung von Beschäftigten und Sozialpartnern, um die erfolgreiche Einführung, Implementierung in Unternehmensstrukturen und -prozesse sowie die langfristige Akzeptanz und Nutzung von KI-Bildungstechnologien zu befördern. Weitere Erkenntnisse dazu, wie sich über partizipative, co-kreative Prozesse mit Betriebsräten, Schwerbehindertenvertretungen und Beschäftigten die Einführung und Implementierung von KI-Bildungstechnologien im Betrieb strukturiert vorbereiten und realisieren lässt und welche Grundvoraussetzungen hierzu geschaffen werden müssen, wären für diese Zwecke sehr hilfreich – ebenso wie Antworten auf die Frage, wie die bestehenden ethischen Leitlinien zu KI für die Praxis so operationalisiert werden können, dass der notwendige ethische Diskurs zum Einsatz dieser Systeme erleichtert wird. Schließlich sollte Künstliche Intelligenz in der Bildung nicht ausschließlich als Vermittlungstechnologie, sondern auch als

Qualifizierungsinhalt betrachtet werden. Die KI-getriebene digitale Transformation in Unternehmen fordert von Beschäftigten wandelnde Kompetenzen. Es bedarf zielgruppenspezifischer und bedarfsgerechter Bildungsangebote, die neben technischem Grundwissen über KI auch darüberhinausgehende Kompetenzen mit dem Ziel fördern können, Beschäftigte zu einem souveränen Umgang mit KI-Technologien und Daten zu befähigen. Auch bei diesen Bildungsangeboten kann KI natürlich wieder in Form von Bildungstechnologien (wie z. B. etwa KI-basierten Dashboards, welche die jeweils im beruflichen Bildungskontext relevanten Daten und Kompetenzen enthalten) potenziell zum Einsatz kommen.

Quellenangaben

- Alexander, I., et al. (1990). *Artificial intelligence and its potential as an aid to vocational training and education*. CEDEFOP Document. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Almiyad, M. A., Oakden-Rayner, L., Weerasinghe, A., & Billinghamurst, M. (2017). Intelligent augmented reality tutoring for physical tasks with medical professionals. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 450-454). Springer, Cham.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111, 1036-1060.
- Andersen, P. B. (2003). Acting Machines. In *Digital Media Revisited: Theoretical and Conceptual Innovation in Digital Domains* (pp. 183-213). Cambridge, MA.
- Arnold, P. (2005). *Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht*. Online unter <https://www.e-teaching.org/didaktik/theorie/lerntheorie/arnold.pdf>
- Asif, R., Merceron, A., Ali, S. A., & Haider, N. G. (2017). *Analyzing undergraduate students' performance using educational data mining*. Computers & Education, 113, 177-194.
- Bächler, A. (2017). *Entwicklung und Evaluierung eines nutzerzentrierten Assistenzsystems zur Unterstützung von leistungsgeminderten Mitarbeitern bei manuellen Kommissioniertätigkeiten*. Dissertation, TU Ilmenau.
- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In *Learning analytics* (pp. 61-75). Springer, New York.
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological science in the public interest*, 20(1), 1-68.
- Bartolein, C. (2013). *Design, Implementation, and Evaluation of a Gaze-based Wheelchair Assistance System*. Dissertation, Universität Mannheim.
- Becker, W., & Recken, H. (2019). Digitale Pflegedokumentation in Verbindung mit adaptiver Spracherkennung. Das Projekt Sprint-Doku: Schneller dokumentieren, mehr Zeit für die eigentliche Pflegearbeit. *KU Gesundheitsmanagement*, 88(11), 28-30.
- Bitkom (2020). *Künstliche Intelligenz: Zwischen „Wird nicht funktionieren“ und „Wird die Weltherrschaft übernehmen“ – Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage*. Pressemitteilung, Online unter <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Kuenstliche-Intelligenz-Zwischen-Wird-nicht-funktionieren-und-Wird-die-Weltherrschaft-uebernehmen>
- Blanchard, E. G. (2012). On the WEIRD nature of ITS/AIED conferences. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 280-285). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Blikstein, P. (2013). Multimodal learning analytics. In *Proceedings of the third international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 102-106).

