Digital transformieren mit Bildung 4.0

Die Kommerzialisierung generativer Künstlicher Intelligenz (KI) durch Systeme wie ChatGPT hat eine neue Ära in der Industrie 4.0 eingeleitet. Die automatische Erstellung neuer Inhalte dank generativer KI ist besonders für die Entwicklung von KI-basierten Tutoring-Systemen (AITS) von Bedeutung, die das digitale Lernen im Rahmen von Bildung 4.0 fördern. Zunächst aber müssen KI-Tutoring-Systeme einer Kategorisierung unterzogen werden, etwa nach Lernmethoden, Anwendungsbereiche und ihren jeweiligen Technologien.

Schlüsselwörter
intelligente Tutoring-Systeme, ITS, Bildung 4.0, Künstliche Intelligenz, Industrie 4.0, adaptives Lernen, personalisiertes Lernen

Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme. Seine Forschungsinteressen beinhalten insbesondere Industrie 4.0, digitale Technologien, Wissensmanagement und Geschäftsprozesse sowie Wandlungsfähigkeit sozio-technischer Systeme.

Georg David Ritterbusch , M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme an der Universität Potsdam. Seine Forschungsschwerpunkte sind Extended Reality (VR/MR/AR), Metaverse, sensorisches Feedback und Human-AI Interaction.

Kontakt
ritterbusch@lswi.de
www.lswi.de

DOI: 10.30844/I4SD.24.5.50

AdobeStock/Exnet

Weiterbildung in Industrie 4.0 mit KI-Tutoring-Systemen

Stand der Technik

Norbert Gronau und Georg David Ritterbusch, Universität Potsdam

Die rapide Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) eröffnet immer neue Einsatzmöglichkeiten, insbesondere in der Weiterbildung für die Fabrik der Zukunft. Für Beschäftigte bedeutet dies nicht nur einen erheblichen Vorteil im eigentlichen Arbeitsprozess, sondern auch im Bereich der betrieblichen Weiterbildung. Dieser Beitrag bietet eine Übersicht von KI-Tutoring-Systemen im Bereich der Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0. Dabei wird eine Kategorisierung vorgestellt, die verschiedene Ansätze von KI-Tutoring-Systemen nach Lernmethoden, Anwendungsbereichen und deren jeweiligen Technologien diskutiert. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf die disruptive Wirkung von generativer KI auf KI-Tutoring-Systeme in der Industrie 4.0 gegeben.

Die Kommerzialisierung generativer Künstlicher Intelligenz (generative KI) durch Systeme wie ChatGPT haben eine neue Generation von KI für den Einsatz in allen Lebensbereichen, und so auch in der Industrie, hervorgebracht [1, 2]. Generative KI ermöglicht nicht nur die Verarbeitung vorhandener Informationen, sondern auch das automatische oder durch Eingabeaufforderungen unterstützte Generieren neuer Informationen in einer vermenschlichten Form. Dieser Technologiesprung eröffnet neue Möglichkeiten in der Industrie 4.0, darunter Tutoring-Systeme [3, 4]. Die Begriffe KI-Tutoring-Systeme (AITS) oder Intelligente Tutoring-Systeme (ITS) beschreiben Software, die aus insgesamt vier Hauptkomponenten oder Modellen besteht. Jedes dieser Modelle stellt einen bestimmten Bestandteil des AITS dar, z. B. umfasst das Domänen-Modell (auch bekannt als Wissens- oder Experten-Modell) das zu vermittelnde Fachwissen. Das Lerner-Modell (auch Schüler-Modell genannt) erfasst, wie erfolgreich der Lernende mit dem AITS arbeitet und ob der Lernende den Lehrinhalt wirklich versteht. Das Tutoren-Modell (oder Pädagogik-Modell) stellt den virtuellen Lehrer des AITS dar, welcher z. B. auf Probleme oder Fragen mithilfe von Feedback und Lerninhalten eingeht und darauf reagiert. Der Lernende interagiert mit der Software über die Schnittstelle (viertes Modell), die in verschiedenen Multimediaformaten vorliegen kann [5, 6]. Typische und weit verbreitete Arten von AITS sind Chatbots [7, 8, 9, 10], virtuelle Agenten [10, 11] oder soziale Roboter [6, 10], die sich alle der Künstlichen Intelligenz bedienen.

