Informatik Spektrum (2025) 48:38–46
https://doi.org/10.1007/s00287-024-01584-w

HAUPTBEITRAG

Was alle über Künstliche Intelligenz wissen sollen und wie KI-bezogene Kompetenzen in der Schule entwickelt werden können

Weiterführende Überlegungen zum GI-Positionspapier „Künstliche Intelligenz in der Bildung“

Daniel Losch[1] · Steffen Jaschke[2] · Tilman Michaeli[3] · Simone Opel[4] · Ute Schmid[5] · Stefan Seegerer[6] · Peer Stechert[7]

Angenommen: 8. November 2024 / Online publiziert: 7. Januar 2025
© The Author(s) 2024

Zusammenfassung

Aufbauend auf dem Positionspapier der Gesellschaft für Informatik zur Bedeutung von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Bildung wird im Beitrag die Notwendigkeit diskutiert, Schüler*innen sowie Lehrkräfte auf die Chancen und Herausforderungen von KI vorzubereiten. Es werden verschiedene Ansätze zum Lehren und Lernen über und mit KI vorgestellt, darunter die Integration von KI in den Informatikunterricht, die Verwendung von Unplugged-Ansätzen und die Entwicklung von KI-bezogenen Kompetenzen in der beruflichen Bildung. Der Beitrag betont die Bedeutung von Informatik als Pflichtfach im allgemeinbildenden Unterricht. Abschließend werden die Konsequenzen von KI für die Bildung und die Notwendigkeit eines interdisziplinären Diskurses über die Gestaltung von Bildung in einer digital geprägten Welt diskutiert.

Mit zunehmendem Einfluss von Systemen, die Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) nutzen, auf immer mehr Lebensbereiche ist es zentral, dass grundlegende Konzepte der Künstlichen Intelligenz einerseits und ein sicherer und souveräner Umgang mit KI-Werkzeugen andererseits in schulischen und außerschulischen Bildungskontexten vermittelt werden. Dies gilt in besonderem Maße auch für die Nutzung von generativen Ansätzen der Künstlichen Intelligenz, insbesondere Sprachgeneratoren und Bildgeneratoren. Dabei ist gewiss nicht zwingend erforderlich, dass alle Menschen KI-Methoden bis ins letzte Detail verstehen und anwenden können. Allerdings sollte grundlegend nachvollzogen werden können, für welche Probleme KI-Methoden im Gegensatz zu anderen Ansätzen der Informatik sinnvoll

✉ Daniel Losch
d.losch@uni-wuppertal.de

Steffen Jaschke
steffen.jaschke@uni-siegen.de

Tilman Michaeli
tilman.michaeli@tum.de

Simone Opel
simone.opel@fernuni-hagen.de

Ute Schmid
ute.schmid@uni-bamberg.de

Stefan Seegerer
stefan.seegerer@fu-berlin.de

Peer Stechert
peer.stechert@gi.de

[1] Didaktik der Informatik, Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, Deutschland

[2] Didaktik der Informatik, Universität Siegen, Hölderlinstr. 3, 57076 Siegen, Deutschland

[3] TUM School of Social Sciences and Technology, Computing Education Research Group, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München, Deutschland

[4] Fakultät für Mathematik und Informatik, FernUniversität in Hagen, Universitätsstraße 11, 58097 Hagen, Deutschland

[5] Lehrstuhl für Kognitive Systeme, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, An der Weberei 5, 96045 Bamberg, Deutschland

[6] Didaktik der Informatik, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 24–26, 14195 Berlin, Deutschland

[7] Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein, Schreberweg 5, 24119 Kronshagen, Deutschland

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

zum Einsatz kommen können. Jede*r sollte sich etwa bewusst sein, dass es grundsätzliche Unterschiede zwischen menschlicher und Künstlicher Intelligenz gibt und dass man sich vor unzulässigen Anthropomorphisierungen hüten sollte.

