

Künstliche Intelligenz in Bildungs- und Arbeitsräumen

Internet der Dinge, Big Data,

Personalisierung und adaptives Lernen¹

Miloš Kravčik, Carsten Ullrich und Christoph Igel

1. EINLEITUNG

Die menschliche Entwicklung wird in hohem Maße von den verwendeten Werkzeugen und Medien beeinflusst. Die Forschung auf dem Gebiet der Neuronalen Plastizität hat gezeigt, dass unsere Erfahrungen unser Gehirn während des gesamten Lebens verändern (vgl. Doidge 2007). Menschen können also immer lernen und sich neues Wissen und neue Fähigkeiten aneignen. Gemeinsam mit anderen Informations-

1 Wiederveröffentlichung des Beitrags mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags, bei dem die Erstpublikation des Beitrags in englischer Sprache unter dem Titel "The Potential Internet of Things for Supporting Learning and Training in the Digital Age" in Zlatkin-Troitschanskaia/Wittum/Dengel (2018) erschien sowie mit freundlicher Genehmigung des Haufe-Verlags, bei dem der Beitrag unter dem Titel „Das Internet der Dinge als Lern- und Ausbildungshilfe in der digitalen Ära“ in Schwuchow/Gutmann (2018) in deutscher Sprache wiederveröffentlicht wurde.

und Kommunikationstechnologien (*Information and Communication Technologies* – ICT) hat das Internet einen gewaltigen Einfluss auf das Verhalten der Menschen (vgl. Carr 2011). Dabei kommt es auch zu ersten Auswirkungen wie Verlust der Konzentrationsfähigkeit oder Probleme beim kritischen Denken und intensiven Lernen (vgl. Zlatkin-Troitschanskaia/Wittum/Dengel 2018). Jedes Medium entwickelt bestimmte kognitive Fähigkeiten und vernachlässigt andere (vgl. Greenfield 2009). Ob ein Werkzeug hilft oder schadet, hängt von den Fähigkeiten des Einzelnen und der Einsatzmethode ab. Darüber hinaus können sich die Langzeitauswirkungen diametral von den kurzfristigen Effekten unterscheiden und möglicherweise sehr schwer vorauszusagen sein. Es bestehen Risiken, die nicht ignoriert werden dürfen; wir müssen sie analysieren und versuchen, die sich daraus ergebenden Konsequenzen zu verstehen, um möglicherweise schädliche Auswirkungen auf den Menschen zu vermeiden. Dazu bedarf es einer Überwachung der langfristigen Auswirkungen der Technologie auf die Anwender/-innen und einer Abschätzung der möglichen Risiken (vgl. Zlatkin-Troitschanskaia/Wittum/Dengel 2018).

Zugleich sind die einzigartigen Möglichkeiten neuartiger ICT (z.B. das Internet der Dinge, *Wearables* und *Augmented Reality*) außerordentlich verlockend für Forscher/-innen und Entwickler/-innen auf dem Gebiet des technologiegestützten Lernens (*Technology Enhanced Learning* – TEL). Im Bildungsbereich kann uns eine richtige Analyse und Interpretation von *Big Data* dabei helfen, die Wirksamkeit und Effizienz von Lernprogrammen zu individualisieren und zu optimieren. Zusätzlich können die langfristigen Auswirkungen von ICT auf das Lernen überwacht werden, was auch bei der Kultivierung der so wichtigen metakognitiven Fähigkeiten wie Selbstkontrolle, Selbstüberwachung und Selbstreflexion hilfreich wäre. Diese Fähigkeiten sind unabdingbar beim Umgang mit den kognitiven Verzerrungen, die beim Menschen auftreten, und die häufig gegen uns eingesetzt werden. Die Nutzung dieser Verzerrungen zum Vorteil der Lernenden stellt aber auch eine große Herausforderung dar. Ein diesbezüglicher Erfolg wäre ein bedeutender Durchbruch auf dem Gebiet des TEL. In einer Zeit, in

der das lebenslange Lernen unverzichtbar geworden ist, spielt die Kultivierung von Lernfähigkeiten eine entscheidende Rolle. Lernen verlangt den Lernenden jedoch den Einsatz von Mühe und Energie ab. Die Stimulation der natürlichen Neugierde, der Umgang mit Unsicherheit sowie die Entwicklung der Kunst des Anzweifeln und des kritischen Denkens müssen daher Teil dieses Prozesses sein.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die authentische Einbettung des Lernens in andere Prozesse wie die Arbeit. Dies hat direkten Einfluss auf die Motivation und somit auf die Effizienz des Lern- und Übungsprogramms, was nicht nur zur Aneignung von neuem Wissen, sondern auch zur Kultivierung bestimmter angestrebter Fähigkeiten führt. In einer Zeit, in der solch ein Paradigmenwechsel wie der Übergang zur Industrie 4.0 stattfindet, ist das von ausschlaggebender Bedeutung (vgl. Wahlster 2014).²

2. DAS INTERNET DER DINGE

Das Internet der Dinge (*Internet of Things* – IoT) ist eine „globale Infrastruktur für die Informationsgesellschaft, die erweiterte Dienstleistungen durch die Vernetzung (physischer und virtueller) Dinge auf der Grundlage existierender und entstehender dialogfähiger Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht“ (ITU 2012: o.S., Übersetzung d.V.).