Die ORCID-Identifizierungsnummern der Autoren dieses Beitrags sind einsehbar unter https://doi.org/10.30844/I4SD.24.5.50

Dies ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution License, die die Nutzung, Verbreitung und Reproduktion in jedem Medium erlaubt, sofern das Originalwerk ordnungsgemäß zitiert wird.

Aufgrund der zunehmenden Weiterentwicklung und Marktreife von Tools wie verschiedenen AITS, aber auch des Einsatzes von IoT-Systemen, wird der Begriff Bildung 4.0 in Bezug auf die Weiterentwicklung des digitalen Lernens verwendet, in Anlehnung an Industrie 4.0 [12, 13]. Betrachtet man Bildung 4.0 als Wertschöpfungskette im Sinne der Weiterbildung, so wird deutlich, dass Basiswissen in der Schulbildung und Fachwissen in der akademischen Aus- oder Weiterbildung vermittelt, in der Industrie 4.0 am Arbeitsplatz vertieft und im Sinne des lebenslangen Lernens ständig erweitert wird [14].

Wenn von Bildung 4.0 und dem Einsatz von AITS in der Industrie 4.0 die Rede ist, geht es beim Lernen im Wesentlichen um die Schaffung und Förderung von Kompetenzen von Mitarbeitern in der Industrie 4.0 [15, 16]. Die Kompetenzen können unterschieden werden in:

- *Technische oder fachliche Kompetenzen:* Bedienung von Maschinen, Verständnis von Prozessen, Verständnis von Technologie
- *Methodische oder handlungsbezogene Kompetenzen:* Kreativität, Problemlösungsfähigkeit, Entscheidungsfindung, analytische Fähigkeiten, Forschungskompetenz
- *Soziale Kompetenzen:* Kommunikation, Teamarbeit, Vernetzung, Führungsqualitäten, Wissenstransfer
- *Persönliche Kompetenzen:* selbständiges Arbeiten, Verantwortungsbewusstsein, Organisationsfähigkeit, Flexibilität, Motivation

Damit verbunden sind der Erwerb und die Weitergabe von Wissen. Hier kann zwischen explizitem Wissen (dokumentiertes Wissen) und implizitem Wissen (Erfahrung der Mitarbeiter) unterschieden werden [17]. Innerhalb einer Organisation gibt es verschiedene Rollen, die in unterschiedlichem Maße unterschiedliche Fähigkeiten erfordern. So gibt es beispielsweise technische Mitarbeiter, die Fähigkeiten z. B. in Bezug auf die Maschinenbedienung benötigen, oder Produktionsingenieure, die Fähigkeiten z. B. für die Produktionsplanung benötigen, oder Führungskräfte, die

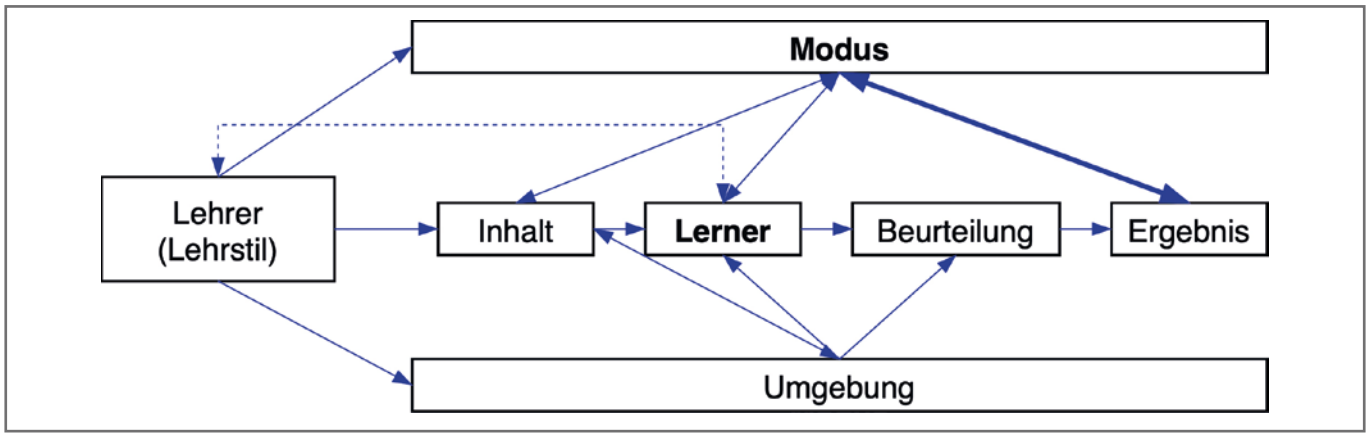

Bild 1: *Lehren und Lernen im digitalen Umfeld - Modell der Komponenten und ihrer Interdependen [18].*