In diesem Beitrag sollen daher Allgemeinbildung und berufliche Bildung als Kontexte beleuchtet werden, in denen KI-bezogene, informatische Kompetenzen von Lehrenden und Lernenden entwickelt werden sollen. Damit werden ausgewählte Elemente des Positionspapiers „Künstliche Intelligenz in der Bildung“ der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) [1] weitergetragen und konkretisiert. Informatische Kompetenzen sind die Grundlage für das Lernen über und mit Künstlicher Intelligenz. Ohne das Verständnis der grundlegenden, informatischen Konzepte – und dazu gehören auch Gegenstände und Methoden der Künstlichen Intelligenz – können Bildungsprozesse in einer digitalen vernetzten Welt nur beschränkt gestaltet werden. Es gilt daher, Chancen und Risiken von Künstlicher Intelligenz in der Bildung differenziert zu betrachten [2].

Nach einer kurzen Einführung in das Teilgebiet Künstliche Intelligenz (KI) unter Berücksichtigung von Gegenständen, Methoden und der Perspektive der Problemlösung, werden schulische Bezüge KI-bezogener Kompetenzen erörtert. Für den allgemeinbildenden Unterricht sowie für die berufliche Bildung werden auf der Grundlage bisheriger Forschungsergebnisse einerseits Vorschläge zur informatikdidaktischen Strukturierung des Unterrichtsthemas Künstliche Intelligenz zusammengetragen, andererseits werden konkrete Beispiele aus dem Informatikunterricht vorgestellt. Dadurch ergibt sich ein primärer Fokus auf das Lernen *über* Künstliche Intelligenz. Aus den Überlegungen zur Unterrichtsgestaltung für Schüler*innen werden anschließend generelle Konsequenzen für die Lehrkräftebildung abgeleitet. Schließlich werden im Ausblick Herausforderungen identifiziert, die innerhalb der Informatik interdisziplinär anzugehen sind.

Künstliche Intelligenz als Teilgebiet der Informatik – Gegenstände, Methoden, Problemlösung

Betrachten wir zunächst Softwaresysteme ohne KI-Komponenten. Software kann sehr komplex sein und je komplexer ein System ist, desto schwieriger ist es, sein Verhalten zu kontrollieren. Dennoch ist der Programmcode von Standardsoftware vollständig einsehbar – der Code kann von Menschen gelesen und ausgewertet werden. Darüber hinaus ist der meiste Code deterministisch. Das heißt, für eine bestimmte Eingabe wird eine bestimmte Ausgabe berechnet. Das Verhalten kann systematisch getestet werden und – was noch wichtiger ist – bei sicherheitskritischem Code kann formal nachgewiesen werden, dass der Code bestimmte Anforderungen erfüllt [3]. Beispielsweise muss für die Steuerung eines Airbags nachgewiesen werden, dass der Code vollständig und korrekt ist – der Airbag öffnet immer dann, wenn eine Situation eintritt, in der dies notwendig ist, und zu keinem anderen Zeitpunkt.