Das IoT kann die Authentizität von Lernprogrammen verbessern und die Motivation der Teilnehmer/-innen steigern, was einen ent-

-
- 2 Somit entstehen neue Herausforderungen für die berufliche Entwicklung, wobei Mitarbeiter/-innen direkt in die Planung und Umsetzung einbezogen werden. Lebenslange Kompetenzentwicklung ist aus unterschiedlichen Gründen wichtig. Unternehmen müssen ihre Kompetenzlücken erkennen und wirksam füllen. Mitarbeiter/-innen können ihre eigenen Ansprüche an ihre lebenslange berufliche Entwicklung haben und sie entsprechend planen.

scheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit von Lernprozessen hat. Eine bessere Personalisierung und Anpassungsfähigkeit beim Lernen kann durch die gesammelten Informationen erreicht werden, die mittels einer breiten Palette an zur Verfügung stehenden Sensoren erfasst werden; dazu zählen beispielsweise Sensoren für Umweltanalyse, Gebäudeautomatisierung, Produktion sowie Bio-Sensoren. Dadurch entsteht potenziell eine neue Qualität des personalisierten Lernens auf der Grundlage eines besseren Verstehens der Anwender/-innen, ihrer aktuellen Verfassung (z.B. Aufmerksamkeit, Emotionen und Beeinträchtigungen) sowie ihres Kontextes. Es werden darüber hinaus neue Horizonte für Konzeption und Realisierung neuer virtueller Lernumgebungen eröffnet. In Kombination mit tragbarer Technologie (*Wearable Technologies* – WT) und erweiterter Realität (*Augmented Reality* – AR) wird es möglich, die menschlichen Sinne erheblich besser zum Lernen, zum Aneignen von Wissen und zum Trainieren neuer Fähigkeiten einzusetzen.

Aus technischer Perspektive besteht das IoT aus Objekten, die identifizierbar, kommunikations- und interaktionsfähig sind (vgl. Miorandi et al. 2012). Identifizierbar bedeutet, dass die Objekte über einen eindeutigen digitalen Bezeichner verfügen, den Elektronischen Produktcode (*Electronic Product Code* – EPC), der normalerweise mittels *Radio Frequency Identification* (RFID-Technologie), einer sehr einfachen Kommunikationsmethode, übertragen wird. Weitere Kommunikationsmöglichkeiten, z.B. Senden und Empfangen von Daten zwischen den Objekten, ergeben sich mittels unterschiedlicher Funktechnologien, womit der Schritt vom einzelnen Objekt zum Netzwerk der Dinge vollzogen wird. Die Objekte sind keineswegs passiv: Vielmehr setzen sie Sensoren zum Sammeln von Daten über ihre Umgebung ein. Aktoren lösen dann entsprechende Aktionen aus. Mithilfe von Softwareebenen als Ergänzung der Hardware lassen sich auch Anwendungen ausführen. Die sogenannte *IoT-Middleware* wird normalerweise für den Zugriff auf heterogene IoT-Geräte genutzt und vereinfacht die Entwicklung von IoT-Anwendungen. Noch sind die technischen Herausforderungen des IoT nicht überwunden und seine unterschiedlichen

Teilbereiche sind Gegenstand aktiver Forschung. Dennoch ist die IoT-Technologie bereits so ausgereift, dass sie kommerziell eingesetzt und als Hilfsmittel in der Forschung und Bildung genutzt werden kann.

Frühe Arbeiten über den Einsatz des IoT zu Bildungszwecken konzentrieren sich hauptsächlich auf die Verwendung von RFID zur Erkennung eines Objekts und Darstellung einer Liste mit Datenelementen oder Aktivitäten für dieses Objekt (vgl. z.B. Broll et al. 2009). Später bestand dann auch die Möglichkeit, soziale Interaktionen in das Objektspektrum aufzunehmen (vgl. z.B. Yu et al. 2011). Die Forschung darüber, wie man das volle Potenzial des IoT für den Lern- und Bildungsbereich ausschöpfen kann, befindet sich noch immer in der Frühphase, wobei die bereits vorhandenen Arbeiten Herausforderungen und Chancen skizzieren und Architekturen beschreiben (vgl. Atif/Mathew/Lakas 2015; Thomas et al. 2012). Insbesondere die Forschung, die über die rein technologische Perspektive hinausgeht, ist noch äußerst lückenhaft.

3. BIG DATA IN DER BILDUNG

Zahlreiche Sensoren und von *E-Learning*-Plattformen erzeugte Protokolldateien tragen dazu bei, dass *Big Data* in der Bildung entstehen. Somit liegen riesige Datenmengen über die durchgeführten Lernprozesse vor. Die Analyse und das richtige Verstehen dieser Daten stellt eine echte Herausforderung für Forscher/-innen, Entwickler/-innen und auch für Anwender/-innen dar. Wie bereits erwähnt, ist der entscheidende Punkt die Lücke zwischen der technologischen und pädagogischen Perspektive (vgl. Zlatkin-Troitschanskaia/Wittum/Dengel 2018). Trotzdem helfen bestimmte Forschungsfelder dabei, diese Lücke zu schließen und ein Fundament zu schaffen, auf dem man aufbauen kann.

Educational Data Mining (EDM) zielt darauf ab, aus großen Lern-datenbeständen aussagekräftige Informationen automatisch zu extrahieren. Dabei wird auf maschinelle Methoden zum Erkennen von Da-

tenmustern zurückgegriffen. So lassen sich beispielsweise wirksame Lernpfade für einen bestimmten Anwender/eine bestimmte Anwenderin oder Aktivitäten, die zu besseren Benotungen führen, erkennen. Cristobal Romero und Sebastian Ventura (2010) führen die typischsten Aufgaben an, die in einer Lernumgebung durch EDM-Techniken bewerkstelligt wurden: Analyse und Visualisierung von Daten, Bereitstellung von Feedback zur Unterstützung von Lehrer/-innen bzw. Dozent/-innen, Empfehlungen und Vorhersage der Leistung von Schüler/-innen, Schülermodell-Erstellung, Erkennung unerwünschter Verhaltensweisen bei und Gruppierung von Schüler/-innen, Analyse des sozialen Netzwerks, Entwicklung von Konzeptkarten, Erstellung von Kursmaterial sowie Planung und Terminplanung.