in allen Bereichen fundierte Kenntnisse benötigen, um die richtigen Entscheidungen zu treffen [15, 16]. Digitales Lehren und Lernen im Allgemeinen kann in eine Klassifizierung wie die von [18] eingeordnet werden (**Bild 1**). KI beeinflusst dabei alle diese Elemente des Modells.

Kategorisierung von KI-Tutoring-Systemen

AITS lassen sich innerhalb der Industrie 4.0 anhand verschiedener Perspektiven differenzieren. Zum einen können AITS hinsichtlich der adressierten Lernansätze unterschieden werden [19]. Andererseits kann eine Klassifizierung im Anwendungsbereich, insbesondere mit Hinblick auf die Arbeits- und Betriebsorganisation, von Vorteil sein [14, 20]. Darüber hinaus gibt es verschiedene zugrunde liegende KI-Techniken in AITS selbst sowie in Verbindung mit anderen Technologien, die ihre Anwendung in der Industrie 4.0 finden [5, 12, 13, 19]. Diese Differenzierungen können in einer Taxonomie kombiniert werden, um einen Ordnungsrahmen zu schaffen, der zur Kategorisierung von AITS eingesetzt werden kann.

Lernansätze

Eine der wichtigsten Aufgaben von AITS ist die Vermittlung von Lerninhalten sowie die Unterstützung von Lehrenden und Lernenden in diesem Prozess. In der allgemeinen sowie beruflichen Bildung können verschiedene Lernansätze oder -methoden verwendet werden. Es ist daher sinnvoll, diese Lernansätze zu kategorisieren, damit sowohl die Lernenden als auch die Lehrenden verstehen können, wie der Lernprozess ablaufen sollte.

Hierbei ist es entscheidend zu berücksichtigen, dass Lernansätze nicht für sich allein stehen müssen, sondern auch partiell mit anderen Lernansätzen kombiniert werden können. Es gibt eine Vielzahl von klassischen Lernansätzen, die verfolgt werden können, wobei einige besonders häufig und andere weniger häufig Anwendung finden [21, 22].

Die gängigsten Lernansätze, insbesondere im Zusammenhang mit AITS, sind in **Bild 2** dargestellt. Zunächst kann unterschieden werden, ob der Lernende individuell, also allein, oder gemeinsam mit anderen Individuen in einer Gruppe lernt. Des Weiteren kann unterschieden werden, ob der Lernende passiv lernt, indem er die Lerninhalte lediglich aufnimmt, oder ob er einen aktiven Lernansatz verfolgt, bei dem er sich beteiligt und aktiv mit den Inhalten interagiert, z. B. indem er Fragen stellt. Beim projekt- oder problembasierten Lernen werden die Lernenden mit realen oder zumindest authentischen Problemen konfrontiert, um diese zu bearbeiten und sich mit der Lösung auseinanderzusetzen [22]. Ähnlich verhält es sich mit dem Ansatz des Erfahrungslernens, das auch als "learning by doing" bezeichnet werden kann und bei dem praktische Fähigkeiten entwickelt werden [23]. Durch gamifiziertes Lernen können Lerninhalte mithilfe von Spieldesign und Gamifizierung auf spielerische Weise vermittelt werden, um die Motivation, das Interesse oder das persönliche Engagement der Lernenden zu steigern [24, 22]. Transformatives Lernen beschreibt individuelles Lernen mit einer sich ständig verändernden Gesamtperspektive des Lernenden auf die Lerninhalte, das durch die Sammlung von Erfahrungen und Selbstreflexion mit lebenslangem Lernen verbunden ist [21, 25].

