

# Künstliche Intelligenz im Lehr-Lernlabor

KARSTEN LENSING

## Abstract

Der Beitrag widmet sich technischen und didaktischen Entwicklungslinien, aus denen sich Perspektiven zur Integration von Künstlicher Intelligenz im Umfeld hochschulischer Lehr-Lernlabore ableiten lassen. Ausgehend von einer Desk Research zu den technologischen Entwicklungslinien der KI, den Funktionen digitaler Assistenzsysteme und aktuellen Nutzungsszenarien für KI in der Hochschulbildung, skizziert der Beitrag Anknüpfungspunkte zur Integration von KI-Technologien in technische Lehr-Lernumgebungen. Hierzu werden tätigkeitsbezogene Kompetenzansprüche und qualifikatorische Herausforderungen für die Nutzenden der KI-basierten Technologien identifiziert, erste Konzeptionen für KI-Labore vorgestellt und Perspektiven für die Integration von KI im Umfeld ingenieurwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore entwickelt. In erster Analyse der Nutzungsszenarien für KI-basierte Systeme im Kontext des Lehrens und Lernens bestätigt sich zunächst die besondere Relevanz der datenbezogenen und metakognitiven Kompetenzen für eine Weiterentwicklung der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung. Zudem zeigt sich, dass insbesondere kognitive Assistenzfunktionen im Zusammenspiel mit einer Individualisierung der Lehr-Lernprozesse bedeutsam erscheinen, um eine reflektive Auseinandersetzung mit KI-bezogenen Kompetenzen zu fördern. Hierzu wird es notwendig sein, Lernende wie Lehrende in handlungsorientierten Szenarien mit Auswirkungen einer zunehmenden Nutzung von KI-Technologien zu konfrontieren. Zukünftig sollten hierzu verstärkt auch die normativen Aspekte von KI reflektiert werden, um die Integration von KI im Umfeld der ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabore erfolgreich zu gestalten.

**Schlüsselwörter:** Assistenzsysteme, Künstliche Intelligenz (KI), Lehr-Lernlabor

## 1 Einleitung

Im Rahmen der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung nimmt der Lern- und Arbeitsraum Labor eine zentrale Rolle für die berufsfeldorientierte Kompetenzentwicklung ein (Tekkaya et al., 2016). Obwohl labordidaktische Lehr-Lernformate gekennzeichnet sind durch eine große Heterogenität, eint sie doch, dass auch sie den Auswirkungen des umfassenden digitalen Wandels ausgesetzt sind (vgl. Terkowsky, May & Frye in diesem Band). Die zunehmende Nutzung digitaler Assistenzsysteme etwa wird die Tätigkeiten im ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabor,

wie beispielsweise die computergestützte Datenanalyse oder die (remote) Manipulation von Laborequipment, weiter verändern und neuartige Lehr-Lernaktivitäten notwendig machen (siehe bspw. Lensing, 2021). Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Digitalisierung ist insbesondere das Forschungsfeld Künstliche Intelligenz (KI) für die Innovation der Hochschulausbildung von hoher Relevanz (Holmes et al., 2019). Lernende wie Lehrende in der Hochschulbildung sollen zukünftig mit KI-basierten Feedback-, Empfehlungs- und Vorhersagesystemen begleitet, unterstützt und entlastet werden können (Baker et al., 2019). Demnach erschließt die Integration KI-basierter Technologien im Kontext des hochschulischen Lehrens und Lernens eine wichtige technologische (Teil-)Antwort für die Individualisierung von Lehr-Lernprozessen im Umfeld ingenieurwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore.

Die Forschung zu Künstlicher Intelligenz erfährt seit Mitte 2016 eine neue Welle der Aufmerksamkeit. Dies zeigt sich zum Beispiel in Hinblick auf die Vielzahl von Strategiepapieren und Förderlinien, die sich derzeit auf die Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu KI und eine branchenübergreifende Integration von KI-Technologien, -methoden, und -anwendungen fokussieren (u. a. acatech, 2020; BReg, 2019). Insbesondere im Hinblick auf die zuletzt erreichten Ergebnisse in den Forschungsfeldern Deep Learning und Natural Language Processing (NLP) wird deutlich, dass eine (Teil-)Antwort auf die qualifikatorischen Herausforderungen mit Unterstützung durch multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen mittelfristig realisierbar erscheint (Abele & D’Onofrio, 2020; Wahlster, 2019). Neu sind weder die Bemühungen in Bezug auf die Integration datengetriebener KI-Methoden noch das interdisziplinäre Forschungsfeld KI selbst (Russell & Norvig, 2009) – in neuer Qualität präsentiert sich jedoch der niedrighschwellige Zugang zu KI-basierten Werkzeugen für die Industrie, der erst zuletzt im Zuge von Big Data (Verfügbarkeit von hoher Daten- und Rechenleistung) und Algorithm Wave (Automation computergestützter Analyseaufgaben) möglich wurde (Hatiboglu et al., 2019; Schuh & Scholz, 2019). In der Folge ist ein zunehmender Einsatz KI-basierter Technologien in der industriellen Praxis feststellbar, der u. a. eine Umgestaltung arbeitsorganisatorischer und qualifikatorischer Begleitmaßnahmen nach sich zieht (u. a. Maschler et al., 2020; Rammer et al., 2019; Seifert et al., 2018). Aus den Kompetenzansprüchen der Industrie im Hinblick auf das Thema KI (Gottburgsen et al., 2019) wiederum erwächst der Auftrag zur Innovation der hochschulischen Berufsausbildung (Heidling et al., 2019). Aktuelle Studien zum Thema KI in der Hochschulbildung bestätigen die Bedeutung von KI zur Unterstützung der Lehr-Lernprozesse und skizzieren einen Bedarf an Ansätzen zur Integration von KI im ingenieurwissenschaftlichen Curriculum (vgl. Zawacki-Richter et al., 2019; Lindner & Romeike, 2019; Keller et al., 2019a; Bhaduri, 2018). Erste lehr-lernbezogene Umsetzungen unter Einsatz von KI-Technologien können im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts *Transwork* oder im KI-Schwerpunktprogramm der Bundesregierung „*Einrichtung von KI-Laboren zur Qualifizierung im Rahmen von Forschungsvorhaben im Gebiet Künstliche Intelligenz*“ verortet werden. Diese und weitere Umsetzungen sollen im Folgenden genauer betrachtet werden, um Perspektiven zur Integration von KI-Technologien in die ingenieurwissenschaftlichen

Lehr-Lernlabore abzuleiten. Vor diesem Hintergrund widmet sich der Beitrag der Beantwortung folgender Fragen:

- (1) Wie verbreitet ist der Einsatz von KI-Technologie in hochschulischen Lehr-Lernumgebungen?
- (2) Welcher Kompetenzanspruch besteht hinsichtlich der Nutzung KI-basierter Assistenzsysteme?
- (3) Wie können KI-Technologien im ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabor integriert werden?

Zu diesem Zweck werden zunächst die labordidaktischen und technologischen Grundbezüge dargestellt (Abschnitt 2 und 3); anschließend widmet sich der Beitrag der Aufarbeitung von hochschulischen und laborbezogenen Einsatzszenarien für KI-Technologien sowie den inhaltlichen Schwerpunkten für eine lehr-lernbezogene Auseinandersetzung mit KI (Abschnitt 4). Daraufhin werden in einem letzten Schritt die Perspektiven für eine labordidaktisch fundierte Gestaltung der Integration von KI-Assistenzsystemen im ingenieurwissenschaftlichen Labor antizipiert (Abschnitt 5).

## 2 Bedeutung der ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabore

Der Lern- und Arbeitsraum Labor kann als ein integraler Bestandteil der ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung verstanden werden (Tekkaya et al., 2016). Die gemeinhin mit dem Begriff Labor assoziierten Konzeptionen wie etwa das Experimentieren oder die Kommunikation wissenschaftlicher Erkenntnisse liefern erste Hinweise auf die Heterogenität laborbezogener Umsetzungen. Bei genauerer Betrachtung hochschulischer Labore zeigt sich das Lehr-Lernlabor als ein Raum für die Grundlagenarbeit, für die Anwendung und die Entwicklung neuer Methoden und Technologien, aber auch als ein Ort für (Gedanken-)Experimente und die Reflexion der individuellen Kompetenzentwicklung. Für eine umfassendere Diskussion zu Wesen und Funktion des Lern- und Arbeitsraums Labor sei an dieser Stelle auf den Beitrag von Berendes und Gutmann in diesem Sammelband verwiesen.