Durch *Lernanalytik* (LA) sollen die Gesamteffektivität des Lernvorgangs verbessert und entsprechende Benachrichtigungen und Vorhersagen bereitgestellt werden. Die Verwendung dieser Methode lässt sich in fünf Stufen gliedern (vgl. Pardo 2014): Sammeln, Analysieren, Vorhersagen, Handeln und Einschränken. Auf jeden Fall müssen unterschiedliche Datenschutz- und Datensicherheitsebenen etabliert werden, damit, abhängig von den besonderen Präferenzen einzelner Personen und anderer Institutionen wie Unternehmen, verschiedene Integrationsniveaus möglich sind (vgl. Kravčik/Neulinger/Klamma 2016a). Die Visualisierung von beobachtbaren Daten über das Verhalten der Lernenden kann sogar ein Feedback über dessen nicht-beobachtbare kognitive und metakognitive Lernaktivitäten liefern (vgl. Nussbaumer et al. 2012). Ein wichtiger Anspruch, den man mit LA verbindet, ist die Messung des Lernerfolges nicht nur in formellen, sondern auch in informellen Umgebungen.

4. PERSONALISIERTES UND ADAPTIVES LERNEN

Wie bereits erwähnt, stellen *Big Data* in der Bildung eine wichtige Informationsquelle dar, die für das individualisierte Lernen zur Verfügung steht. Die Beschreibungen der Domäne können für einen bestimmten Anwender/eine bestimmte Anwenderin im aktuellen Kontext angepasst werden, und zwar je nach gewählter pädagogischer Methode und den bevorzugten Adaptionsstrategien. Um entsprechende technologische und konzeptuelle Differenzen zu überwinden, muss eine semantische Interoperabilität zwischen heterogenen Informationsressourcen und -diensten erreicht werden (vgl. Aroyo et al. 2006). Moderne kontextbezogene und lückenlose ICT macht *Smart Learning* möglich. Dadurch wird den Lernenden die richtige Hilfestellung angeboten, und zwar je nach aktuellem Kontext und personalisierten individuellen Bedürfnissen, die auch über das Verhalten der Lernenden bestimmt werden. *Smart Learning* setzt daher eine entsprechende Fusion aus Bildung und Technologie voraus (vgl. Li et al. 2016).

4.1 Benutzer- und Kontextmodellierung

Die Personalisierung eines Lernprogramms muss die Informationen über den Benutzer/die Benutzerin berücksichtigen, insbesondere das Lernziel (z.B. zu erwerbende Kompetenzen) sowie persönliche Präferenzen. Daraus ergibt sich dann die Wahl einer geeigneten pädagogischen Methode, um den Lernprozess wirkungsvoll, effektiv und attraktiv zu gestalten. Die tatsächlichen kontextbezogenen Einschränkungen führen zu Adaptionen, welche die aktuelle Umgebung sowie verfügbare Objekte berücksichtigen.

Olga Santos, Miloš Kravčič und Jesus Boticario (2016) benennen verschiedene Probleme bei der Personalisierung von Lernprogrammen, z.B. die effektive Erkennung und Verwaltung kontextbezogener und persönlicher Daten der Lernenden, wozu auch ihr emotionaler Zustand zählt. Das Ergebnis sollte ein besseres Verständnis der Person sein,

wozu Daten aus unterschiedlichen Ressourcen verarbeitet werden (z.B. tragbare Geräte mit physiologischen und Kontextsensoren) sowie entsprechende *Big Data*. Es ist ebenfalls wichtig, verschiedene Lernziele zu harmonisieren, z.B. kurz- und langfristige, je nach Präferenzen der Lernenden. Da sich diese Präferenzen schnell ändern können, spielen verfügbare Sensoren eine signifikante Rolle bei der Erkennung solcher Veränderungen. Mittels hochdimensionaler Daten, die von Sensoren erfasst werden, lassen sich auf der Grundlage des Verhaltens der Personen direkte Schlüsse auf die kontextbezogenen Präferenzen ziehen (vgl. Unger et al. 2017). Jedoch sollten die Lernenden und manchmal auch andere Beteiligte (z.B. Lehrer/-innen, Tutor/-innen, Eltern) wissen, welche Daten die Maschine über sie sammelt. Durch ein sogenanntes *Open Learner Model* wird die maschinelle Darstellung der Lernenden verfügbar und dient als wichtiges Mittel für die Lernunterstützung (vgl. Bull/Kay 2010).

Bisher fehlte die Unterstützung der Benutzermodellierung zur Verwertung und Verwaltung aus dem IoT gesammelter persönlicher Daten. Das Benutzermodellierungs-Framework IoTum (vgl. Kummerfeld/Kay 2017) soll diese Lücke füllen. IoT-Anwendungsentwickler/-innen fällt es damit leicht, schlanke, flexible, leistungsfähige und reaktionsschnelle Benutzermodellierungen vorzunehmen und einzusetzen, die zuverlässig, transparent und nachvollziehbar sind (vgl. Kay/Kummerfeld 2012). Andere Methoden befassen sich mit der Verarbeitung kognitiver Verhaltensmuster des Menschen (vgl. Raptis et al. 2017), emotionalen Zuständen (vgl. Sawyer et al. 2017) sowie mit der Modellierung psychomotorischer Aktivitäten (vgl. Santos/Eddy 2017).

4.2 Adaptives Lernen und Üben

Jede Form von Wissensvermittlung sollte auf einer fundierten pädagogischen Grundlage beruhen, die die Lernenden mit ihren Zielen, Fähigkeiten und Präferenzen, aber auch die Thematik und die kontextbezogenen Settings berücksichtigt. Ein geeignetes Anleitungskonzept stimuliert die Motivation der Teilnehmer/-innen und gestaltet die

Lernerfahrung gleichzeitig wirkungsvoll und effizient. Dennoch kann jeder Lernentwurf nur bis zu einem gewissen Grad spezifiziert werden; darüber hinaus muss er an konkrete Gegebenheiten, die sich mit der Zeit dynamisch ändern, angepasst werden. Diese Laufzeit-Adaption muss den Zustand und das Verhalten der Lernenden widerspiegeln und idealerweise den Flow-Zustand konservieren, der sich durch vollständige Aufmerksamkeit und Konzentration auszeichnet; dabei sind einerseits das Entstehen von Frust durch zu hohe Anforderungen und andererseits Langeweile aufgrund von trivialen Abläufen zu vermeiden.