AITS können all diese Lernansätze mithilfe ihrer jeweiligen Ausgestaltung auf verschiedene Weise verfolgen. Bei all diesen Lernansätzen müssen die Lernenden häufig von einem Lehrer, dem Tutor, angeleitet werden. In vielen Lernszenarien kann ein Tutor jedoch nicht auf die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Lernenden eingehen. Die Lerninhalte sind oft standardisiert. AITS können genau diese Lücke schließen, sodass eine große Anzahl von

 © 2024 The Authors. Published by GITO

Lernansatz	Erklärung
Individuelles Lernen	Allein lernen
Kollaboratives Lernen	Lernen in Gruppen
Passives Lernen	Lernen durch bloße Aufnahme von Lerninhalten
Aktives Lernen	Lernen durch Interaktion mit Lerninhalten und Beteiligung
Projektbasiertes Lernen / problembasiertes Lernen	Lernen durch Bearbeitung von authentischen Problemen oder Herausforderungen
Erfahrungslernen	Lernen durch Handeln
Gamifiziertes Lernen	Lernen mit spielerischen Elementen
Transformatives Lernen	Lernen mit individueller und ständig wechselnder Perspektive durch Selbstreflexion
Personalisiertes Lernen	Lernen mit einer individualisierten Struktur
Adaptives Lernen	Lernen mit in Echtzeit angepassten Lerninhalten

Bild 2: *Gängige Lernansätze von AITS.*

Lernenden gleichzeitig von den beiden Lernansätzen des personalisierten und des adaptiven Lernens profitieren kann [23, 12, 19, 26]. Hier kann ein AITS sich an den Lernenden anpassen und sein eigenes KI-Modell (Lerner-Modell) erstellen, das sich mit zunehmender Nutzung weiterentwickelt und verbessert [20]. Beim personalisierten Lernen kann auf individuelle Bedürfnisse, Vorlieben und Fähigkeiten eingegangen werden. Dies führt zu einer effektiveren Entwicklung von Fähigkeiten und dem Erwerb von Wissen. Die Lernenden können sich in ihrem eigenen Tempo neuen Inhalten widmen oder sich besonders sorgfältig auf Bereiche konzentrieren, die verbessert werden müssen. Der Lernprozess wird somit individuell strukturiert [12, 23, 27]. Dies ist eng mit dem adaptiven

Bild 3: *Gängige Bereiche für den Einsatz von KI in AITS.*

KI-Nutzung	Aufgabe
Adaptive Unterstützung	• Adaptive Erzeugung von Feedback • Adaptive Erzeugung von Hinweisen • Adaptive Erzeugung von Empfehlungen
Adaptive Instruktion	• Präsentation von adaptivem Lernmaterial • Adaptive Lernpfad-Navigation • Präsentation von adaptiven Tests und Übungen
Bewertung des Lernenden und Unterstützung bei der Benotung	• Bewertung von Wissen • Bewertung von Leistungen • Bewertung von Fertigkeiten
Definition und Verbesserung des Lernermodells anhand von	• Lernstil • Wissensstand
Klassifikation des Lernenden anhand von	• Wirkung • Intelligenz • Lernstil • Lernbedürfnisse • Charakteristik
Andere	• Kommunikation • Berechnung des Schwierigkeitsgrads von Übungen • Klassifizierung von Lernmaterialien

KI-Technik	Erklärung
Reinforcement Learning (RL)	Agent, der durch Belohnungen und Bestrafungen ("trial and error") lernt, optimale Entscheidungen zu treffen.
Fuzzylogik	Entscheidungsfindungsansatz, der unsichere (nicht-binäre) Werte wie wahr, falsch und jeden Wert dazwischen verwendet, um komplexe und ungenaue Probleme zu modellieren und zu lösen.
Bayes'sches Netz	Grafisches Modell, das die Wahrscheinlichkeitsabhängigkeiten und die zugrunde liegenden bedingten Beziehungen einer Reihe von Variablen darstellt.
Clustering	Unüberwachte Methode, die Datenpunkte in Gruppen unterteilt, so dass ähnliche Datenpunkte eine gemeinsame Gruppe bilden.
Künstliches neuronales Netz	Modelle für die Mustererkennung und Datenverarbeitung, die sich an den Prinzipien des menschlichen Gehirns orientieren.
Generative KI	Kombination fortschrittlicher generativer Algorithmen des maschinellen Lernens zur Erstellung neuer Inhalte oder Daten in menschenähnlicher Weise.