Aus der Perspektive der Studierenden kontrastieren die Laborerfahrungen mit ihren oft instruktional ausgelegten und somit unmittelbar begreifbaren Handlungsabläufen das opake Bildungsziel einer ingenieurwissenschaftlichen Hochschulausbildung (vgl. Terkowsky, May & Frye in diesem Band). Einerseits vermitteln Listen von Eingangs- und Ausgangsgrößen, Vorgaben zu relevanten Methoden sowie gekapselte Maschinen und Anlagen in den Grundlagenlaboren den Studierenden den Eindruck, die Abläufe und Prozesse in Lehr-Lernlaboren seien stets klar definiert – auf der anderen Seite werden sie in Entwicklungs- und Konstruktionslabore mit komplexen Technologien und ersten selbstgesteuerten Arbeitsprozessen konfrontiert, deren Umsetzung mit einer Reflexion individueller Lern- und Kompetenzentwicklungsprozesse begleitet werden sollte. Damit die Lernenden sich mit eigenen

Projektideen und Handlungsprodukten selbst verwirklichen können, sind zusätzlich labordidaktische Konzeptionen im vielen Freiheitsgraden notwendig – wie sie beispielsweise im Kontext von Projekt- und Walk-in-Laboren zu finden sind. In diesen Formaten besteht für die Lernenden die Gelegenheit, über forschendes Lernen auch metakognitive Kompetenzspektren weiterzuentwickeln (ebd.). Zwischen diesen drei Polstellen hochschulischer Lehr-Lernlabore können eine Vielzahl didaktischer Formate mit Bezügen zum Labor identifiziert werden, beispielsweise Forschungslabore, Mini-Labs, Game-Based Learning, Cross-Reality Labs etc. Darüber hinaus lassen sich auch Fab Labs, Makerspaces (Lensing et al., 2018) und Lernfabriken (Pittich et al., 2019a) sowie viele weitere integrierte Umsetzungen, ihrer konzeptionell bedingten Abgrenzungsneigung gegenüber dem klassischen Lehr-Lernlabor zum Trotz, als labordidaktisch verankerte Formate begreifen (ebd.). Für einen Strukturierungsvorschlag zu den aufgeführten Erscheinungsformen moderner Lehr-Lernlabore sei an dieser Stelle erneut auf den Beitrag von Terkowsky, May & Frye in diesem Band und auf das dort explizierte Stufenmodell zur Kompetenzentwicklung im Lehr-Lernlabor verwiesen.

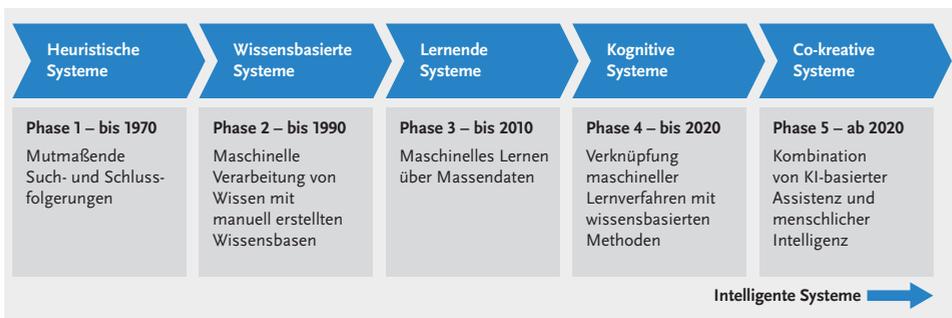
In der höchsten Taxonomiestufe labordidaktischer Lehr-Lernformate intendieren die Lernziele eine berufsfeldorientierte Kompetenzentwicklung anhand unvollständiger Problemdefinition (Feisel & Rosa, 2005). Sie sind somit auf eine Integration berufspraxisrelevanter Technologien angewiesen, um solche Lehr-Lernszenarien zu antizipieren, die eine zukünftige berufliche Wirklichkeit mit dazu passenden Kompetenzentwicklungsmöglichkeiten abbilden. Der berufsfeldübergreifende Einsatz von digitalen Assistenzsystemen, u. a. im Rahmen von Wissens- und Innovationsarbeit, gilt damit als relevante Perspektive und kann ein adäquates Vehikel zur Integration von KI-Technologien im Umfeld der ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabore darstellen (acatech, 2020; Apt et al., 2018). In Abgleich der intendierten Lehr-Lernziele (Feisel & Rosa, 2005) mit den relevanten Anwendungsfeldern aktueller KI-Technologien (u. a. Seifert et al., 2018) erscheint es nachvollziehbar, dass eine zunehmende Nutzung von KI (auch, aber eben nicht nur) im Lehr-Lernlabor unmittelbare und mittelbare Implikationen für die involvierten Tätigkeiten ausprägen wird. Als Beispiele für die unmittelbar betroffenen Tätigkeiten lassen sich hier die Datenanalyse, die Manipulation von Laborequipment oder die Begründung des Quell- und Methodeneinsatzes anführen. Insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen einer KI-Unterstützung von Tätigkeiten im Zuge der Manipulation von Laborequipment oder der Datenauswertung liegen derzeit keine empirischen Befunde im Umfeld ingenieurwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore vor. Erste Hinweise auf die Auswirkungen von KI-Technologie im Kontext des Lehrens und Lernens konnten zuletzt in Analyse industrieller Einsatzszenarien skizziert werden (Lensing, 2021). Im Rahmen dieses Beitrags sollen darauf aufbauend erste lehr-lernbezogene Gestaltungsempfehlungen antizipiert werden. Darüber hinaus stellt die Lehr-Lernumgebung Labor aufgrund ihrer curricularen Integration einen wichtigen Reflexionsraum für Fragestellungen mit Bezügen zur technologiegestützten Gestaltung des Lehrens und Lernens dar.

### 3 Darstellung der technologischen Entwicklungen

Der vorliegende Abschnitt beschreibt die technologischen Entwicklungen im Forschungsfeld KI, skizziert die Bedeutung des Themas Explainable AI und widmet sich den relevanten Funktionen digitaler Assistenzsysteme.

#### 3.1 Entwicklungsschritte der Künstlichen Intelligenz

Mit der Übertragung menschlicher Entscheidungsfindung auf technische Gegenstände, der Abgrenzung von maschineller gegenüber menschlicher Intelligenz (Turing, 1937) und Studien zur Science-Fiction (Asimov, 1950) beschäftigten sich vielfältige Disziplinen, bevor 1956 (McCarthy) das Forschungsfeld KI generiert wurde (McCorduck, 1979). Die Auseinandersetzung mit KI war bis in die 1970er Jahre geprägt von manueller Programmierarbeit auf Basis symbolbasierter Programmiersprachen und heuristischer Algorithmen. Anschließend dominierte eine logikorientierte bzw. funktionale Programmierung im Rahmen regelbasierter Systeme (Abele & D’Onofrio, 2020, S. 45). Mehrfach ebte das Interesse an KI ab, weil Erwartungshaltungen, etwa in Bezug auf wissensbasierte Systeme, nicht erfüllt werden konnten (Kirste & Schürholz, 2019). Lernende Systeme prägten zuletzt die dritte Phase, in der Deep Learning Algorithmik eine breite Aufmerksamkeit erhielt. Im Zuge der aktuell ablaufenden vierten Phase dieser Entwicklungen wird prognostiziert, dass kognitive Systeme die jeweils notwendigen Kontextanpassungen selbst erkennen und Lernverfahren zur Aktualisierung ihrer Wissensbasis einsetzen. In einem nächsten Schritt (Phase 5) erscheint insbesondere der Fokus auf die Mensch-Maschine-Interaktion von Bedeutung, um die KI-Assistenz zu co-kreativer Zusammenarbeit mit menschlichen Entscheider\*innen zu motivieren. Die hier skizzierten Phasen dieser KI-Technologieentwicklung sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.