Die Herausbildung von *metakognitiven Fähigkeiten* ist eine große Herausforderung, da diese direkten Einfluss auf die Lebensqualität einer Person haben und für das lebenslange Lernen unabdingbar sind. In diesem Zusammenhang lässt sich die Effektivität der Wissensvermittlung durch Anwendung des *selbstregulierten Lernens* (SRL) verbessern. Zu diesem Zweck müssen die eingesetzten Technologien einen individualisierten Ansatz sowie die richtige Balance zwischen der Freiheit der Lernenden und deren Führung unterstützen, um einerseits die Motivation zu stimulieren und gleichzeitig die Wirksamkeit und Effizienz des Lernprogramms zu berücksichtigen. Nützliche assistive Dienste müssen *offen* sein und die zur Verfügung stehende Technologie sowie die Lernkultur der Lernenden berücksichtigen. Gleichzeitig müssen sie *flexibel* sein und die richtige Mischung aus Adaptivität und Empfehlungen verfügbarer Optionen bereitstellen, um unterschiedlichste Ausprägungen von Führung/Anleitung und Freiheit zu ermöglichen (vgl. Nussbaumer et al. 2014). Zu einer wirkungsvollen SRL-Unterstützung gehört die Integration von Hinweisen in Form von personalisierten Info-Elementen (Benachrichtigungen, die mühelos umgangen werden können) und geeignete Reflexionsmöglichkeiten (vgl. Kravčik/Klamma 2014). In jeder Lernumgebung sorgen hilfreiche *Situationskenntnis-* und *Reflexionsdienste* für wertvolles Feedback für die Teilnehmer/-innen, die damit ihre metakognitiven Fähigkeiten festigen können. Die Schwierigkeit liegt in der sinnvollen Interpretation der während des Lernprozesses gesammelten Daten und in ihrer Darstellung in verständlicher Form. Damit dies durch den Einsatz nützlicher

Technologie gelingt, müssen Designer/-innen und Entwickler/-innen ihr Wissen aus unterschiedlichen Feldern, z.B. Bildung, Psychologie, Neurowissenschaft und Informatik einfließen lassen (vgl. Kravčik et al. 2017).

Das Einüben von Fähigkeiten nur anhand von Texten und Bildern gestaltet sich normalerweise schwierig. Deshalb sind hier dynamischere und interaktivere Medien notwendig; sie stellen sogar eine Grundvoraussetzung für das Lernen im Beruf dar. Die Herausforderung beim Demonstrieren einer bestimmten Fähigkeit, Bedienung oder Handlung ist das Auffinden von relevanten Informationssegmenten aus einer riesigen Menge multimedialer Ressourcen für ein bestimmtes Objekt, einen bestimmten Kontext oder einen bestimmten Benutzer/eine bestimmte Benutzerin. Die Anwendung personalisierter und adaptiver Techniken auf mit Anmerkungen versehene Videodaten ist möglicherweise eine gute Richtung bei der Förderung des informellen Lernens am Arbeitsplatz (vgl. Kravčik et al. 2016b). Eine andere vielversprechende Alternative, die in Richtung *Smart Ambient Learning* vorstößt, bietet sich mit AR und WT (vgl. Koren/Klamma 2015). Ein automatisches Echtzeit-Feedback kann mit einer Kombination aus tragbaren Geräten, Stimmenanalyse und Bewegungssensoren bereitgestellt werden, z.B. beim Einüben nonverbaler Kommunikationsfähigkeiten für die freie Rede in der Öffentlichkeit (vgl. Schneider et al. 2016). Diese Ideen beschreiben neue Arten der Beurteilung, die auf der direkten Überwachung menschlicher Verhaltensweisen in authentischen Umgebungen basieren, wobei entweder ein Echtzeit-Feedback oder eine Leistungsanalyse für einen bestimmten Zeitraum bereitgestellt wird. Das Erlernen motorischer Fähigkeiten ist ein Bereich, in dem tragbare Technologie und Benutzermodellierung synergetisch miteinander kombiniert werden können, um unterstützend eingesetzt zu werden (vgl. Dias Pereira dos Santos/Yacef/Martinez-Maldonado 2017). Des Weiteren eröffnen sich neue Möglichkeiten für das verfahrensbezogene Training, z.B. Aufnahme und Wiedergabe der Performance eines Experten/einer Expertin, was immersives, situationsbezogenes und intuitives Lernen ermöglicht (vgl. Guest et al. 2017).

Eine entscheidende Einschränkung der verfügbaren Adaptions- und Empfehlungsdienste liegt für gewöhnlich in ihrer fehlenden Durchschau- und Nachvollziehbarkeit, wobei es sich um ein typisches Problem handelt, wenn Techniken aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz wie ‚tiefes Lernen‘ eingesetzt werden (vgl. De Bra 2017). Im Rahmen der Anwendung zu Lernzwecken müssen solche maschinellen Entscheidungen anhand von Regeln oder Beweisen erklärbar sein, um das Vertrauen der Benutzer/-innen zu gewinnen. Grundsätzlich stimuliert ein Kontrollverlust negative Gefühle bei den Nutzer/-innen. Es sind deshalb außerdem klare und verwaltbare Datenschutzrichtlinien erforderlich (vgl. Golbeck 2017).

5. APPSIST-SYSTEM

Zur Demonstration einer intelligenten adaptiven Lerntechnologie, die den Weg zur Industrie 4.0 bereitet, führen wir das APPsist-System ein, welches die erste allgemein einsetzbare dienstorientierte Architektur mit unternehmensspezifischen Spezialisierungen darstellt. Die zugehörigen intelligenten Dienste umfassen benutzerzentrierte Unterstützung von Mitarbeiterqualifizierung und -schulung sowie benutzeradaptive kontextbezogene Unterstützung, die formalisiertes Expertenwissen nutzt.