Bild 4: *Gängige KI-Techniken, die in AITS verwendet werden.*

Lernen verbunden, bei dem sich ein AITS, einschließlich des Lernmaterials, an den Lernfortschritt des Lernenden anpasst. Der Schwierigkeitsgrad wird dynamisch gesteuert, und der Lernende erhält ein Echtzeit-Feedback auf der Grundlage seiner Leistung. Auf diese Weise kann ein AITS das richtige Maß an Schwierigkeit und Unterstützung bieten und so die Effektivität des gesamten Lernprozesses erhöhen [23, 12, 28]. Das Ziel eines AITS ist es daher, dem Lernenden eine starke Personalisierung und Interaktivität im Lernprozess zu ermöglichen [26]. Es sollte auch hervorgehoben werden, dass AITS jedem Lernenden ohne oder mit der gleichen sozialen und emotionalen Voreingenommenheit begegnet, was sowohl als Vorteil als auch unter bestimmten Umständen als Nachteil angesehen werden kann, da die menschlichen Faktoren eines menschlichen Tutors wegfallen [19].

Vorteile der Nutzung von KI in AITS

Neben der Klassifizierung, welche Lernansätze durch AITS adressiert werden können, sollte auch die Frage gestellt werden, wo der Lernende, aber auch der Lehrende, durch den Einsatz von KI in AITS profitieren kann. AITS können dazu beitragen, jedem Lernenden eine personalisierte und adaptive Lernumgebung zu bieten. Ein großer Vorteil ist jedoch auch, dass AITS bei der Bewertung sowohl der Lerninhalte als auch der Fähigkeiten und Kenntnisse der Lernenden helfen kann [19]. Darüber hinaus kann KI dazu genutzt werden, die Lernenden zu klassifizieren und individuelle KI-Lernmodelle zu erstellen, um den Lernfortschritt von einzelnen Personen sowie von ganzen Gruppen nachzuvollziehen. Dies erleichtert auch die Anpassung der Lerninhalte, sowohl in Bezug auf den Lernstoff als auch auf den Schwierigkeitsgrad. Spezifische KI-Nutzen und ihre Aufgaben sind in **Bild 3** aufgeführt, basierend auf [20], welche eine systematische Untersuchung von AITS durchgeführt haben. Mithilfe dieser Tabelle können AITS danach klassifiziert werden, welchen Nutzen sie verfolgen und wie sie dies tun. Ein AITS kann mehrere Aufgaben erfüllen.

KI-Techniken

Neben der Einordnung von AITS in die angesprochenen Lernansätze und Einsatzbereiche von KI ist auch die Differenzierung der zugrunde liegenden KI-Techniken entscheidend. Das ermöglicht eine noch tiefer gehende Erkenntnis darüber, wie und welche AITS eingesetzt werden und welche Funktionen genutzt werden können, um Aufgaben von AITS zu adressieren und wie gut diese erfüllt werden können. Dies hilft z. B. auch bei der Weiterentwicklung eines AITS. Darüber hinaus kann damit auch festgestellt werden, ob die KI eines AITS als schwach oder stark eingestuft werden kann [29]. **Bild 4** fasst die gebräuchlichsten KI-Techniken und ihre Funktionsweise beim Aufbau von AITS zusammen, basierend auf [5]. Dazu gehören Reinforcement Learning, Fuzzylogik, Bayes'sche Netze, Clustering und künstliche neuronale Netze. Darüber hinaus wurden diese Techniken durch die Kombination mehrerer fortgeschrittener Techniken unter generativer KI ergänzt [20, 30, 31]. Ein AITS kann mit einer einzigen KI-Technik aufgebaut werden oder mehrere Techniken kombinieren, je nach gewünschter Komplexität der Aufgaben.