**Abbildung 1:** KI-Entwicklungsphasen, eigene Darstellung nach Bitkom & DFKI (2017) sowie Wahlster (2016)

Im Hinblick auf die aktuelle wissenschaftliche Auseinandersetzung mit KI lassen sich zwei Schwerpunkte feststellen: (1) das Deep Learning und (2) das Natural Language Processing (Abele & D’Onofrio, 2020). Deep Learning Algorithmik (DL) stellt dabei eine Weiterentwicklung des maschinellen Lernens dar, in der künstliche

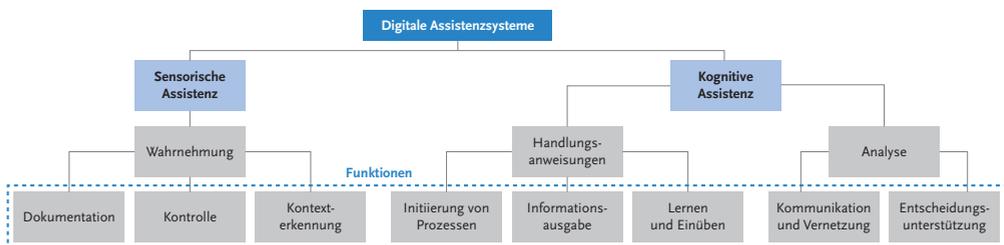
neuronale Netze in Schichten angeordnet und anschließend mit umfangreichen Datenmengen trainiert werden – beispielsweise, um Bildmaterial oder Begriffe zu klassifizieren (LeCun et al., 2015). Das Natural Language Processing (NLP) beschreibt angewandte Forschungs- und Entwicklungsarbeit mit dem Ziel, Maschinen in die Lage zu versetzen, menschliche Sprachen zu lesen, zu verarbeiten und zu generieren sowie enthaltene Informationen zu verstehen (Couto, 2015). NLP verbindet Erkenntnisse aus der Informatik und Computerlinguistik mit den aktuellen Methoden des maschinellen Lernens. Neue technische Konzeptionen im Kontext der Neuronalen Netzwerke wie etwa die Fehlerrückführung oder das sogenannte Long Short-Term Memory (Schmidhuber, 2015) befeuerten die Erwartungen zuletzt weiter und sind entscheidend für die Entwicklung NLP-basierter Mensch-Maschine-Schnittstellen (Schmidhuber, 2019). In der KI-Forschung wird darüber hinaus unterschieden zwischen rationalen Ansätzen, die auf eine Objektivität der Messkriterien angewiesen sind (u. a. für Navigation, Objekt- und Mustererkennung etc.), und verhaltensorientierten Ansätzen (bspw. für Text-zu-Sprache (NLP), kognitive Systeme etc.), die eine Unvorhersehbarkeit der Anforderungen beinhalten (vgl. Seifert et al., 2018, S.15; Stone et al., 2016).

Neben den technologischen Fragestellungen rücken verstärkt auch normativ-ethische Fragestellungen in den Fokus der Diskussionen zum Thema KI (vgl. HEG-KI, 2019; Mah & Büching, 2019). Hier zeigt sich, dass vertrauenswürdige und nachvollziehbare Entscheidungen für die Akzeptanz der KI-Anwendungen von zentraler Bedeutung sind (vgl. Kirste, 2019; Niehaus, 2017) und die didaktische Reduktion – auch aufgrund der Komplexität des Themas KI – entscheidend für den Erfolg lehr-lernbezogener Umsetzungen ist (Lindner & Romeike, 2019). In diesem Zusammenhang sind fachwissenschaftlich fundierte Konzepte wie etwa Explainable AI (XAI) hilfreich, da sie darauf abzielen, KI so zu gestalten, dass sie leicht verständliche und nachvollziehbare Gründe für ihre Funktionsweise von Beginn an mitliefern (vgl. Gunning, 2017; Arrieta, 2020). Vor diesem Hintergrund sind Lernende wie Lehrende wiederum verstärkt auf datenbezogene Kompetenzen angewiesen, wie sie beispielsweise im Rahmen der Data Literacy eingefordert werden (Schüller et al., 2019).

### **3.2 Funktionen von digitalen Assistenzsystemen**

Assistenzfunktionen sind heute für alle Typen und Arten von menschlicher Arbeit verfügbar (Apt et al., 2018). Dabei reichen Anwendungen von physischer Assistenz mechanischer Hebevorrichtungen wie Seilzügen bis hin zu komplexen Systemen wie Exoskeletten. Darüber hinaus existiert auch im Hinblick auf die Unterstützung kognitiver und kreativer Tätigkeiten ein breites Spektrum an Einsatzbeispielen (vgl. PLS, 2019, Bauer et al., 2019). Digitale Assistenzsysteme durchdringen alle Lebens- und Unternehmensbereiche und sind sowohl in der Form sprachbasierter Assistenz im privaten Fahrzeug als auch in produktionstechnischen Konzepten der Industrie 4.0 (Pick-by-light, Guided Maintenance etc.) längst allgegenwärtig (Ahlborn et al., 2019). Im Rahmen dieses Beitrags werden digitale Assistenzsysteme (dAsys) definiert als „[...] rechnerbasierte Systeme, die Menschen bei der Informationsauf-

nahme, Informationsverarbeitung und Arbeitsausführung unterstützen“ (Link & Hamann, 2019, S. 684; Bauer et al., 2019). Ein dAsys realisiert eine präventive, kompensatorische oder fähigkeitserweiternde Unterstützung von Menschen über die Fähigkeiten von technischen Entitäten (bspw. über Einbringen einer höheren Geschwindigkeit, Kraft, Präzision, Ermüdungsfreiheit oder kognitiven Leistungsfähigkeit) im Rahmen von soziotechnischen Arbeitssystemen (Apt et al. 2018). Abbildung 2 illustriert vor diesem Hintergrund die relevanten Funktionen von dAsys, die sich zunächst in einen sensorischen und einen kognitiven Zweig aufteilen lassen. Die physischen Assistenzfunktionen werden im Rahmen des Beitrags nicht genauer betrachtet, da Assistenzfunktionen, die ausgerichtet sind auf eine Unterstützung von Wahrnehmung, Handlungsanweisung und Analyse im Zusammenspiel mit KI-Technologien derzeit ein signifikant höheres Entwicklungspotential zuzuschreiben ist (vgl. Ahlborn et al., 2019; Bauer et al., 2019).



**Abbildung 2:** Funktionen Digitaler Assistenzsysteme (Bayer et al., 2020)

Auf der unteren Funktionsebene zeigt sich, dass dAsys in der Regel verschiedene Funktionen vereinen und die Funktionsmodule (Wahrnehmung, Analyse und Anweisung) auf die Funktionen anderer Module angewiesen sind. Aktuelle Studien zum Potential von dAsys und die Veröffentlichungen der Transwork-Schwerpunktgruppe „Assistenzsysteme und Kompetenzentwicklung“ unterstreichen jedoch die besondere Relevanz der Assistenzfunktionen im Feld von Lernen und Einüben (vgl. Klapper et al., 2019; Bauer et al., 2019). Darüber hinaus lassen sich die kognitionsunterstützenden Assistenzsysteme weiter in Hilfesysteme, adaptive und tutorielle Assistenzsysteme untergliedern (Apt et al., 2018). Hilfesysteme stellen relevante Informationen in Form digitaler Handbücher, Lernvideos oder Qualifikations- und Wissensmanagementsystemen bereit. Adaptive Assistenzsysteme zeichnen sich durch die Anpassung an individuelle Nutzungskontexte aus – beispielsweise über Bereitstellung kontextsensitiver Informationen oder die Individualisierung von Bedienoberflächen. Die (intelligenten) tutoriellen Assistenzsysteme (ITS) fokussieren speziell situieretes Lernen (im Prozess der Arbeit) und treten u. a. in Form von portablen Lernplattformen, Augmented- oder Cross-Reality-Anwendungen in Erscheinung. Eine Charakterisierung der dAsys generieren Apt et al. über den Unterstützungsgrad, die Unterstützungsart und -ziele (2018). Des Weiteren liegen verschiedene morphologische Kästen zur Clusterung von dAsys vor (Keller et al., 2019b; Niehaus, 2017). Die Gestaltung von dAsys kann u.a. über die Taxonomie digital

assistierter Arbeit kategorisiert werden: (1) der Arbeitssystemkontext, das meint bspw. die Anforderungscharakteristik (niedrig bis hoch und variabel), sowie (2) der tutorielle Charakter des Systems (Apt et al., 2018).