APPsist ist ein Beispiel dafür, wie von Sensoren gesammelte Daten für die Aneignung von Wissen und für entsprechende Hilfestellungen eingesetzt werden. Ziel war die Entwicklung einer neuen Generation von mobilen, kontextabhängigen und intelligent-adaptiven Assistenzsystemen für die Wissensvermittlung und Maßnahmenunterstützung in der intelligenten Produktion. Die Forscher/-innen und Entwickler/-innen konzentrierten sich vorwiegend auf die Fähigkeiten und Kompetenzen der Mitarbeiter/-innen und auf Versuche, eventuell fehlende Fähigkeiten hinsichtlich der Erfüllung von Aufgaben am Arbeitsplatz zu kompensieren sowie auf die Maßnahmenunterstützung im Arbeitsprozess. Darüber hinaus fördern Dienste zur Wissensunterstützung die

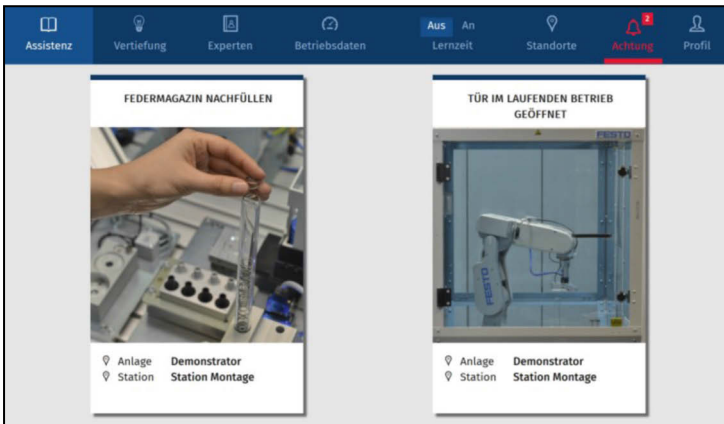
kontinuierliche Erweiterung von Mitarbeiterkompetenzen durch Aneignung von Wissen und Fähigkeiten in Bezug auf Fabrikation, Produkte und Prozesse. In dieser Hinsicht war das Ziel die berufliche Entwicklung der Mitarbeiter/-innen, damit sie schrittweise anspruchsvollere Aufgaben übernehmen und somit das Ungleichgewicht, das aufgrund des demographischen Wandels und des Fachkräftemangels entsteht, ausgeglichen wird. Dazu gehört die Einrichtung und der Betrieb einer Produktionseinheit im Produktionsprozess sowie die präventive Wartung, die reguläre Wartung und die Problembehandlung.

Die Lösung bietet den Mitarbeiter/-innen sowohl Assistenz- als auch Wissensvermittlungsdienste. Diese Softwarekomponenten bieten bestimmte Arten von Unterstützung: Assistenzdienste helfen bei der Lösung eines aktuellen Problems, während Wissensvermittlungsdienste der Übertragung von Wissen dienen; das heißt dem Erreichen individueller mittel- und langfristiger Entwicklungsziele (vgl. Ullrich et al. 2015). Eine solche Unterstützung bei einer bestimmten Aktivität kann in Form einer Schritt-für-Schritt-Anleitung oder als Einblendung von Informationen in das Sichtfeld der Nutzer/-innen mittels AR erfolgen (vgl. Abbildung 1). Kontextbezogene Empfehlungen enthalten geeignete Arbeitsschritte, aber auch Informationen, die im derzeitigen Kontext relevant sind, z.B. aus Handbüchern.

Der derzeitige Stand der Technik besteht in Dienstarchitekturen, deren Funktionalität sich aus dem Zusammenspiel einer großen Anzahl an Diensten ergibt. Jeder Dienst setzt dabei eine spezifische, unabhängige Funktionalität um und stellt diese anderen Diensten zur Verfügung. Das APPSist-System basiert auf einer dienstorientierten Architektur (vgl. Ullrich et al. 2015), die auf einen bestehenden Maschinenpark angewendet und damit verbunden werden kann. Es verwendet verfügbare Sensordaten, die dazu dienen, den Produktionsprozess zu überwachen und zu steuern, zum Zwecke der Interpretation der Handlungen der menschlichen Bediener/-innen, die mit den Maschinen interagieren. So kann das System den Bediener/-innen Vorschläge bezüglich durchzuführender Maßnahmen unterbreiten. Wenn APPSist beispielsweise einen Maschinenzustand erkennt, der einem Problem

entspricht, überprüft das System, welche Wartungsmaßnahmen das Problem lösen und welche Bediener/-innen befugt sind, diese Wartungsmaßnahme durchzuführen. Mittels einer mobilen Anwendung stellt es den Bediener/-innen dann zugehörige Inhalte (z.B. Bedienungsanleitungen, Hintergrundinformation) und Wartungsverfahren zur Verfügung. APPsist kann also personalisierte Lern- und Trainingsverfahren anbieten, die zum Aneignen des gewünschten Wissens oder der gewünschten Fähigkeit führen, indem es geeignete Arbeitsverfahren, aber auch entsprechende Lerninhalte empfiehlt. Diese Art von Unterstützung berücksichtigt die Entwicklungsziele der Arbeitnehmer/-innen sowie ihre durchgeführten Arbeitsschritte.

Abbildung 1: Der Screenshot zeigt empfohlene Arbeitsverfahren



Quelle: DFKI/EdTec Lab (2018)

Im Kontext der Verwendung des IoT zur Lern- und Trainingszwecken in der Produktion ist von Bedeutung, dass APPsist maschinelle Sensordaten mit Aktivitäten der menschlichen Bediener/-innen in Relation setzt und diese verwendet, um zu bestimmen, ob die Maßnahmen der Bediener/-innen richtig oder falsch waren (vgl. Ullrich et al. 2016). So werden in der ‚analogen‘ Welt durchgeführte Maßnahmen digital ver-

füßbar und zur Analyse, Interpretation und Reaktion nutzbar. Mit der fortschreitenden Digitalisierung von Räumen durch IoT-Technologie wird die Menge der für die digitale Verarbeitung zur Verfügung stehenden Daten weiter zunehmen. Es muss noch mehr Forschungsarbeit geleistet werden, um zu ergründen, wie solche Daten zum Lernen und Üben eingesetzt werden können; Beispiele wie APPsist zeigen, dass dies möglich ist.