 © 2024 The Authors. Published by GITO

Perspektive	Lernansatz	KI-Nutzung	KI-Technik
Kategorien	Individuelles Lernen	adaptive Unterstützung	Reinforcement Learning
	Kollaboratives Lernen	adaptive Instruktion	Fuzzylogik
	Passives Lernen		
	Aktives Lernen	Bewertung des Lernenden und Unterstützung bei der Benotung	Bayessches Netz
	Projektbasiertes/ problembasiertes Lernen		
	Erfahrungslernen	Definition und Verbesserung des Lernermodells	Clustering
	Gamifiziertes Lernen		
	Transformatives Lernen	Klassifikation des Lernenden	künstliches neuronales Netz
	Personalisiertes Lernen	andere	generative KI
	Adaptives Lernen		

Bild 5: *Taxonomie von AITS.*

Kategorisierung

AITS können aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden: der Lernansatz, die Nutzung von KI und die Technik der KI. Durch die Kombination dieser drei Perspektiven aus den Bildern 2-4 kann eine Taxonomie (**Bild 5**) erstellt werden. Mit dieser Taxonomie können AITS aus diesen Perspektiven kategorisiert werden. Bei der Anwendung der Taxonomie kann jedes AITS aus jeder Perspektive untersucht werden, wobei jedes AITS eine oder mehrere Kategorien jeder Perspektive adressiert.

Schlussfolgerung und zukünftige Forschung

Die Kategorisierung kann zum Verständnis dessen beitragen, wie ein eingebettetes AITS funktioniert oder gestaltet werden sollte. Darüber hinaus kann besser verstanden werden, wie AITS in andere Querschnittstechnologien der Industrie 4.0 wie Augmented Reality, Virtual Reality, Internet-of-Things, Assistenzsysteme, Robotik, Additive Manufacturing, Simulation, Big Data, CPS, Wearables und Weitere aus der pädagogischen Perspektive der Bildung 4.0 effektiver integriert werden können. AITS unterstützen auch ein autonomeres, konsistenteres oder sogar automatisierteres Lernen in einem solchen Umfeld [13, 14, 32]. Der disruptive Charakter der generativen KI kann zu einer noch größeren Effektivität in der Anwendung führen, da sie dazu genutzt werden kann, noch stärker und schneller auf den Lernenden zu reagieren [30, 31]. Für Praktiker der betrieblichen Transformation ist diese Kategorisierung eine Hilfe bei der Auswahl vorhandener AITS, wobei die dargestellten Kategorien zur Bewertung der vorhandenen AITS herangezogen werden können und somit einen besseren Vergleich untereinander ermöglichen. Dabei ist die Perspektive der Lernansätze besonders vorteilhaft. Diese ermöglicht ein besseres Verständnis darüber und eine Einordnung, wie ein Lerner mithilfe von AITS überhaupt lernen kann.

Die Kategorisierung ist möglicherweise noch nicht vollständig und könnte in Zukunft um weitere Perspektiven erweitert werden. Darüber hinaus sind die einzelnen Kategorien möglicherweise nicht allumfassend, da sie nur die gängigsten Kategorien im Kontext von AITS in der Industrie 4.0 darstellen. Hier könnten in Zukunft weitere Kategorien hinzukommen. Darüber hinaus könnte sich in Zukunft die Frage stellen, wie sowohl explizites als auch implizites Wissen im Sinne des Wissensmanagements mit unterschiedlichsten AITS vermittelt werden kann, beispielsweise auch mithilfe neuartiger AITS auf Basis generativer KI. AITS, die auf generativer KI beruhen, müssen noch entwickelt und vor allem zur Marktreife geführt werden, in der die Adaptivität und Personalisierung der Systeme deutlich stärker ausgebaut wird. Dabei stellt sich auch die Frage, wie robust die zugrunde liegenden Datenkonstrukte sein müssen. Schließlich sollte auch die Tutorenperspektive näher betrachtet werden. Das schließt die Frage ein, in welchem Maße der menschliche Tutor ersetzbar wird, inwieweit er sich an das AITS anpassen muss und wie damit optimal umgegangen wird, insbesondere mit Blick auf die Akzeptanz in Organisationen.

Literatur

[1] Javaid, M.; Haleem, A.; Singh, R. P.: A study on ChatGPT for Industry 4.0: Background, potentials, challenges, and eventualities. In: Journal of Economy and Technology 1 (2023) 127-143. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ject.2023.08.001.