In Bezug auf die lehr-lernbezogene Forschungsarbeit zu dAsys bzw. ITS lässt sich feststellen, dass über die letzten Fortschritte im Kontext der NLP-basierten Kommunikationsschnittstellen mittelfristig eine neue Qualität der Mensch-Maschine-Interaktion ermöglicht werden kann (vgl. Maedche et al., 2019; PLS, 2019). Bei der Analyse der aktuellen Implementierungen von dAsys zeigt sich jedoch, dass eine Auseinandersetzung mit Aspekten der Lernförderlichkeit derzeit maßgeblich unter Heranziehung einer allgemeinen Didaktik sowie in Bezug auf Usability stattfindet (vgl. Lensing, 2021; Apt et al., 2018, S. 24f.; Haase et al., 2017). In diesem Zusammenhang erscheint (auch) die labordidaktische Perspektive auf die Gestaltung von KI-basierten Assistenzsystemen relevant, da für die nahe Zukunft erwartet werden darf, dass entsprechende KI-Technologien (auch) im Kontext der hochschulischen Lehr-Lernlabore Einzug halten werden.

## **4 KI im hochschulischen Lehr-Lernlabor**

Nachdem die Bedeutung des Labors für die ingenieurwissenschaftliche Hochschulausbildung und die technologischen Entwicklungen im Feld KI skizziert wurden, widmet dieser Abschnitt sich einer ersten Bilanzierung des Themas KI in der Hochschule (vgl. Frage (1)). Hierzu wurden aktuelle Veröffentlichungen zum Thema KI in der Hochschulbildung analysiert und Einsatzszenarien für KI-Technologien im Umfeld der laborbezogenen Lehr-lernumgebungen identifiziert. Abschnitt 4.1 skizziert zunächst den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Diskussion zum Thema KI in der Hochschulbildung. Anschließend stellt Abschnitt 4.2 fachbezogene Konzepte für KI-Labore vor. Daran anknüpfend skizziert Abschnitt 4.3 die übergreifenden Querschnittsfunktionen von KI im Kontext ingenieurwissenschaftlicher Labore und benennt erste Prämissen für eine erfolgreiche Integration von KI im Lehr-Lernlabor.

### **4.1 KI in der Hochschulbildung**

Zum Thema KI in der Hochschulbildung liegen Analysen und Studien unterschiedlicher Ausrichtung vor. Die im Folgenden skizzierten Publikationen sind Teil einer umfassenderen Desk Research und sollen einen ersten Anhaltspunkt für die neue Aktualität des Themas KI im Kontext des Lehrens und Lernens liefern. Die Analyse von Ilkka (2018) skizziert den Einfluss von KI auf das Lehren und Lernen aus einer europäischen Perspektive. Pedró et al. (2019) beschreiben Anknüpfungspunkte für KI in der Bildung aus der Perspektive des Themas Nachhaltigkeit (UN SDGs). Seufert et al. (2020) legen Augmentationsstrategien für den Einsatz von Data Analytics und KI in der Hochschulbildung vor. Zawacki-Richter et al. (2019) setzten im Zuge einer systematischen Literaturanalyse zu einer umfassenden Bilanzierung von KI-Anwendungen im Kontext der internationalen Hochschulforschung an. Keller et al.

(2019a) triangulieren KI-Strategiepapiere deutscher Hochschulen und Experteninterviews, um im Einsatz befindliche und geplante KI-Systeme zu identifizieren. Mah und Büching (2019) erfassen die nationalen KI-Professuren und -studiengänge überblicksartig als Entscheidungsgrundlage für das BMBF. Lindner und Romeike (2019) dokumentieren speziell den Blick von Lehrenden auf KI. Bhaduri (2018) demonstriert den Nutzen von NLP-Anwendungen speziell für die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung.

Unabhängig von den unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen unterstreichen die Studien und Analysen die Relevanz der KI-Technologien für die Innovation der (ingenieurwissenschaftlichen) Hochschulbildung. Die lehr-lernbezogenen KI-Anwendungen der verknüpften Einsatzszenarien lassen sich darüber hinaus wie folgt kategorisieren (vgl. Seufert et al., 2020; Zawacki-Richter et al., 2019): Vorhersagemodelle im Kontext von Studienberatung und Profilbildung (bspw. Studienabbruchrate), Mentoring-Systeme (u. a. automatisiertes Feedback, Chatbots etc.), Bewertungssysteme (u. a. Automated Grading), Adaptive Systeme im Kontext einer Individualisierung von Lernpfaden (u. a. das Thema Learning Analytics), Intelligente Tutoren Systeme (ITS) sowie das automatisierte Kuratieren von Lerninhalten. An dieser Stelle wird deutlich, dass der Lehr-Lernraum Labor mit Sicherheit nicht der alleinige Anwendungsraum zur Integration von KI-basierten Technologien bleiben sollte, sondern vielmehr hochschulweite Strategien zum Thema KI notwendig sind. Auch im Hinblick auf die Schwerpunktsetzung der relevanten Konferenzen und Workshopangebote auf internationaler (bspw.: AIED, ACL – BEA-Workshop; SEFI, DELFI, LAK, CLF etc.) und auf nationaler Ebene (bspw. die Themendossiers von HFD, dghd, DINI, die etc.) zeigt sich, dass der Einsatz von KI-Technologie im Kontext der Hochschulbildung kein neues Phänomen beschreibt, sondern die KI-Unterstützung von Lehr-Lernprozessen ein in Wellen wiederkehrendes Thema ist. Im Hinblick auf die technologische Reife insbesondere der kognitiven Assistenzsysteme zeigt sich, dass eine kritische Auseinandersetzung mit den Auswirkungen der Nutzung von KI-basierten Anwendungen im Kontext des Lehren und Lernens zunehmend notwendig erscheint (Apt et al., 2018). Für den Einstieg in eine vertiefte Auseinandersetzung mit den lehr-lernbezogenen Implikationen von KI-Technologie sei hier auf das Whitepaper des KI-Campus zum Thema KI in der Hochschulbildung (De Witt et al., 2020) oder auch auf das Special Issue des International Journal of Educational Technology in Higher Education hingewiesen (Bates et al., 2020).

## 4.2 Fachwissenschaftliche KI-Labore

Wie zu Beginn dieses Beitrages angeführt, wurden zuletzt vielfältige Förderprogramme zum Thema KI aufgelegt (Breg, 2019). Im Zuge des BMBF-geförderten KI-Schwerpunktprogramms „*Einrichtung von KI-Laboren zur Qualifizierung im Rahmen von Forschungsvorhaben im Gebiet Künstliche Intelligenz*“ werden derzeit rund zehn Konzepte für fachbezogene KI-Labore mit dem Ziel gefördert, eine fundierte und laborbezogene Aus- und Weiterbildung zum Thema KI zu ermöglichen. Hierzu soll KI anhand von praktischen Beispielen für Masterstudierende und Industrieanwender\*innen erfahrbar gemacht werden. Neben den hier skizzierten Projekten konnten

die folgenden Labore zugeordnet werden: KI-LAB-ITSE, KI-LAB Lübeck, KISS, MetaDL, KI-LiveS, HAISEM-Lab, KI-Lab-EmCo, DISL. Dieser Abschnitt stellt je eine Kurzbeschreibung ausgewählter Konzepte vor, um erste Hinweise auf relevante Anknüpfungspunkte im Kontext ingenieurwissenschaftlicher KI-Labore zu erhalten (DLR 2020):

- Das Projekt **Agile-AI** (Agile Entwicklung von Systemen der Künstlichen Intelligenz) entwickelt neben einer formalen Spezifikationssprache für Experimente eine Cloudplattform sowie eine Suchmaschine für KI-Experimente.
- Das Projekt **AIA (AI Arena)** realisiert ein interdisziplinäres Qualifizierungs- und Weiterbildungskonzept für Forschende und Studierende in Bezug auf die kollaborative Weiterentwicklung von Roboter-Schwarmverhalten und Mensch-Technik-Interaktion.
- Das Projekt **AIMEE** (AI-based Monitoring and Experimenting Evaluation) ermöglicht es Lernenden, anhand von Beispielen KI-Methoden mit definierten Datensätzen anzuwenden, die Erfordernisse der KI-Methodenentwicklung zu systematisieren und KI-Anwendungen selbst zu entwickeln.
- Das Projekt **AISEL** (Artificial Intelligence Systems Engineering Laboratory) entwickelt einen Ansatz für die Ausbildung zur KI-System-Ingenieur\*in als Praktikumsangebot auf Masterebene unter Einbeziehung von Start-ups und Industriepartnern.
- Das **KI-Lernlabor** strebt den Aufbau eines Weiterbildungszentrums für den Mittelstand an, das in ein bestehendes Data-Science-Zertifizierungsprogramm eingebettet ist.
- Das **KD<sup>2</sup>Lab** bietet Möglichkeiten zur Analyse des menschlichen Entscheidungsverhaltens auf Basis von Hardware zur Überwachung kognitiver und affektiver Prozesse.