6. PERSPEKTIVEN UND FAZIT

Heutzutage vermengt sich die Notwendigkeit der Weiterqualifikation aufgrund neuer Herausforderungen am Arbeitsplatz mit dem starken Bedürfnis, kritisches Denken zu fördern, um der systematischen Manipulation von Meinungen und mentalen Modellen, wozu die beim Menschen auftretenden kognitiven Verzerrungen ausgenutzt werden, entgegenzuwirken. Unter diesen Umständen ist das traditionelle Push-Modell des in der Bildung üblichen formalen Lernens, das auf der Vermittlung von Wissen basiert, welches bereits vor der Ausführung des Lernvorgangs existierte, sehr häufig nicht ausreichend. Stattdessen bedarf es neuer Push-Modelle des informellen Lernens, wobei die Schaffung neuen Wissens während der Ausführung des Lernvorgangs gefördert wird (vgl. Naeve et al. 2008). Aus unterschiedlichen Perspektiven und Interpretationen eines bestimmten Ereignisses oder einer bestimmten Entität können die Lernenden ihr eigenes Verstehen schaffen, wobei ein gewisser Grad der Unsicherheit verbleibt. Bei diesem Vorgang spielt das Vertrauen in die Wissensressourcen, das ständig erneuert werden kann, eine wichtige Rolle. Eine der wichtigsten Kompetenzen wird die Fähigkeit sein, die richtige Frage zu stellen.

Die Industrie 4.0 bringt viele Herausforderungen mit sich und stellt hohe Ansprüche an das informelle Lernen, insbesondere direkt am Arbeitsplatz. Dadurch sollten sich neue Möglichkeiten für die Fort- und Weiterbildung von Mitarbeiter/-innen ergeben. Grundsätzlich sollte das Lernen nicht nur auf den individuellen Präferenzen der Benutzer/-in-

nen aufbauen, sondern auch auf der Wirksamkeit und Effizienz des Lern- und Übungsprogramms, wobei der aktuelle Kontext ebenso berücksichtigt werden muss wie der emotionale Zustand und die Aufmerksamkeit der Lernenden. Neue Sensoren und das IoT bieten weitere Alternativen für die Sammlung und Analyse von *Big Data* in formellen, informellen und arbeitsplatzgebundenen Lernprozessen. Durch sie lassen sich die Ziele, Präferenzen und der Kontext der Lernenden besser berücksichtigen, was zu einer präziseren Personalisierung und Adaption der Lernprogramme führt. Ihre Wirksamkeit und Effizienz lässt sich durch WT und AR weiter verbessern, wobei diese Technologien wahrscheinlich neue Trainingsmethoden zur Förderung der benötigten Kompetenzen hervorbringen. Ebenfalls von Interesse im Beruf und im Kontext des informellen Lernens ist eine Kombination aus *Learning Nuggets* und *Nudges*, das heißt die Erweiterung von *Micro-Learning*-Angeboten (*Nuggets*) mit passenden Empfehlungen (*Nudges*). Während sich Ersteres normalerweise auf kleinere Inhaltssegmente bezieht, kann Letzteres bei der Beförderung von Lernprozessen nützlich sein.

Das IoT ist dezentralisiert, da es autonome Geräte direkt miteinander verbindet. Verglichen mit herkömmlichen hierarchischen Modellen stellt es eine Alternative dar, die einen besseren Datenschutz und bessere Sicherheit bieten kann; Vertrauen ist hier der Schlüsselbegriff. Die *Blockchain*-Technologie (vgl. Tapscott/Tapscott 2016) ist entscheidend für das IoT, da sie den Geräten ermöglicht, digitale Verträge und Funktionen als selbstwartende Geräte autonom auszuführen. Dieses neue Paradigma delegiert das Vertrauen auf die Objektebene und ermöglicht die Animation und Personalisierung der physischen Welt. Des Weiteren schafft es neuartige ausgereifte Möglichkeiten für Benutzer/-innen, ihre Privatsphäre zu kontrollieren und ihre Daten zu schützen. Die *Blockchain*-Technologie hat das Potenzial, verschiedene Bereiche komplett zu verändern, und Bildung ist einer davon. Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie dies geschehen kann (vgl. Tapscott/Tapscott 2017), und aus unserer Perspektive ist die wichtigste eine neue Bildung als Ersatz für das vorherrschende Sender-Modell und als Vorbereitung auf

das lebenslange Lernen. Dazu gehören alle Kompetenzen, die für Wissensarbeiter/-innen relevant sind, z.B. kritisches Denken, Problemlösung, Kollaboration und Kommunikation.

Das IoT kann bei der Sammlung riesiger Datenmengen über unterschiedliche Artefakte, ihre Beziehungen und die mit ihnen interagierenden Menschen einen bedeutenden Beitrag leisten. Die Schwierigkeit ist die richtige Analyse und Interpretation dieser Daten und die Gewinnung von aussagekräftigen Erkenntnissen über den Kontext und die einzelnen Benutzer/-innen. Auf dieser Grundlage lassen sich geeignete Lern- und Übungsprogramme entwerfen und den Menschen bereitstellen. Darüber hinaus schafft das IoT neue Möglichkeiten für die automatische Personalisierung und Anpassung dieser Programme an den aktuellen Kontext. So können Lernanweisungen sowie Personalisierungs- und Adaptionstrategien direkt in das IoT codiert werden, welches dabei als eine virtuelle (parallele) Maschine betrachtet werden kann. Dazu sind neue Programmiermethoden in diesem Bereich erforderlich. In jedem Fall müssen wir die Delegation von bestimmten Entscheidungsabläufen an Maschinen kontrollieren und überwachen, damit wir die langfristigen Auswirkungen beobachten und die verbundenen Risiken minimieren können.