Eine übliche Definition von Künstlicher Intelligenz ist, dass Künstliche Intelligenz ein Teilgebiet der Informatik ist, das sich mit Problemen befasst, die Menschen im Moment noch besser lösen können [4]. KI-Techniken sind besonders dann gefragt, wenn traditionelle algorithmische Ansätze nicht in der Lage sind, das Problem zu lösen, oder nur unzureichende Lösungen ermöglichen. Im Allgemeinen ist dies aus drei Gründen der Fall [5]: (1) Das Problem ist zu komplex, um effizient berechnet zu werden. In diesem Fall werden heuristische Algorithmen verwendet, um eine Lösung anzunähern, jedoch ohne Garantie, dass diese Lösung optimal ist oder in einigen Fällen sogar, dass überhaupt eine Lösung gefunden wird. Typische Beispiele sind Planungs- und Routingprobleme. (2) Das angesprochene Problem beinhaltet komplexes Domänenwissen und Schlussfolgerungen und daher sind Standarddatenstrukturen und -algorithmen nicht leistungsfähig genug. Typische Beispiele sind Schlussfolgerungen aus Ontologien und Handlungsplanung. (3) Das gegebene Problem kann nicht oder nicht vollständig explizit beschrieben werden. Dies gilt für den Großteil des menschlichen Wahrnehmungswissens, beispielsweise implizites Wissen, um eine Katze auf einem Bild zu erkennen, die Identifizierung einer Hautveränderung als Melanom oder die Beurteilung, ob eine Schweißnaht korrekt ist. Um implizites Wissen zu erschließen, werden Methoden des maschinellen Lernens genutzt, die ermöglichen, Regularitäten in Trainingsdaten zu identifizieren und darüber ein generalisiertes Modell aufzubauen. Gelernte Modelle ermöglichen es, analog zu expliziten Programmen, für neue Eingaben entsprechende Ausgaben zu berechnen. Im Gegensatz zu explizit vorgegebenen Programmabläufen sind gelernte Modelle aber häufig nicht transparent und damit nicht inspizierbar. Dies gilt insbesondere für tiefe neuronale Netze, die sich als Blackbox darstellen [5–8]. Für gelernte Modelle, aber auch für die meisten anderen KI-Ansätze gilt, dass im Gegensatz zu Standardsoftware keine Garantie für Vollständigkeit und Korrektheit besteht.

Häufig werden KI-Systemen Eigenschaften zugeschrieben, die wir mit menschlicher Intelligenz verbinden [9]. Beschreiben wir einen Menschen als intelligent, meinen wir damit meist, dass er über besondere kognitive Leistungsfähigkeit verfügt. Spielt jemand Schach in der Bundesliga oder promoviert in Physik, sagen wir „Du musst aber intelligent sein“. Die Fähigkeiten, sehr gut Katzen von Hunden zu unterscheiden oder die Spülmaschine auszuräumen, verbinden wir dagegen selten mit Intelligenz – obwohl gerade in solchen Bereichen häufig die größeren Heraus-

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

forderungen für KI-Systeme liegen. Zudem gehen wir bei Intelligenz meist von einer allgemeinen Intelligenz aus – ein Mensch, der etwa mathematische Textaufgaben lösen kann, wird auch Hunde von Katzen unterscheiden können, einen Zeitungsartikel zusammenfassen oder eine Reise planen können. So kann man bei KI-Systemen leicht in die Falle gehen und vermuten, dass ein System, das etwa Tiere klassifizieren kann, auch alle möglichen anderen Objekte klassifizieren könne und vielleicht auch andere Probleme lösen könnte. Dies ist für KI-Systeme üblicherweise nicht der Fall. Gelernte Modelle sind typischerweise auf eine enge Anwendungsdomäne angepasst. Sie verfügen auch nicht über die den Menschen vorbehaltene Fähigkeit zur Selbstreflexion. Ist ein Modell für die Klassifikation von Tieren trainiert, wird es bei Eingabe des Bildes eines Kühlschranks vielleicht „Eisbär“ ausgeben. Ein Mensch (der wirklich noch keinen Kühlschrank gesehen hat) würde sagen: „Was ist das? Das kenne ich noch nicht“. Die Erkennung solcher Out of Distribution Errors ist ein aktuelles Forschungsthema im Bereich maschinellen Lernens [10].

Weitere Unterschiede zwischen menschlichem und maschinellem Lernen sind, dass menschliches Lernen üblicherweise Vorwissen miteinbezieht und dass Lernen ein kontinuierlicher Prozess ist. Forschung im Bereich maschinellen Lernens adressiert diese Aspekte. Die Nutzung von Vorwissen findet sich z. B. in Ansätzen wie Transfer Learning und wird aktuell in der Forschung zu hybrider Künstlicher Intelligenz thematisiert [11, 12]. Der Ansatz des Reinforcement Learning, der kontinuierliches Lernen ermöglicht, wurde ursprünglich auch durch diese Eigenschaft menschlichen Lernens motiviert [13]. Allerdings erreichen die Ansätze die Flexibilität und Robustheit des menschlichen Lernens nicht.