- Bodily, R., Kay, J., Aleven, V., Jivet, I., Davis, D., Xhakaj, F., & Verbert, K. (2018). Open learner models and learning analytics dashboards: a systematic review. In *Proceedings of the 8th international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 41-50).
- Bogarín, A., Cerezo, R., & Romero, C. (2018). A survey on educational process mining. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(1).
- Bull, S., & Kay, J. (2010). Open learner models. In *Advances in intelligent tutoring systems* (pp. 301-322). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of educational research*, 65(3), 245-281
- Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE transactions on man-machine systems*, 11(4), 190-202.
- Chávez, O. L., Rodríguez, L. F., Lugo, G. S., & Castro, L. A. (2017). Authoring Tools and Virtual Environments in Intelligent Tutoring Systems: Challenges and Opportunities. *Res. Comput. Sci.*, 146, 9-16.
- Courtemanche, F., Najjar, M., & Mayers, A. (2008). Cognitive load estimation for optimizing learning within intelligent tutoring systems. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 719-721). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cui, W., Xue, Z., & Thai, K. P. (2018). Performance comparison of an AI-based Adaptive Learning System in China. In *2018 Chinese Automation Congress* (pp. 3170-3175). IEEE.
- Daft, R.L. & Lengel, R.H. (1986). Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management Science*, 32 (5), 554–571.
- De Jesus, A., (2019). *Machine Learning for Nursing – 8 Current Applications*. Online unter <https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-for-nursing-8-current-applications/>
- Digital Manufacturing (2020). *Montage-Assistent: Wie künstliche Intelligenz Fachkräfte unterstützt*. Digital Manufacturing, 8.6.2020
- Di Mitri, D., Schneider, J., Specht, M., & Drachsler, H. (2018). From signals to knowledge: A conceptual model for multimodal learning analytics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(4), 338-349.
- Djuric, A. M., Urbanic, R. J., & Rickli, J. L. (2016). A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(2), 457-464.
- Drigas, A. S., & Ioannidou, R. E. (2012). Artificial intelligence in special education: A decade review. *International Journal of Engineering Education*, 28(6), 1366-1372
- Educause (2020). *Horizon Report Teaching and Learning Edition*. Online unter <https://library.educause.edu/resources/2020/3/2020-educause-horizon-report-teaching-and-learning-edition>
- Falmagne, J. C., Albert, D., Doble, C., Eppstein, D., & Hu, X. (Eds.). (2013). *Knowledge Spaces: Applications in education*. Springer Science & Business Media.
- Ferguson, R., & Shum, S. B. (2012, April). Social learning analytics: five approaches. In *Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 23-33).
- Fortenbacher, A., Ninaus, M., Yun, H., Helbig, R., & Moeller, K. (2019). Sensor based adaptive learning - lessons learned. In *Proceedings of DELFI 2019* (pp. 193-198).
- Gasevic, D., Tsai, Y. S., Dawson, S., & Pardo, A. (2019). How do we start? An approach to learning analytics adoption in higher education. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 36(4), 342-353.
- GI (2019). *Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt*. Online unter <https://dagstuhl.gi.de/fileadmin/GI/Allgemein/PDF/Frankfurt-Dreieck-zur-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf>