LITERATUR

- Aroyo, Lora/Dolog, Peter/Houben, Geert-Jan/Kravčík, Miloš/Naeve, Ambjorn/Nilsson, Mikael/Wild, Fridolin (2006): „Interoperability in Personalized Adaptive Learning“, in: *Journal of Educational Technology & Society* 9/2, S. 4-18.
- Atif, Yacine/Mathew, Suijth S./Lakas, Abderahmane (2015): „Building a Smart Campus to Support Ubiquitous Learning“, in: *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 6/2, S. 223-238.
- Broll, Gregor/Rukzio, Enrico/Paolucci, Massimo/Wagner, Matthias/Schmidt, Albrecht/Hussmann, Heinrich (2009): „PERCI: Pervasive

- Service Interaction with the Internet of Things“, in: IEEE Internet Computing 13/6, S. 74-81.
- Bull, Susan/Kay, Judy (2010): „Open Learner Models“, in: Roger Nkambou/Jaqueline Bourdeau/Riichero Mizoguchi (Hg.), *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, Berlin: Springer, S. 301-322.
- Carr, Nicholas (2011): *The Shallows: What the Internet is Doing to Our Brains*, New York: Norton.
- De Bra, Paul (2017): „After Twenty-Five Years of User Modeling and Adaptation... What Makes us UMAP?“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguera Formoso (Hg.), *Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, New York: ACM, S. 1.
- Dias Pereira dos Santos, Augusto/Yacef, Kalina/Martinez-Maldonado, Roberto (2017): „Let’s Dance: How to Build a User Model for Dance Students Using Wearable Technology“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguera Formoso (Hg.), *Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, New York: ACM, S. 183-191.
- Doidge, Norman (2007): *The Brain that Changes Itself: Stories of Personal Triumph from the Frontiers of Brain Science*, New York: Penguin.
- Golbeck, Jennifer A. (2017): „I’ll be Watching You: Policing the Line between Personalization and Privacy“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguera Formoso (Hg.), *Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, New York: ACM, S. 2.
- Guest, Will/Wild, Fridolin/Vovk, Alla/Fominykh, Mikhail/Limbu, Bibeg/Klemke, Roland/Sharma, Puneet/Karjalainen, Jaakko/Smith, Carl/Rasool, Jazz/Aswat, Soyeb/Helin, Kaj/Di Mitri, Daniele/Schneider, Jan (2017): „Affordances for Capturing and Re-enacting Expert Performance with Wearables“, in: Élise Lavoué/Hendrik Drachler/Katrien Verbert/Julien Broisin/Mar Pérez-Sanagustín (Hg.), *Proceedings of the 12th European Conference for Technology-Enhanced Learning (EC-TEL)*, Berlin: Springer, S. 403-409.

- ITU (2012): Internet of Things Global Standards Initiative. International Telecommunication Union, <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> vom 19.5.2017.
- Kay, Judy/Kummerfeld, Bob (2012): „Creating Personalized Systems that People can Scrutinize and Control: Drivers, Principles and Experience“, in: ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS) 2/4, S. 24.
- Koren, István/Klamma, Ralf (2015): „Smart Ambient Learning with Physical Artifacts Using Wearable Technologies“, in: Davy Preuveneers (Hg.), Workshop Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Environments (= Ambivalent Intelligence and Smart Environments 19), Amsterdam: IOS Press, S. 325-332.
- Kravčík, Miloš/Klamma, Ralf (2014): „Self-Regulated Learning Nudges“, in: Mouzhi Ge/Francesco Ricci (Hg.), Proceedings of the First International Workshop on Decision Making and Recommender Systems (DMRS2014), Bozen, 18.-19.9.2014, CEUR 1278, S. 52-54, <http://ceur-ws.org/Vol-1278/> vom 20.8.2018.
- Kravčík, Miloš/Mikroyannidis, Alexander/Pammer-Schindler, Victoria/Prilla, Michael/Ullmann, Thomas D. (2017): „Editorial. In Awareness and Reflection in Technology Enhanced Learning [Special Issue]“, in: International Journal of Technology Enhanced Learning 9/2, S. 99-102.
- Kravčík, Miloš/Neulinger, Kateryna/Klamma, Ralf (2016a): „Data Analysis of Workplace Learning with BOOST“, in: Roberto Martinez-Maldonado/Davinia Hernandez-Leo (Hg.), Proceedings of the Workshop on Learning Analytics for Workplace and Professional Learning (LA for work). In Conjunction with the 6th International Learning Analytics and Knowledge Conference, Edinburgh, 25.-29.4.2016, CEUR 1601, S. 25-29, <http://ceur-ws.org/Vol-1601/> vom 20.8.2018.
- Kravčík, Miloš/Nicolaescu, Petru/Siddiqui, Aarij/Klamma, Ralf (2016b): „Adaptive Video Techniques for Informal Learning Support in Workplace Environments“, in: Ting-Ting Wu/Rosella Gen-