Darüber hinaus lassen sich Anknüpfungspunkte für die Bilanzierung fachwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore im Umfeld von Forschungsgruppen feststellen, zu denen beispielsweise folgende gehören: das *Competence Center Machine Learning Rhine-Ruhr* (ML2R) der TU Dortmund, das *Language Technology Lab* der Universität Duisburg Essen, das *Artificial Intelligence and Machine Learning* (AIML) Lab der TU Darmstadt, das *Center for Explainable and Efficient AI Technologies* (CEE AI) der TU Dresden, das *Machine Learning and Data Analytics* (MaD) Lab der FAU, das *AI Lab* der Frankfurt School, das *Educational Technology Lab* des DFKI, das *UCL Knowledge Lab* der University of London, das *Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory* (CSAIL) des MIT und das *Artificial Intelligence Laboratory* (SAIL) in Stanford. Darüber hinaus existieren beispielsweise das CLAIRE Research Network, die Society des European Lab for Learning and Intelligent Systems (ELLIS) sowie weitere kommerziell verankerte Lernumgebungen, u. a. Microsoft, Zalando, VW, Bosch, Siemens etc. An dieser Stelle soll keinesfalls der Eindruck einer umfassenden Bilanzierung fachbezogener Lehr-Lernlabore zum Thema KI erweckt werden. Die aufgelisteten Forschungsgruppen, Labore und Netzwerke bieten mit ihren Kursangeboten jedoch fachlich fundierte Umsetzungen und eine erste plausible Evidenz zur Motivation

einer inhaltlichen Ausrichtung etwaiger Lehr-Lernlabore zum Thema KI in den Ingenieurwissenschaften.

### 4.3 Ingenieurwissenschaftliche Lehr-Lernlabore & KI

Im Hinblick auf die Auswirkungen einer zunehmenden Nutzung von KI-Assistenzsystemen bestätigt sich, dass die Datenanalyse (Data Science) für angehende Ingenieur\*innen weiter an Bedeutung gewinnen und sich die Vermischung der Fachdisziplinen (bspw.: Statistik, Informatik, Ingenieurwissenschaften) fortsetzen wird (vgl. Gottburgsen et al., 2019; Gallenkämper et al., 2018). Dies begründet sich u. a. darin, dass KI-Projekte auf eine fachbereichsübergreifende Partizipations- und Entwicklungsarbeit angewiesen sind und KI-basierte Systeme unternehmensweite Querschnittsfunktionen integrieren (Bauer et al., 2019). Deutlich wird in diesem Zusammenhang, dass die technologische Komplexität weiter zugenommen hat. Während eine laborbezogene Auseinandersetzung mit KI zuvor auf Ebene basaler Excel-Automatation stattfand, fokussieren heutige Szenarien etwa die Integration maschineller Lernverfahren in der Datenanalyse (vgl. Samarakou et al., 2014; Villages-Ch et al., 2020). Die erst kürzlich identifizierten Potentiale KI-basierter Technologien werden zunehmend schneller im Lehren und Lernen umgesetzt, und angehende Ingenieur\*innen werden heute im Rahmen von Projektlaboren mit problem- und praxisorientierten Aufgabenstellungen zur Nutzung von KI-Technologien ermutigt (Pillay, Maharaj & van Eeden, 2018; Tsai et al., 2018). Dass in Bezug auf die labordidaktische und technologische Umsetzungsqualität von Lehr-Lernszenarien bei dem Thema KI eine neue Evolutionsstufe erreicht ist, zeigt sich auch im Rückblick auf das, was vor wenigen Jahren noch als State of the Art handlungsorientierter Laborlehre zu KI verstanden wurde (Kumar & Meeden, 1998). Die Labordidaktik in den Ingenieurwissenschaften wird sich u. a. daran messen lassen müssen, ob es gelingt, Konzeptionen für eine Entwicklung datenbezogener Kompetenzen, das KI-gestützte Kuratieren von Lerninhalten, die Automatisierung der Arbeit und die Verwaltung algorithmischer Vorurteile zu integrieren (Johri, 2020).

In Rückblick auf die Abschnitte 4.1 bis 4.3 lässt sich festhalten, dass insgesamt vielversprechende Perspektiven für die Integration von KI-Technologien im Umfeld ingenieurwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore und dem hochschulischen Raum vorliegen. Erste curriculare Analysen und Abfragen des Vorwissens im Rahmen von interdisziplinären KI-Workshops weisen auf eine fehlenden Aktivierung der mathematisch-statistischen Methodengrundlagen hin, die bisweilen nicht anwendungsorientiert mit dem Thema KI in Verbindung gebracht werden können. Ein aktuell denkbare Vehikel zur lehr-lernbezogenen Integration findet sich unter anderem in der interdisziplinären Konzeptions- und Entwicklungsarbeit an KI-basierten Assistenzsystemen, einer ITS-gestützten Individualisierung der Lehr-Lernprozesse sowie in einer Fokussierung auf datenbezogene und metakognitive Kompetenzen (Lensing & Haertel, 2020).

## 5 Kompetenzen und Perspektiven für KI-Technologie im Lehr-Lernlabor

Dieser Abschnitt trägt die Erkenntnisse der bisherigen Analysen zusammen und benennt relevante Kompetenzen in Hinblick auf das Thema KI (vgl. Frage (2)) sowie Ansatzpunkte und Prämissen für eine Integration von KI-Technologien in ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlaboren (vgl. Frage (3)).

Die hochschulischen Lehr-Lernlabore durchlaufen derzeit einen Wandel, der sich beispielsweise in einer zunehmenden Verbreitung von Remote- und Cross-Reality-Laboren zeigt (Terkowsky & May in diesem Band). Dieser steigende Anteil an selbstgesteuerten Lehr-Lernformaten im Kontext der Digitalisierung erfordert Lehr-Lernaktivitäten, die zur Entwicklung metakognitiver Kompetenzen (Leistungsmotivation, Selbstregulation, Reflexion etc.) auffordern. Der themenbezogene Impuls aus dem Feld KI (DL & NLP) lässt sich für die Ingenieurwissenschaften im Wesentlichen als eine Spezifizierung bereits bekannter Kompetenzansprüche formulieren. Bereits in der Ausgestaltung von Angeboten zu den KI-Basistechnologien (IoT, Big Data etc.) wurde deutlich, dass hier – neben den fachlich-methodischen – speziell metakognitive und datenbezogene Kompetenzen bedeutsam sind (vgl. Lensing, 2016; Lensing & Friedhoff, 2018). Darüber hinaus wurden zuletzt die bereits bekannten Kompetenzansprüche erneuert, ohne dass sich hier gänzlich neue Kompetenzfacetten oder -gewichtungen feststellen ließen (vgl. Gallenkämper et al., 2019; Steil & Wrede, 2019; Gottburgsen et al., 2018). Letztlich bleiben, wie etwa am Beispiel der beruflichen Bildung gezeigt werden könnte (Pittich et al., 2019b), einige wenige (Kern-)Entwicklungslinien im Kontext der Digitalisierung übrig, die es zu beachten gilt. Hier sind insbesondere die überfachlichen Kompetenzen, das Thema Wissensarbeit und die Prozessorientierung hervorzuheben (Tenberg & Pittich, 2017). Die anhaltende Bedeutung der Wissens- und Innovationsarbeit im Zusammenhang mit dem Thema KI (Hacker, 2016) sowie die besondere Relevanz datenbezogener Kompetenzen (bspw. Informationskompetenz, Data Literacy, Explainable AI etc.) sind dabei unbestritten. Etwaige Perspektiven einer Algorithmierung der Innovationsarbeit über digitale Assistenzsysteme (Patscha, 2017) erscheinen nur bedingt tragfähig, da der Mensch weiterhin als Entscheidungs- und Bewertungsinstanz auftreten wird (Ganz et al., 2019). Wichtig wird daher eine Integration von Konzepten wie etwa Human-Centric oder auch Explainable AI als eine wesentliche Prämisse für die Akzeptanz KI-basierter Systeme (Niehaus, 2017). Über verschiedene Anwendungsbereiche, Schwerpunkt- und Zielsetzungen KI-basierter Systeme hinweg zeigen sich daher Kompetenzen im Kontext von Komplexitätsbewältigung und Informationsverwertung von besonderer Bedeutung (Lensing, 2021). Letzteres bezieht sich speziell auf die datenbezogenen Kompetenzen im Kontext der Wissens- und Innovationsarbeit (Data Literacy) sowie auf die Möglichkeiten zur (Weiter-)Entwicklung von überfachlichen (metakognitiven) Kompetenzen.