- Greer, J. E., Frost, S., Banow, R., et. al. (2015). The Student Advice Recommender Agent: SARA. In *Posters, Demos, Late-breaking Results and Workshop Proceedings of UMAP 2015*.
- Guo, Q., Ditton, B. & Zinn, B., (2019). Eine Anwendung der Virtuellen Realität in der beruflichen Bildung im Kontext physikalischer Lerninhalte. In *Proceedings of DELFI Workshops 2019* (p. 173). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Guthard, S. (2020). *KI: Wettbewerbsfaktor fürs Handwerk*. Deutsche Handwerks-Zeitung, 1.7.2020.
- Haase, T., Keller, A., Radde, J., Berndt, D., Fredrich, H., & Dick, M. (2020). Integrierte Lern- und Assistenzsysteme – Vorschlag für eine Systematik zur Technologieauswahl und –gestaltung. In: *Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? Frühjahrskongress GfA*, Berlin.
- Hagendorff, T. (2020). The Ethics of AI Ethics: An Evaluation of Guidelines. *Minds and Machines*, 30, 99-120.
- Hagerty, G. & Smith, S. (2005), Using the Web-Based Interactive Software ALEKS to Enhance College Algebra, *Mathematics and Computer Education*, 39(3), 183-194.
- Hantke, S., & Schuller, B. (2018). *Emotionssensitives Assistenzsystem zur Unterstützung von Menschen mit Einschränkungen (EmotAss)*. Schlussbericht. Universität Augsburg.
- Hassan, A., & Pinkwart, N. (2019). On the Adaptability and Applicability of Multi-touch User Interfaces Addressing Behavioral Interventions for Children with Autism. *IETE Technical Review*, 37(2), 180-195.
- Hatiboglu, B., Schuler, S., Bildstein, A., & Hämmerle, M. (2019). *Einsatzfelder von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld. Kurzstudie im Rahmen von „100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg“*. Online unter http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5491073.pdf
- Herbert, B., Ens, B., Weerasinghe, A., Billingham, M., & Wigley, G. (2018). Design considerations for combining augmented reality with intelligent tutors. *Computers & Graphics*, 77, 166-182.
- Hietala, P., & Niemirepo, T. (1998). The Competence of Learning Companion Agents. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9, 178-192.
- HoloniQ (2019). *HoloniQ's Annual Report on the State of Artificial Intelligence in Global Education*. Online unter <https://www.holoniq.com/notes/2019-artificial-intelligence-global-education-report/>
- Holstein, K., Alevén, V., & Rummel, N. (2020). A Conceptual Framework for Human–AI Hybrid Adaptivity in Education. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 240-254). Springer, Cham.
- Hoppe, H. U. (1995). The use of multiple student modeling to parameterize group learning. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education*.
- Jain, S., Thiagarajan, B., Shi, Z., Clabaugh, C., & Matarić, M. J. (2020). Modeling engagement in long-term, in-home socially assistive robot interventions for children with autism spectrum disorders. *Science Robotics*, 5(39).
- Konert, J., Burlak, D., & Steinmetz, R. (2014, September). The group formation problem: an algorithmic approach to learning group formation. In *European conference on technology enhanced learning* (pp. 221-234). Springer, Cham.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
- Le, N.T., Masche J., & Pinkwart, N. (2018). From ELIZA to modern Chatbots and Dialogue Systems - The Historical Development of Conversational Software: Classification, Technology and Application Domain. In *Hello, I'm Eliza*, Projekt.
- Li, Z., Moran, P., Dong, C., Shaw, R., & Hauser, K. (2017). Development of a Tele-Nursing Mobile Manipulator for Remote Care-giving in Quarantine Areas. In *IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*.