Die Anthropomorphisierung von KI-basierten Informatiksystemen ist insbesondere bei Dialogsystemen relevant. Bereits der erste Chatbot, Eliza [14], wurde von vielen Menschen als intelligentes und sogar einfühlsames Gegenüber betrachtet, obwohl dahinter nur eine kleine Menge an Regeln, insbesondere zur Umformung von Aussagesätzen in Fragesätze steckte. Die aktuellen Foundation Models, zu denen große Sprachmodelle gehören, auf denen Chatbots wie ChatGPT basieren, sind im Gegensatz zu den oben diskutieren Klassifikationssystemen nicht auf einen speziellen Anwendungsbereich beschränkt [15, 16]. Auch wenn diese Systeme sprachlich sehr eloquent und in vielen Fällen enorm leistungsfähig sind, gilt auch hier, dass man sich klar darüber sein muss, dass diese Systeme kein Weltwissen, keine Intentionalität und kein Bewusstsein haben. Im Kern sind solche Modelle „stochastische Papageien“ [17], sie verfügen nicht über ein Ich-Bewusstsein, haben kaum Möglichkeit zur Selbstreflexion und kein inneres Erleben.

Allgemeinbildender Informatikunterricht – zentraler Ort für das Lernen über Künstliche Intelligenz

Es bedarf informatischer Kompetenzen, um die Auswirkungen, Chancen und Grenzen von Künstlicher Intelligenz auf das persönliche Leben und die Gesellschaft angemessen und fachlich fundiert analysieren, diskutieren und mitgestalten zu können. Phänomene, Objekte und Situationen der digital vernetzten und durch Informatik und Künstliche Intelligenz geprägten Welt werden dafür im Rahmen von Informatikunterricht sowohl aus einer technologischen („Wie funktioniert das?“), gesellschaftlich-kulturellen („Wie wirkt das?“) sowie anwendungsorientierten Perspektive („Wie nutze ich das?“) betrachtet [18], wobei dieses Raster auch Anschluss an andere Schulfächer bietet. Dabei stellt sich die Frage, welche KI-bezogenen Kompetenzen Teil informatischer Allgemeinbildung und damit Gegenstand von (verpflichtendem) schulischem Informatikunterricht sein sollten, um jede*n zum Verstehen und Mitgestalten der digitalen Welt zu befähigen. Im Sinne der Aufgabe von Schule und Bildung gilt es dabei, sich auf langfristig relevante und anwendbare Kompetenzen zu fokussieren, die Schüler*innen für die nächsten 20, 30 oder 40 Jahre vorbereiten und nicht etwa kurzfristigen Hypes und Moden für die Anwendung aktueller Werkzeuge zu folgen – insbesondere in einem Forschungsgebiet wie der Künstlichen Intelligenz, dessen Entwicklung schwer prognostizierbar ist. Vor dem Hintergrund der dynamischen Wissenschaft Informatik mit ihren regelmäßigen Innovationen und Weiterentwicklungen begleitetet diese Aufgabe zur Identifikation relevanter Inhalte informatische Bildung und Informatikunterricht seit ihren Anfängen [19].

In der informatikdidaktischen Forschung werden dafür zugrunde liegende Ideen, Konzepte und Prinzipien identifiziert, die durch ihre abstrakte Struktur unabhängig von konkreten Anwendungen und Details zeitlich überdauernd sind und zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt befähigen. Neue Phänomene, Sachverhalte oder Situationen erscheinen dann lediglich als Variation eines bereits vertrauten Themas und können über die einmal erlernten Ideen leichter wieder erschlossen werden [19]. Um im Beispiel der Künstlichen Intelligenz zu bleiben: Die aktuell vielfach geforderten Kompetenzen zum „Prompt Engineering“ erscheinen als instabiles „Produktwissen“ [20] oder gar „Versionswissen“ [21], ohne langfristige Relevanz. Genauso wenig erlaubt ein Verständnis von technologischen Details wie etwa der Funktionsweise eines Perzeptrons, Phänomene der Lebenswelt zu verstehen und einzuordnen. Wenn dagegen zentrale Ideen in den Mittelpunkt gerückt werden – etwa, dass ein Informatiksystem aus bereitgestellten Beispieldaten Muster und Regeln finden kann, um damit auch beliebige neue Daten zu erkennen – kann dies