Die Bilanz zum Stand der Implementierung KI-basierter Systeme in hochschulische Lehr-Lernlabore fällt zum aktuellen Zeitpunkt ernüchternd aus (vgl. Frage (1)).

Abseits der fachbezogenen KI-Labore finden sich kaum strategisch verankerte Konzeptionen für eine Integration KI-basierter Technologien in der Hochschulbildung (u. a. Seufert et al., 2020). Der Blick richtet sich somit zunächst auf industrielle Einsatzszenarien mit einem Fokus auf die lernförderliche Gestaltung (Senderek & Geisler, 2015) sowie Ansätze zur partizipativen Entwicklung (Ullrich et al., 2018; Koczy et al., 2020). Die KI-basierten Systeme bieten mit ihren Feedback- und Empfehlungssystemen technologisch reife Lösungen an, um die Komplexität der Informations- und Kommunikationssysteme in ingenieurwissenschaftlichen Laboren zu reduzieren und die Lernenden kognitiv zu entlasten. Im Ergebnis stehen neue zeitliche und kognitive Spielräume für die Reflexion der Prozesse zur Verfügung (u. a. Krüger et al., 2019; Apt et al., 2018).

Vor diesem Hintergrund wird klar, dass die reflexive Auseinandersetzung mit den normativen Einflüssen der zunehmenden Nutzung von KI-basierten Assistenzsysteme unabdingbar erscheint (vgl. Frage (3)). Das gilt für die Lernenden gleichermaßen wie für die Lehrenden, um auch deren Lernprozesse in Hinblick auf die Entwicklung metakognitiver Kompetenzen weiter zu schärfen. Darüber hinaus sollten lehr-lernbezogene Umsetzungen zum Thema KI das Lehren und Lernen mit ebendiesen KI-Technologien begleiten, um sich somit an realen Prozessen zu orientieren und die Lernenden anhand konkreter Einsatzszenarien an die Aufgabenbewältigung im Kontext KI-basierter Assistenzsysteme heranzuführen. In Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse und unter Heranziehung weiterer Analyseergebnisse kann festgestellt werden, dass insbesondere Kontrolle und Autonomie im Rahmen von Assistenz eine Barrierefunktion darstellen, die Entscheidungsfähigkeit und Flexibilität des Lernenden daher priorisiert werden muss und hierzu Fortschritte in der Verbesserung multimodaler Schnittstellen (NLP) notwendig erscheinen (Lensing, 2021). In den Lehr-Lernlaboren sollten ebendiese Aspekte in Bezug auf die individuelle Informations- und Handlungsautonomie reflektiert werden (Lensing & Haertel, 2020). Die KI-basierten Assistenzsysteme bieten, über eine partizipative Entwicklung von Assistenzfunktionen im Zuge des Lernens und Einübens, Möglichkeiten, Kompetenzentwicklungsprozesse mithilfe adaptiver und tutorieller Assistenzfunktionen zu begleiten. Lernende und Lehrende in den ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlaboren sollten daher ermutigt werden, ihr Selbstvertrauen hinsichtlich ihrer lebenslangen Lernfähigkeiten mithilfe KI-gestützter Assistenzsysteme auf- bzw. auszubauen, die Notwendigkeit kompetenzorientierter Weiterbildung in einer komplexen Welt zu begreifen und ihre individuellen Lernpfade mithilfe der entsprechenden Community des Lernens nachhaltig zu dokumentieren (Hadgraft & Kolmos, 2020).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Beitrags wurden Nutzungsszenarien für eine Integration von KI-Technologien im Umfeld der ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabore vorgestellt. Hierzu wurde auf die Bedeutung der Lehr-Lernlabore im Kontext ingenieur-

wissenschaftlicher Hochschulausbildung, auf die Entwicklungen im Forschungsfeld KI und auf die relevanten Funktionen digitaler Assistenzsysteme eingegangen. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen einer zunehmenden Nutzung KI-basierter Technologien und aktuelle Veränderungen der Kompetenzansprüche in den Ingenieurwissenschaften betrachtet. Im Hinblick auf den lehr-lernbezogenen Einsatz von KI-Assistenzsystemen wurde anschließend ein erster wesentlicher Anknüpfungspunkt zur Integration von KI-Technologien identifiziert. Abschließend wurden die Erkenntnisse der bisherigen Analysen in Bezug zueinander gesetzt, um den Einsatz von KI-basierten Assistenzsystemen im Umfeld ingenieurwissenschaftlicher Lehr-Lernlabore als relevante Perspektive für die Integration von KI in der Hochschulbildung herauszustellen, obwohl klar geworden ist, dass KI als wichtige Querschnittstechnologie eine lernortübergreifende Integrationsstrategie notwendig macht.

Abschließend lässt sich feststellen, dass kognitive Assistenzfunktionen im Zusammenspiel mit KI-Technologien eine spannende Perspektive bieten – beispielsweise zur Individualisierung von Lehr-Lernprozessen. Vor diesem Hintergrund formulieren KI-basierte Assistenzsysteme eine technologische Teilantwort auf die qualifikatorischen Herausforderungen im Umfeld der ingenieurwissenschaftlichen Lehr-Lernlabore, indem sie datenbezogene Kompetenzen in prozessorientierter Anwendung adressieren, dazu beitragen Komplexität zu reduzieren und so Freiräume zur Reflexion der eigenen Informations- und Handlungsautonomie schaffen. Darüber hinaus zeigt sich, dass labordidaktisch fundierte Konzeptionen zur Integration von KI nur randständig nachweisbar sind und die Konfrontation mit KI-Technologien für Lehrende und Lernende in den Ingenieurwissenschaften noch immer ein Desiderat darstellt.

## Literatur

- Abele, D & D'Onofrio, S. (2020). Artificial Intelligence – The Big Picture. In: E. Portmann & S. D'Onofrio (2020). *Cognitive Computing*. Edition Informatik Spektrum. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- acatech (2020). *Künstliche Intelligenz in der Industrie*. München: acatech: HORIZONTE.
- Ahlborn, K.; Bachmann, G.; Biegel, F.; Bienert, J.; Falk, S.; Fay, A.; Gamer, T.; Garrels, K.; Grotepass, J.; Heindl, A.; Heizmann, J.; Hilger, C.; Hoffmann, M.; Hoffmeister, M.; Jochem, M.; Kalhoff, J.; Kamp, M.; Kramer, S.; Kosch, B.; Legat, C.; Michels, J. S.; Mildner, A.; Nettsträter, A.; Pant, R.; Pittschellis, R.; Schauf, T.; Schlinkert, H.-J.; Ulrich, M. & Zinke, G. (2019). *Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“*. Working Paper. Plattform Industrie 4.0. BMWi. Berlin.
- Apt, W.; Bovenschulte, M.; Priesack, K.; Weiss, C. & Hartmann, E. (2018). *Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb*. Forschungsbericht/Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Bd. 502. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (bmas). Berlin.
- Arrieta, A. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges Toward Responsible AI. *Info: Fusion*, vol. 58, 2020, 82–115.