- Link, M., Schnalzer, K., & Hamann, K., (2020). Erfolgreiche Einführung von Assistenzsystemen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 115 (7-8), 505-508
- Ma, J. (2019). The Challenge and Development of Vocational Education Under the Background of Artificial Intelligence. In *5th International Conference on Humanities and Social Science Research (ICHSSR 2019)* (pp. 522-525). Atlantis Press.
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of educational psychology*, 106(4), 901.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. 2. ed. Cambridge Univ. Press.
- McLuhan, M. (1964). *Understanding Media: The Extensions of Man*. New York, McGraw-Hill.
- Mekacher, L. (2019). Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): The Future of Interactive Vocational Education and Training for People with Handicap. *PUPIL: International Journal of Teaching, Education and Learning*, 3(1).
- Michaelis, J. E., & Mutlu, B. (2018). Reading socially: Transforming the in-home reading experience with a learning-companion robot. *Science Robotics*, 3(21).
- Mills, J. A. (1998). *Control: A history of behavioral psychology*. NYU Press.
- Oracle (2019). *New Study: 64% of People Trust a Robot More Than Their Manager*. Pressemitteilung, Online unter <https://www.oracle.com/corporate/pressrelease/robots-at-work-101519.html>
- Ortmann-Welp, E. (2020). DigitalPakt Schule: Lehren und Lernen in der Pflegeausbildung. *Pflegezeitschrift*, 73(3), 44-47.
- Panke, S. (2006). *Medientheorien des Computers*. Online unter https://www.e-teaching.org/didaktik/theorie/medientheorie/Medientheorien_sp_16.02.06_27.7.06.pdf
- Papert, S. (1980). *Mindstorms Children, Computers and powerful ideas*. New York, Basic Books.
- Park, Y., & Jo, I. H. (2019). Factors that affect the success of learning analytics dashboards. *Educational Technology Research and Development*, 67(6), 1547-1571.
- Patscha, C., Glockner, H., Störmer, E., & Klaffke, T. (2017). *Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfe bis 2030*. Online unter <https://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/kompetenz-und-qualifizierungsbedarfe.html>
- Pinkwart, N. (2020). Künstliche Intelligenz und Learning Analytics. In *Künstliche Intelligenz in der Hochschulbildung*. Online unter https://ki-campus.org/sites/default/files/2020-10/Whitepaper_KI_in_der_Hochschulbildung.pdf
- Plattform Lernende Systeme (Hrsg.) (2019). *Arbeit, Qualifizierung und Mensch-Maschine Interaktion – Whitepaper der Arbeitsgruppe Arbeit/Qualifikation, Mensch-Maschine-Interaktion*. Online unter <https://www.plattform-lernende-systeme.de/publikationen-details/arbeit-qualifizierung-und-mensch-maschine-interaktion-ki-in-der-arbeitswelt.html>
- Quek F., El-glaly Y., Oliveira F. (2016). Assistive Technology in Education. In *Handbook of Science and Technology Convergence*. Springer, Cham.
- Rickel, J., & Johnson, W. L. (1997). Intelligent tutoring in virtual reality: A preliminary report. In *Proceedings of the eighth World Conference on AI in Education* (pp. 294-301). Amsterdam, IOS Press.
- Rivera, A. C., Tapia-Leon, M., & Lujan-Mora, S. (2018). Recommendation systems in education: A systematic mapping study. In *International Conference on Information Technology & Systems* (pp. 937-947). Springer, Cham.
- Robert, N. (2019). How artificial intelligence is changing nursing. *Nursing management*, 50(9), 30-39.
- Roos, S. (2018). *Chatbots in education - a passing trend or a valuable pedagogical tool?* Master Thesis, Uppsala University.
- Ropelato, S., Zünd, F., Magnenat, S., Menozzi, M., & Sumner, R. (2018). Adaptive tutoring on a virtual reality driving simulator. *International SERIES on Information Systems and Management in Creative EMedia (CreMedia)* (pp. 12-17).