- nari/Yueh-Min Huang/Haroan Xie/Yiwei Cao (Hg.), *Emerging Technologies for Education. First International Symposium, SETE 2016, Held in Conjunction with ICWL 2016, Rom, 26.-29.10.2016* (= LNCS 10108), Cham: Springer, S. 533-543.
- Kummerfeld, Bob/Kay, Judy (2017): „User Modeling for the Internet of Things“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguera Formoso (Hg.), *Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, New York: AMC, S. 367-368.
- Li, Yanyan/Chang, Maiga/Kravčik, Miloš/Popescu, Elvira/Huang, Ronghuai/Niang-Shing Chen (2016), *State-of-the-Art and Future Directions of Smart Learning*, Singapur: Springer.
- Miorandi, Daniele/Sicari, Sabrina/Pellegrini, Francesco De/Chlamtac, Imrich (2012): „Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges“, in: *Ad Hoc Networks* 10/7, S. 1497-1516.
- Naeve, Ambjörn/Yli-Luoma, Pertti/Kravčik, Miloš/Lytras, Miltiadis D. (2008): „A Modelling Approach to Study Learning Processes with a Focus on Knowledge Creation“, in: *International Journal of Technology Enhanced Learning* 1/1-2, S. 1-34.
- Nussbaumer, Alexander/Scheffel, Maren/Niemann, Katja/Kravčik, Miloš/Albert, Dietrich (2012): „Detecting and Reflecting Learning Activities in Personal Learning Environments“, in: *Proceedings of the 2nd Workshop on Awareness and Reflection in Technology-Enhanced Learning (artel12) at European Conference for Technology-Enhanced Learning*, Saarbrücken, 18.9.2012, CEUR 931, S. 125-131, <http://ceur-ws.org/Vol-931/> vom 20.8.2018.
- Nussbaumer, Alexander/Kravčik, Miloš/Renzel, Dominik/Klamma, Ralf/Berthold, Marcel/Albert, Dietrich (2014): *A Framework for Facilitating Self-Regulation in Responsive Open Learning Environments*, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1407/1407.5891.pdf> vom 20.8.2018.
- Pardo, Abelardo. (2014): „Designing Learning Analytics Experiences“, in: Johann A. Larusson/Brandon White (Hg.), *Learning Analytics. From Research to Practice*, New York: Springer, S. 15-38.

- Raptis, George. E./Katsini, Christina/Belk, Marios/Fidas, Christos/Samaras, George/Avouris, Nikolaos (2017): „Using Eye Gaze Data and Visual Activities to Infer Human Cognitive Styles: Method and Feasibility Studies“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguela Formoso (Hg.), Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, New York: ACM, S. 164-173.
- Romero, Cristobal/Ventura, Sebastian (2010): „Educational Data Mining: A Review of the State of the Art“, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 40/6, S. 601-618.
- Santos, Olga C./Eddy, Martha H. (2017): „Modeling Psychomotor Activity: Current Approaches and Open Issues“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguela Formoso (Hg.), Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, New York: ACM, S. 305-310.
- Santos, Olga C/Kravčík, Miloš/Boticario, Jesus G. (2016): „Preface to Special Issue on User Modelling to Support Personalization in Enhanced Educational Settings“, in: International Journal of Artificial Intelligence in Education 26/3, S. 809-820.
- Sawyer, Robert/Smith, Andy/Rowe, Jonathan/Azevedo, Roger/Lester, James (2017): „Enhancing Student Models in Game-Based Learning with Facial Expression Recognition“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguela Formoso (Hg.), Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, New York: ACM, S. 192-201.
- Schneider, Jan/Börner, Dirk/van Rosmalen, Peter/Speccht, Marcus (2016): „Can You Help Me with my Pitch? Studying a Tool for Real-Time Automated Feedback“, in: IEEE Transactions on Learning Technologies 9/4, S. 318-327.
- Schwuchow, Karlheinz/Gutmann, Joachim (Hg.) (2018): HR-Trends 2019. Strategie, Digitalisierung, Diversität, Demographie. Freiburg: Haufe.

- Tapscott, Don/Tapscott, Alex (2016): *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*, New York: Penguin.
- Tapscott, Don/Tapscott, Alex (2017): „The Blockchain Revolution & Higher Education“, in: *Educause Review* 52/2, S. 11-24.
- Thomas, Andrew M./Shah, Hanifa/Moore, Philip/Rayson, Peter/Wilcox, Anthony/Osman, Keith/Evans, Cain/Chapman, Craig/Athwal, Cham/While, David/Pham, Hai V./Mount, Sarah. (2012): „E-Education 3.0: Challenges and Opportunities for the Future of iCampuses“, in: *Proceedings of the Sixth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, CISIS 2012, Palermo, 4.-6.7.2012, Piscataway: IEEE*, S. 953-958.
- Ullrich, Carsten/Aust, Matthias/Dietrich, Michael/Herbig, Nico/Igel, Christoph/Kreggenfeld, Niklas/Prinz, Christopher/Raber, Frederic/Schwantzer, Simon/Sulzmann, Frank (2016): „APPsist Statusbericht: Realisierung einer Plattform für Assistenz- und Wissensdienste für die Industrie 4.0“, in: *Proceedings of DeLFI Workshop, CEUR 1669*, S. 174-180, <http://ceur-ws.org/Vol-1601/> vom 20.8.2018.
- Ullrich, Carsten/Aust, Matthias/Kreggenfeld, Niklas/Kahl, Denise/Prinz, Christopher/Schwantzer, Simon (2015): „Assistance- and Knowledge-Services for Smart Production“, in: *Proceedings of the 15th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business*, New York: ACM, Artikel 40.
- Unger, Moshe/Shapira, Bracha/Rokach, Lior/Bar, Ariel (2017): „Inferring Contextual Preferences Using Deep Auto-Encoding“, in: Adán V. Sáenz/Newton N. Pereira/Luis M. Carral Couce/José A. Fraguera Formoso (Hg.), *Proceedings of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, New York: ACM, S. 221-229.
- Wahlster, Wolfgang (2014): „Semantic Technologies for Mass Customization“, in: Wolfgang Wahlster/Hans-Joachim Grallert/Stefan Wess/Hermann Friedrich/Tomas Widenka (Hg.), *Towards the In-*

ternet of Services. The THESEUS research program, Cham: Springer, S. 3-13.

Yu, Zhiwen/Liang, Yunji/Xu, Bukan/Yang, Yue/Guo, B. (2011): „Towards a Smart Campus with Mobile Social Networking“, in: Feng Xia (Hg.), Proceedings of the International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, Dalian, 19.-22.10.2011, Piscataway: IEEE, S. 162-169.

Zlatkin-Troitschanskaia, Olga/Wittum, Gabriel/Dengel, Andreas (Hg.) (2018): Positive Learning in the Age of Information. A Blessing or a Curse?, Wiesbaden: VS Verlag.