- Asimov, I. (1950). *I, Robot*. Fawcett Publications, Greenwich.
- Baker, T.; Smith, L. & Anissa, N. (2019). *Educ-AI-tion Rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges*. Nesta. Verfügbar unter [https://media.nesta.org.uk/documents/Future\\_of\\_AI\\_and\\_education\\_v5\\_WEB.pdf](https://media.nesta.org.uk/documents/Future_of_AI_and_education_v5_WEB.pdf) [01.04.2020].
- Bates, T.; Cobo, C.; Mariño, O. & Wheeler, S. (2020). Can artificial intelligence transform higher education? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00218-x>.
- Bauer, W.; Stowasser, S.; Mütze-Niewöhner, S.; Zanker, C. & Brandl, K. H. (2019). *Arbeit in der digitalisierten Welt: Stand der Forschung und Anwendung im BMBF-Förderschwerpunkt TransWork*. Fraunhofer IAO, Stuttgart.
- Bayer, C.; Makhlof, R. & Metternich, J. (2020). Digitale Assistenzsysteme in der Produktion. *Werkstatttechnik online*: wt (3)110, 103–107.
- Bitkom & DFKI (2017). *Entscheidungsunterstützung mit Künstlicher Intelligenz – Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung*. Gipfelpapier. Berlin.
- Bundesregierung (BReg) (2019). *Zwischenbericht zur KI-Strategie*. Verfügbar unter [https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html?file=files/downloads/Zwischenbericht\\_KI-Strategie\\_Final.pdf](https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html?file=files/downloads/Zwischenbericht_KI-Strategie_Final.pdf) [04.04.2020].
- Couto, J. (2015). *definitive-guide-natural-language-processing*. Verfügbar unter <https://monkeylearn.com/blog/definitive-guide-natural-language-processing/>, [03.02.2020].
- De Witt, C., Rampelt, F., Pinkwart, N. (Hrsg.) (2020). *Künstliche Intelligenz in der Hochschulbildung*. Whitepaper. Berlin: KI-Campus. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4063722>.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (2020). *Einrichtung von KI-Laboren zur Qualifizierung im Rahmen von Forschungsvorhaben im Gebiet Künstliche Intelligenz*. Verfügbar unter <https://www.softwaresysteme.pt-dlr.de/de/ki-labore.php> [21.04.2020].
- Feisel, L. D. & Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94 (1), 121–130. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>.
- Gallenkämper, J.; Eckert, N.; Heiß, H.-U.; Kreulich, K.; Mooraj, M.; Müller, C.; Müller, G.; Schumann, C.-A.; Sowa, T. & Spiegelberg, G. (2018). *Smart Germany. Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation*. Diskussionspapier zum VDI-Qualitätsdialog. VDI, Düsseldorf.
- Ganz, W.; Dworschak, B. & Schnalzer, K. (2019). Competences and Competence Development in a Digitalized World of Work. In I Nunes (Hrsg.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction*. AHFE 2018. 312–320. Springer, Cham.
- Gottburgsen, A.; Wannemacher, K.; Wernz, J. & Willige, J. (2019). *Ingenieurausbildung für die digitale Transformation. Zukunft durch Veränderung*. Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.). VDI, Düsseldorf.

- Gunning, D. (2017). *Explainable artificial intelligence (XAI)*. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Verfügbar unter <https://www.darpa.mil/attachments/XAIProgramUpdate.pdf> [11.07.2020].
- Haase, T.; Termath, W. & Berndt, D. (2019). Integrierte Lern- und Assistenzsysteme für die Produktion. *Industrie 4.0 Management* 32 (3), S. 19–22.
- Hacker, W. (2016). *Vernetzte künstliche Intelligenz – Internet der Dinge am deregulierten Arbeitsmarkt: Psychische Arbeitsanforderungen*. Projektberichte/Technische Universität Dresden, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften, Fachrichtung Psychologie, Institut für Psychologie I, Arbeitsgruppe „Wissen - Denken – Handeln“: Heft 89/9. Technische Universität Dresden, S. 4–21.
- 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*. Fraunhofer IOA und IPA. Stuttgart. Verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-549107.html> [12.04.2020].
- Hochrangige Expertengruppe für künstliche Intelligenz (HEG-KI) (2019). *Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI*. Europäische Kommission. Verfügbar unter [https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=60425](https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60425) [06.05.2020].
- Heidling, E.; Meil, P.; Neumer, J.; Porschen-Hueck, S.; Schmierl, K.; Sopp, P. & Wagner, A. (2019). *Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0. VDMA: Hochschulen stehen vor gewaltigem Change-Prozess*. IMPULS-Stiftung, Frankfurt am Main.
- Holmes, W.; Bialik, M. & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign, Bosten.
- Johri, A. (2020). Artificial intelligence and engineering education. *Journal of Engineering Education*, 109(3), 358–361. <https://doi.org/10.1002/jee.20326>.
- Keller, B.; Baleis, J.; Starke, C. & Marcinkowski, F. (2019a). *Machine Learning and Artificial Intelligence in Higher Education: A State-of-the-Art Report on the German University Landscape*. In Working Paper Series: Fairness in Artificial Intelligence Reasoning, Düsseldorf.
- Keller, T.; Bayer, C.; Metternich, J.; Schmidt, S.; Saki, M.; Straeter, O.; Hartwich, H. D. & Anlauff, W. (2019b). *Evaluationskonzept zur Nutzenbewertung digitaler Assistenzsysteme am Montagearbeitsplatz*. In: GfA Frühjahrskongress 2019, Dresden – Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten, GfA, Dortmund (Hrsg.). Beitrag: C.9.5.
- Kirste, M. (2019). *Augmented Intelligence – Wie Menschen mit KI zusammen arbeiten*. In V. Wittpahl (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz*. 58–71. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Kirste, M. & Schürholz, M. (2019). *Einleitung: Entwicklungswege zur KI*. In V. Wittpahl (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz*. 21–35. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Klapper, J.; Gelec, E.; Pokorni, B.; Hämmerle, M. & Rothenberger, R. (2019). *Potenziale digitaler Assistenzsysteme – Aktueller und zukünftiger Einsatz digitaler Assistenzsysteme in produzierenden Unternehmen*. Stuttgart: Fraunhofer IAO.

- Koczy, A.; Stahn, C. & Hartmann, V. (2020). Untersuchung der Veränderung von Kompetenzanforderungen durch Assistenzsysteme im Projekt AWA. In: GfA (Hrsg.), *Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch? Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft März 2020.*, GfA-Press, Dortmund, Beitrag A.15.3.
- Krüger, J.; Fleischer, J.; Franke, J. & Groche, P. (2019). *KI in der Produktion – Künstliche Intelligenz erschließen für Unternehmen.* Standpunktepapier. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktion. Hannover.
- Kumar, D. & Meeden, L. (1998). A robot laboratory for teaching artificial intelligence. *ACM SIGCSE Bulletin*, 30(1), 341–344. <https://doi.org/10.1145/274790.274326>.
- LeCun, Y.; Bengio, Y. & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521 (7553), S. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- Lensing (2016). *Entwicklung eines kompetenzorientierten Lehr-Lernszenarios zur Digitalen Fabrik.* Masterarbeit. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.3018749446>.
- Lensing (2021). Zum Einsatz KI-basierter Assistenzsysteme in der Industrie 4.0: Eine Bewertung aktueller Einsatzszenarien aus technikdidaktischer Perspektive. In B. Vogel-Heuser; T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0, Bd. 4.* Springer Reference Technik. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (in Review).
- Lensing, K.; Haertel, T. (2020). How AI in Engineering Education can Help to Foster Data Literacy and Motivation. In: *Proceedings of Society for Engineering Education (SEFI) Annual Conference 2020.* Enschede, Niederlande.
- Lensing, K. & Friedhoff, J. (2018). Designing a curriculum for the Internet-of-Things-Laboratory to foster creativity and a maker mindset within varying target groups. *Procedia Manufacturing*, 23, 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.022>.
- Lensing, K.; Schwuchow, B.; Oehlandt, S. & Haertel, T. (2018). *How Makerspaces Help to Participate in Technology: Results of a Survey to Gain Data about Learners' Activities in Makerspaces.* In 2018 World Engineering Education Forum – Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC) (S. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WEEF-GEDC.2018.8629611>.
- Lindner, A. & Romeike, R. (2019). Teachers' Perspectives on Artificial Intelligence. In E. Jasutė & S. Pozdniakov (Hrsg.), *ISSEP 2019–12th International conference on informatics in schools: Situation, evaluation and perspectives*, Local Proceedings, 22–29. Larnaca, CY.
- Link, M. & Hamann, K. (2019). Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der Produktion. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 114 (10). 683–687.
- Maedche, A.; Legner, C.; Benlian, A.; Berger, B.; Gimpel, H.; Hess, T.; Hinz, O.; Morana, S. & Söllner, M. (2019). AI-Based Digital Assistants. *Business & Information Systems Engineering*, 61(4), 535–544. <https://doi.org/10.1007/s12599-019-00600-8>.
- Mah, D.-K. & Büching, C. (2019). *Künstliche Intelligenz in Studium und Lehre – Überblickstudie zu Professuren und Studiengängen der Künstlichen Intelligenz in Deutschland.* VDI/VDE. Berlin.
- Maschler, B.; White, D. & Weyrich, M. (2020). *Anwendungsfälle und Methoden der künstlichen Intelligenz in der anwendungsorientierten Forschung im Kontext von Industrie 4.0.* Verfügbar unter <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23768.65289> [01.04.2020].