[2] Rane, N.: ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence (AI) for Smart Industry: Role, Challenges and Opportunities for Industry 4.0, Industry 5.0 and Society 5.0. In: SSRN Electronic Journal (2023). DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4603234.

[3] Kohnke, L.; Moorhouse, B. L.; Zou, D.: ChatGPT for Language Teaching and Learning. RELC Journal, 54 (2023) 2, S. 537-550. DOI: https://doi.org/10.1177/00336882231162868.

[4] Wang, X.; Anwer, N.; Dai, Y.; Liu, A.: ChatGPT for design, manufacturing, and education. In: Procedia CIRP 119 (2023), S. 7-14. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.04.001.

[5] AlShaikh, F.; Hewahi, N.: AI and Machine Learning Techniques in the Development of Intelligent Tutoring-System: A Review. 2021 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), S. 403-410. DOI: https://doi.org/10.1109/3ICT53449.2021.9582029.

[6] Schiff, D.: Out of the laboratory and into the classroom: The future of artificial intelligence in education. In: AI & SOCIETY 36 (2021) 1, S. 331-348. DOI: https://doi.org/10.1007/s00146-020-01033-8.

[7] Chen, L.; Chen, P.; Lin, Z.: Artificial Intelligence in Education: A Review. In: IEEE Access 8 (2020), 75264-75278. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510.

[8] Kim, J.; Merrill, K.; Xu, K.; Sellnow, D. D.: My Teacher Is a Machine: Understanding Students' Perceptions of AI Teaching Assistants in Online Education. In: International Journal of Human–Computer Interaction 36 (2020) 20, S. 1902–1911. DOI: https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1801227.

[9] Kim, N.-Y.: A Study on the Use of Artificial Intelligence Chatbots for Improving English Grammar Skills. In: Journal of Digital Convergence 17 (2019) 8, S. 37-46. DOI: https://doi.org/10.14400/JDC.2019.17.8.037.

[10] Li, M.; Suh, A.: Machinelike or Humanlike? A Literature Review of Anthropomorphism in AI-Enabled Technology. 2021 Hawaii International Conference on System Sciences. DOI: https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.493.

[11] Zhang, K.; Aslan, A. B.: AI technologies for education: Recent research & future directions. In: Computers and Education: Artificial Intelligence 2 (2021), 100025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025.

[12] Ciolacu, M. I.; Svasta, P.: Education 4.0: AI Empowers Smart Blended Learning Process with Biofeedback. 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), S. 1443-1448. DOI: https://doi.org/10.1109/EDUCON46332.2021.9453959.

[13] Moraes, E. B.; Kipper, L. M.; Hackenhaar Kellermann, A. C.; Austria, L.; Leivas, P.; Moraes, J. A. R.; Witczak, M.: Integration of Industry 4.0 technologies with Education 4.0: Advantages for improvements in learning. In: Interactive Technology and Smart Education 20 (2023) 2, 271-287. DOI: https://doi.org/10.1108/ITSE-11-2021-0201.

[14] Li, L.: Education supply chain in the era of Industry 4.0. In: Systems Research and Behavioral Science 37 (2020) 4, S. 579-592. DOI: https://doi.org/10.1002/sres.2702.

[15] Erol, S.; Jäger, A.; Hold, P.; Ott, K.; Sihn, W.: Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. In: Procedia CIRP 54 (2016), S. 13-18. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162.

[16] Mourtzis, D.: Development of Skills and Competences in Manufacturing Towards Education 4.0: A Teaching Factory Approach. In: Ni, J.; Majstorovic, V. D.; Djurdjanovic, D. (Hrsg): Proceedings of 3rd International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing. Berlin 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89563-5_15.

[17] Gronau, N.; Teichmann, M.; Weber, E.: Serious Game-Based Haptic Modeling—An Application-Oriented Approach for Sequentially Developing New Business Models from Tacit Knowledge. In: Shishkov, B. (Hrsg): Business Modeling and Software Design, Bd. 483. Basel 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36757-1_3.

[18] Gonnermann, J.; Brandenburger, B.; Vladova, G.; Gronau, N.: To What Extent Can Individualisation in Terms of Different Types of Mode Improve Learning Outcomes and Learner Satisfaction? A Pre-study. Hawaii International Conference on System Sciences 2023 (HICSS-56) (2023) 14. URL: https://aisel.aisnet.org/hicss-56/cl/teaching_and_learning_technologies/14.