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

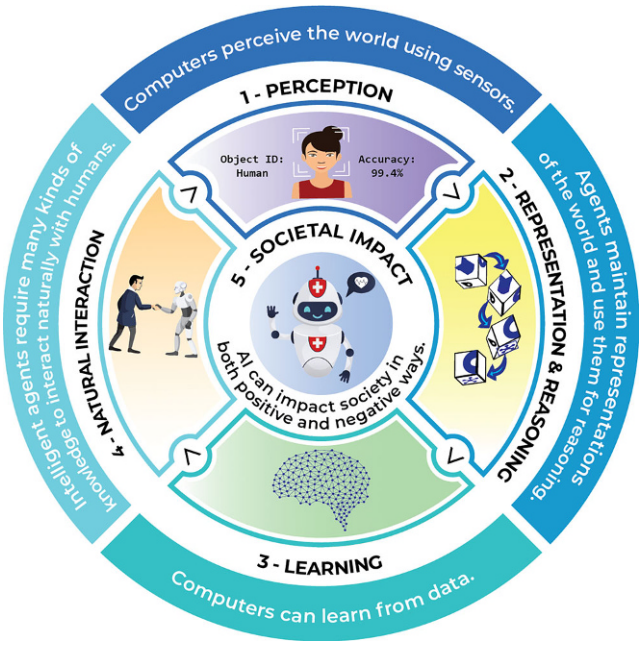

Abb. 1 Big 5 Ideas of AI [28]

tatsächlich helfen, Phänomene im täglichen Leben der Lernenden zu erschließen [22]. Gleichzeitig ist diese Idee des *überwachten Lernens* grundlegend bereits seit Beginn der Künstlichen Intelligenz und unabhängig von technischen Details.

Konkrete Ansätze zu einer entsprechenden Strukturierung und Charakterisierung der Informatik bieten etwa die *Fundamentalen Ideen der Informatik* [19], *Big Ideas of Computer Science* [23] oder *Great Principles of Computing* [24]. Analog wurden auch einzelne Teilgebiete der Informatik betrachtet, wie etwa Data Management [25] oder Quanteninformatik [26]. Ganz ähnlich stellt Künstliche Intelligenz ein für die Informatikdidaktik bisher weitgehend neues Feld dar, das gerade erst bezüglich zugrunde liegender Ideen, Konzepte und Prinzipien fachdidaktisch erschlossen wird – etwa in der Ausschärfung von AI Literacy [27], in Form von fünf *Big Ideas* ([28], vgl. Abb. 1) oder – angelehnt an den deutschsprachigen Diskurs – aufbauend auf dem Dagstuhl-Dreieck ([29], vgl. Abb. 2). Zentrale Aufgabe ist dabei die Integration von Künstlicher Intelligenz als Thema in bestehende Informatiklehrpläne, die einerseits deutlich macht, dass auch Künstliche Intelligenz „nur“ ein (noch dazu altes) Teilgebiet der Informatik ist und auf denselben Prinzipien aufbaut und andererseits dem spezifischen Charakter von KI-Problemen und Lösungen durch eine entsprechende Erweiterung gerecht wird – etwa von *Computational Thinking* hin zu *CT 2.0* [30]. In der aktuellen Entwurfsfassung zur Aktualisierung der Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe 1 [31] findet sich ein entsprechender Vorschlag. Genauso haben zahlreiche Länder (etwa Sachsen, Bayern oder Nordrhein-Westfalen) das Thema in ihren Informatik-Bildungs- bzw. Lehrplänen bereits explizit verankert.