- McCorduck, P. (1979). *Machines Who Think*. Freeman. New York.
- Niehaus, J. (2017). *Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0: Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle*. FGW-Studie Digitalisierung von Arbeit: Bd. 04. Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung (FGW). Düsseldorf.
- Patscha, C.; Glockner, H.; Störmer, E. & Klaffke, T. (2017). *Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfe bis 2030: Ein gemeinsames Lagebild der Partnerschaft für Fachkräfte*. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (bmas). Berlin.
- Pillay, N.; Maharaj, B. T. & van Eeden, G. (2018). *AI in Engineering and Computer Science Education in Preparation for the 4th Industrial Revolution: A South African Perspective*. In 2018 World Engineering Education Forum – Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC) (S. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WEEF-GEDC.2018.8629703>.
- Pittich, D.; Tenberg, R. & Lensing, K. (2019a). Learning factories for complex competence acquisition. *European Journal of Engineering Education*, 45 (2), 196–213. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1567691>.
- Pittich, D.; Tenberg, R. & Lensing, K. (2019b) Technikdidaktische Herausforderungen im Übergang zu Industrie 4.0. In T. Haertel; C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre und Industrie 4.0. Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven* (S. 167–182). Bielefeld: wbv.
- Plattform Lernende Systeme (PLS) (2019). *Arbeit, Qualifizierung und Mensch-Maschine-Interaktion: Ansätze zur Gestaltung Künstlicher Intelligenz für die Arbeitswelt*. Whitepaper der AG2. München.
- Rammer, C.; Bertschek, I.; Schuck, B.; Demary, V. & Goecke, H. (2019). *Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Deutschen Wirtschaft – Stand der KI-Nutzung im Jahr 2019*. BMWi (Hrsg.). Mannheim.
- Russell, S. J. & Norvig, P. (2009). *Artificial intelligence: a modern approach* (3. Aufl.). Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- Rzepka, C. & Berger, B. (2018). User Interaction with AI-enabled Systems: A Systematic Review of IS Research. In *Proceedings of the 39th International Conference on Information Systems (ICIS 2018)*, San Francisco (USA).
- Samarakou, M.; Fylladitakis, E. D.; Prentakis, P. & Athineos, S. (2014). *Implementation of artificial intelligence assessment in engineering laboratory education*. Int. Conf. E-Learn. (2014), S. 299–303.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>.
- Schmidhuber, J. (2019). Vorwort „Die Intelligenz der Maschinen“. In M. Ford (2019). *The Intelligence of Machines*. Bonn: MITP.
- Schuh, G. & Scholz, P. (2019). *Development of a Framework for the Systematic Identification of AI Application Patterns in the Manufacturing Industry*. In 2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Portland, OR, USA.
- Schüller, K.; Busch, P. & Hindinger, C. (2019). *Future Skills: Ein Framework für Data Literacy*. Hochschulforum Digitalisierung (Arbeitspapier 47/2019). Berlin.

- Seifert, I.; Bürger, M.; Wangler, L.; Christmann-Budian, S.; Rohde, M.; Gabriel, P. & Zinke, G. (2018). *Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland. Eine Studie im Auftrag des BMWi im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm PAiCE*. Berlin.
- Senderek, R. & Geisler, K. (2015). Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0. In Rathmayer, S. & Pongratz, H. *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik* (S. 36–46). München.
- Seufert, S.; Guggemos, J. & Sonderegger, S. (2020). Digitale Transformation der Hochschullehre: Augmentationsstrategien für den Einsatz von Data Analytics und Künstlicher Intelligenz. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung (ZFHE)*. 15 (1). 81–101.
- Steil, J. & Wrede, S. (2019). Maschinelles Lernen und lernende Assistenzsysteme. In: BWP (3/2019) Digitalisierung und künstliche Intelligenz. 48(3). Verfügbar unter <https://www.bwp-zeitschrift.de/en/bwp.php/de/publication/download/10011> [28.03.2020].
- Stone, P.; Brooks, R.; Brynjolfsson, E.; Calo, R.; Etzioni, O.; Hager, G.; Hirschberg, J.; Kalyanakrishnan, S.; Kamar, E.; Kraus, S.; Leyton-Brown, K.; Parkes, D.; Press, W.; Saxenian, A. L.; Shah, J.; Tambe, M. & Teller, A. (2016). *Artificial Intelligence and Life in 2030. One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015–2016 Study Panel*, Stanford University.
- Tekkaya, A. E.; Terkowsky, C.; Radtke, M.; Wilkesmann, U.; Pleul, C. & Maevus, F. (Hrsg.). (2016). *Acatech Studie. Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung: Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab*. Herbert Utz Verlag GmbH.
- Tenberg, R. & Pittich, D. (2017). Ausbildung 4.0 oder 1.2? Analyse eines technisch-betrieblichen Wandels und dessen Implikationen für die technische Berufsausbildung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 5(1), 27–46.
- Tsai, Y.-T.; Wang, C.-C.; Peng, H.-S.; Huang, J. H. & Tsai, C.-P. (2018). Construction of Artificial Intelligence Mechanical Laboratory with Engineering Education Based on CDIO Teaching Strategies. In T.-T. Wu; Y.-M. Huang; R. Shadiev; L. Lin & A. I. Starčić (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science. Innovative Technologies and Learning* (Bd. 11003, S. 81–87). Springer International Publishing, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99737-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99737-7_8).
- Turing, A. M. (1936). *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*. Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2, 41, S. 230–267.
- Ullrich, C.; Hauser-Ditz, A.; Kreggenfeld, N.; Prinz, C. & Igel, C. (2018). Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung* (S. 107–122). Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6_8).
- Villegas-Ch, W.; Román-Cañizares, M. & Palacios-Pacheco, X. (2020). Improvement of an Online Education Model with the Integration of Machine Learning and Data Analysis in an LMS. *Applied Sciences*, 10(15), 5371. <https://doi.org/10.3390/app10155371>.
- Wahlster, W. (2019). Künstliche Intelligenz: Digitales Verstehen. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 72. Jg., Heft 9/10, 451–459.

Wahlster, W. (2016). *Die Speerspitze der Digitalisierung – Künstliche Intelligenz und ihre Entwicklung*. Verfügbar unter [http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/20160923\\_Character\\_Bethmann\\_KI\\_Entwicklung.pdf](http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/20160923_Character_Bethmann_KI_Entwicklung.pdf) [06.03.2020].

Zawacki-Richter, O.; Marín, V. I.; Bond, M. & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *Int J Educ Technol High Educ* 39(16), <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	KI-Entwicklungsphasen .....	267
Abb. 2	Funktionen Digitaler Assistenzsysteme .....	269