- Roppertz, S. (2020). Artificial Intelligence and Vocational Education and Training - Perspective of German VET teachers. In *Proceedings of the EDEN Research Workshop on Enhancing the Human Experience of Learning with Technology*.
- Rüdian, S., & Pinkwart, N. (2019). Towards an Automatic Q&A Generation for Online Courses-A Pipeline Based Approach. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 237-241). Springer, Cham.
- Rüdian, S., Vladova, G., Gundlach, J., Kazimzade, G., & Pinkwart, N. (2019). Predicting Culture and Personality in Online Courses. In *SLLL@ AIED* (pp. 8-15).
- Schulz, S. (2018). *Physical Computing als Mittel der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung*. Dissertation, HU Berlin
- Schulz, S., & Pinkwart, N. (2015, November). Physical computing in stem education. In *Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education* (pp. 134-135).
- Siepmann, F. (Hrsg.) (2020). *eLearning Benchmarking Studie, Teilstudie Künstliche Intelligenz in der betrieblichen Bildung*. Online unter https://www.elearning-journal.com/wp-content/uploads/2020/06/eLJ_BMS2020_KI.pdf
- Slavin, R. E. (2011). Instruction based on cooperative learning. *Handbook of research on learning and instruction*, 4.
- Stangl, W. (2020). Stichwort: 'Konnektivismus'. *Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik*.
- Strickroth, S. (2016). *Unterstützungsmöglichkeiten für die computerbasierte Planung von Unterricht*. Dissertation, HU Berlin
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.
- Traeger, M. L., Sebo, S. S., Jung, M., Scassellati, B., & Christakis, N. A. (2020). Vulnerable robots positively shape human conversational dynamics in a human–robot team. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6370-6375.
- Trübswetter, A., & Figueiredo, L. (2019). Digitalisierung in der deutschen Pflegeausbildung: Potenziale und Herausforderungen des AKOLEP-Projekts. *Pflege*, 32, 343-352.
- Ullrich, C. (2007). Course generation as a hierarchical task network planning problem. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Ullrich, C. & Igel, C. (2017). Reflecting on APPSist, a Service-based Architecture for AI-based Support on the Shop Floor. In *Proceedings of the Workshop on European TEL for Workplace Learning and Professional Development. European Conference on Technology Enhanced Learning*, CEUR.
- VanLehn, K., Van De Sande, B., Shelby, R., & Gershman, S. (2010). The Andes physics tutoring system: An experiment in freedom. In *Advances in intelligent tutoring systems* (pp. 421-443). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Verbert, K., Duval, E., Klerkx, J., Govaerts, S., & Santos, J. L. (2013). Learning analytics dashboard applications. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1500-1509.
- Wahlster, W. (2020). *Mehr vom Menschen lernen*. FAZ, 9.9.2020
- Wahlster, W. & Winterhalter, C. (2020). *Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz*. Online unter <https://www.din.de/resource/blob/772438/ecb20518d982843c3f8b0cd106f13881/normungsroadmap-ki-data.pdf>
- Wang, X., Gülenman, T., Pinkwart, N., de Witt, C., Gloerfeld, C., & Wrede, S. (2020). Automatic Assessment of Student Homework and Personalized Recommendation. In *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 150-154). IEEE.
- Wartschinski, L., Le, N.-T. & Pinkwart, N., (2017). A Conversational Agent for the Improvement of Human Reasoning Skills. In *Bildungsräume 2017* (pp.249-260). Gesellschaft für Informatik, Bonn.

- Wei, C. W., & Hung, I. (2011). A joyful classroom learning system with robot learning companion for children to learn mathematics multiplication. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 10(2), 11-23.
- Weise, M., Schulz, I., Tallig, G., Zender, R., & Lucke, U. (2020) Virtual Reality in der Fahrzeuglackierausbildung. In *Tagungsband des 66. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften*, Berlin.
- Yadegaridehkordi, E., Noor, N. F. B. M., Ayub, M. N. B., Affal, H. B., & Hussin, N. B. (2019). Affective computing in education: A systematic review and future research. *Computers & Education*, 142, 103649.
- Ye, C., & Biswas, G. (2014). Early prediction of student dropout and performance in MOOCs using higher granularity temporal information. *Journal of Learning Analytics*, 1(3), 169-172.
- Yun, H., Fortenbacher, A., Helbig, R., Geißler, S., & Pinkwart, N. (2019, May). Emotion Recognition from Physiological Sensor Data to Support Self-regulated Learning. In *International Conference on Computer Supported Education* (pp. 155-173). Springer, Cham.
- Zentralverband Deutsches Handwerk (2019). *Künstliche Intelligenz und ihre Potenziale im Handwerk. Blitzumfrage*, Online unter https://www.zdh.de/fileadmin/user_upload/themen/wirtschaft/Blitz-Umfragen/20190708_Ergebnisbericht_Blitz-Umfrage_KI.pdf

Impressum

Zitierhinweis:

Pinkwart, N., & Beudt, S. (2020). Künstliche Intelligenz als unterstützende Lerntechnologie. Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-624584.html>

Herausgeber:

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12

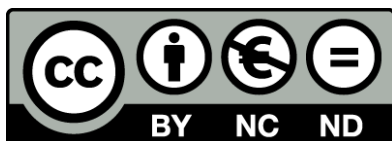
70569 Stuttgart

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes »TransWork«, das mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in der Fördermaßnahme „Arbeit in der digitalisierten Welt“ (Förderkennzeichen 02L15A160) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut wird, beauftragt und erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Projektleitung »TransWork«: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Kathrin Schnalzer (Kathrin.Schnalzer@iao.fraunhofer.de)

Erscheinungsjahr: Dezember 2020

URN: urn:nbn:de:0011-n-6245846



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)