Auch für die für die Vermittlung KI-bezogener Kompetenzen in Schule und Unterricht fehlen bisher langjährige, umfassende Unterrichtserfahrungen sowie empirische Erkenntnisse aus der informatikdidaktischen Forschung [33]. Wissenschaftlich fundierte Grundlagen zur Ausgestaltung von Lehr-Lern-Prozessen für KI-bezogene Kompetenzen werden aktuell erst erarbeitet. Allerdings wurden in den letzten Jahren bereits zahlreiche Unterrichtsmaterialien und -konzepte aufbauend auf Prinzipien „guter informatischer Bildung“ (ideenbasiert, kontextualisiert, konstruktionistisch ...) entwickelt und erprobt.

Die bestehenden Herangehensweisen an das Thema Künstliche Intelligenz im Unterricht lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen, wobei ein Fokus auf Ansätze des maschinellen Lernens dominiert. Mit sogenannten *Unplugged-Ansätzen* wird der Fokus auf die zugrunde liegenden Konzepte gelegt, indem haptisch und enaktiv ohne

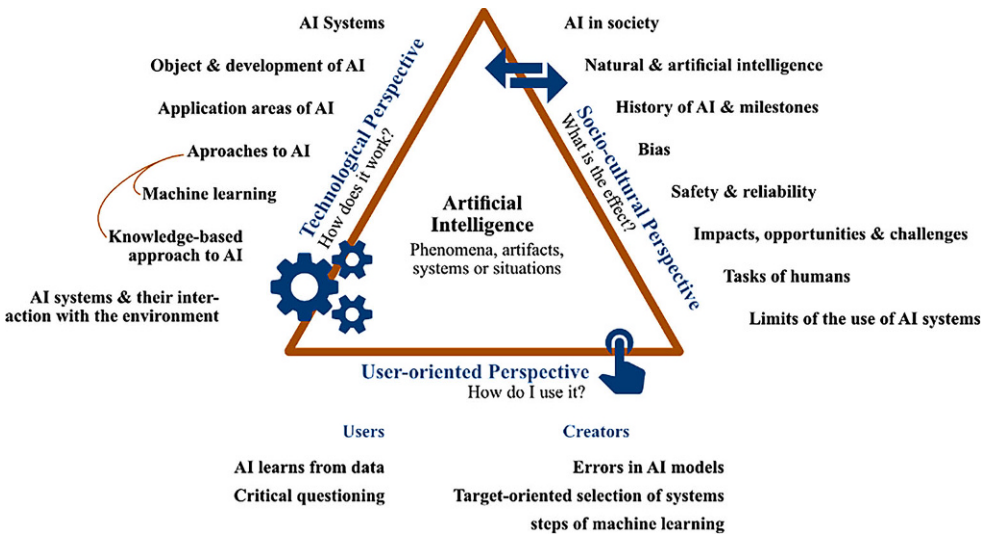

Abb. 2 Learning Objectives for Artificial Intelligence in Secondary Education [32]

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

Einsatz eines Informatiksystems etwa das Prinzip des überwachten Lernens [34] oder des verstärkenden Lernens [35] spielerisch entwickelt wird. Nach Erarbeitung der prinzipiellen Funktionsweise der KI-Modellierung ist es im Sinne der zu entwickelnden Gestaltungskompetenz zielführend, dass die Schüler*innen auf einem Informatiksystem mit KI-Modellen interagieren, sie konfigurieren und letztlich selbst implementieren. Beliebt sind dazu etwa Werkzeuge wie Teachable Machine [36], ML4Kids [37] oder Cognimates [38], in denen KI-Systeme genutzt werden – auch in eigenen kreativen Projekten, ein Blick hinter die Kulissen aber verborgen bleibt (*Blackbox-Ansätze*). Weiterhin gibt es Ansätze, die sich auf das *Konfigurieren* von KI-Modellen fokussieren und den Fokus auf den Prozess der Datenverarbeitung legen [39, 40]. Während beim Konfigurieren von Modellen deutlich wird, wie bestimmte Trainingsdaten Ergebnisse beeinflussen können, lässt sich in einem letzten Schritt auch noch tiefer in das System blicken, indem Algorithmen (insbesondere des maschinellen Lernens) *selbst implementiert* werden, um so einen Blick auf die innere Funktionsweise zu ermöglichen. Dazu können etwa Jupyter-Notebooks [41], aber auch visuelle Werkzeuge wie Snap! [42, 43] verwendet werden.