[19] Hemachandran, K.; Verma, P.; Pareek, P.; Arora, N.; Rajesh Kumar, K. V.; Ahanger, T. A.; Pise, A. A.; Ratna, R.: Artificial Intelligence: A Universal Virtual Tool to Augment Tutoring in Higher Education. In: Computational Intelligence and Neuroscience (2022), S. 1-8. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/1410448.

[20] Mousavinasab, E.; Zarifsanaiey, N.; Niakan, R.; Kalhori, S.; Rakhshan, M.; Keikha, L.; Ghazi Saeedi, M.: Intelligent Tutoring-Systems: A systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. Interactive Learning Environments 29 (2021) 1, S. 142-163. DOI: https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1558257.

[21] Mindt, L.; Rieckmann, M.: Desarrollo de las competencias para el emprendimiento orientado a la sostenibilidad en la educación superior: Una revisión bibliográfica de los métodos de enseñanza y aprendizaje. Teoría de La Educación. In: Revista Interuniversitaria, 29 (2017) 1, S. 129-159. DOI: https://doi.org/10.14201/teoredu291129159.

[22] Ng, D. T. K.; Lee, M.; Tan, R. J. Y.; Hu, X.; Downie, J. S.; Chu, S. K. W.: A review of AI teaching and learning from 2000 to 2020. In: Education and Information Technologies 28 (2023) 7, 8445-8501. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-022-11491-w.

[23] Adel, A.: The Convergence of Intelligent Tutoring, Robotics, and IoT in Smart Education for the Transition from Industry 4.0 to 5.0. In: Smart Cities, 7 (2024) 1, S. 325-369. DOI: https://doi.org/10.3390/smartcities7010014.

[24] Kapp, K. M.: The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education. Pfeiffer 2012.

[25] Thomas, I.: Critical Thinking, Transformative Learning, Sustainable Education, and Problem-Based Learning in Universities. In: Journal of Transformative Education, 7 (2009) 3, S. 245-264. DOI: https://doi.org/10.1177/1541344610385753.

[26] St-Hilaire, F.; Vu, D. D.; Frau, A.; Burns, N.; Faraji, F.; Potochny, J.; Robert, S.; Roussel, A.; Zheng, S.; Glazier, T.; Romano, J. V.; Belfer, R.; Shayan, M.; Smofsky, A.; Delarosbil, T.; Ahn, S.; Eden-Walker, S.; Sony, K.; Ching, A. O.; Kochmar, E.: A New Era: Intelligent Tutoring-Systems Will Transform Online Learning for Millions (2022) (arXiv:2203.03724). arXiv. URL: http://arxiv.org/abs/2203.03724.

[27] Palanivel, K.: Emerging Technologies to Smart Education. In: International Journal of Computer Trends and Technology, 68 (2020) 2, S. 5-16. DOI: https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V68I2P102.

[28] Zahabi, M.; Abdul Razak, A. M.: Adaptive virtual reality-based training: A systematic literature review and framework. In: Virtual Reality, 24 (2020) 4, S. 725-752. DOI: https://doi.org/10.1007/s10055-020-00434-w.

[29] Kuleshov, A.; Prokhorov, S.: Domain Dependence of Definitions Required to Standardize and Compare Performance Characteristics of Weak AI Systems. 2019 International Conference on Artificial Intelligence: Applications and Innovations (IC-AIAI), 62-623. DOI: https://doi.org/10.1109/IC-AIAI48757.2019.00020.

[30] Baidoo-Anu, D.; Ansah, L. O.: Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning (2023).

[31] Qadir, J.: Engineering Education in the Era of ChatGPT: Promise and Pitfalls of Generative AI for Education. 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), S. 1-9. DOI: https://doi.org/10.1109/EDUCON54358.2023.10125121.

[32] Mian, S. H.; Salah, B.; Ameen, W.; Moiduddin, K.; Alkhalefah, H.: Adapting Universities for Sustainability Education in Industry 4.0: Channel of Challenges and Opportunities. In: Sustainability 12 (2020) 15, 6100. DOI: https://doi.org/10.3390/su12156100.

 © 2024 The Authors. Published by GITO