Die Betrachtung der Funktionsweise ist notwendige Voraussetzung, um anschließend auch eine gesellschaftlich-kulturelle Perspektive einzunehmen, da eine Diskussion anderweitig sehr oberflächlich bleiben würde. Entsprechend kann eine angemessene Thematisierung aller Perspektiven (anwendungsorientierte, technologische und gesellschaftlich-kulturelle) auf Bildung in einer digital vernetzen Welt nur durch angemessen vorbereitete Lehrkräfte erfolgen. Dabei kann gerade das Aufgreifen gesellschaftlich-kultureller Fragestellungen eine Herausforderung für Informatiklehrkräfte darstellen, die es in Fortbildungen entsprechend zu berücksichtigen gilt.

KI-Grundbildung in der beruflichen Bildung

All die Überlegungen, die das Lernen über Künstliche Intelligenz an allgemeinbildenden Schulen betreffen, gelten in ähnlicher Weise auch für die berufliche Bildung, denn nicht nur Fachkräfte aus IT- und IT-nahen Berufen benötigen KI-bezogene Kompetenzen. Vielmehr werden über alle Berufsgruppen hinweg zunehmend Werkzeuge basierend auf Methoden der Künstlichen Intelligenz wie z. B. Large Language Models (LLM) und Chatbots, eingesetzt [2]. Eine reflektierte Nutzung in beruflichen Handlungssituationen ist aufgrund fehlender Kompetenzen und Erfahrungen der Fachkräfte in diesem Bereich nur schwer möglich. Fachkräfte erlernen überwiegend on-the-job, wie KI-Werkzeuge ihre eigenen Arbeitsprozesse – und ebenso die ihrer Kunden – unterstützen oder diese gar substituieren können. Die zugrunde liegenden Funktionsprinzipien bleiben dabei in der Regel jedoch in einer Blackbox verborgen, sodass die Möglichkeiten und Grenzen von KI-Systemen für Fachkräfte nur schwer einzuschätzen sind.

Dieses Unwissen kann im Ernstfall zu funktionellen (Fehl-)Entscheidungen aufgrund einer probabilistischen Aussage oder zu Ethik- und Rechtsverstößen führen und sollte daher in der Zukunft bei aktuell und zukünftig in Ausbildung befindlichen Fachkräften adressiert werden. Zumindest in den IT- und IT-nahen Berufen wurde der Erwerb von KI-bezogenen Kompetenzen – auch zur Gestaltung von KI-Systemen – bereits in die Curricula aufgenommen. In den Lernfeldern[1] sind KI-bezogene Kompetenzen jedoch unterschiedlich verortet. Welche Kompetenzen alle Auszubildenden konkret erwerben sollen, unterscheidet sich daher von Berufsbild zu Berufsbild und kann hier bestenfalls exemplarisch betrachtet werden.

Der Kernlehrplan des IT-Berufs Fachinformatiker/-in mit Fachrichtung digitale Vernetzung beispielsweise besitzt seit der Novelle 2019 explizite KI-bezogene Kompetenzen wie:

> „[…] Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch, Maschine und Künstlicher Intelligenz. Sie **wählen** eine Umsetzungsvariante […] Die Schülerinnen und Schüler realisieren die Interaktion zwischen Mensch, Maschine und Künstlicher Intelligenz in dem cyber-physischen System. Die Schülerinnen und Schüler **reflektieren** die Interaktion zwischen Mensch, Maschine und Künstlicher Intelligenz und diskutieren auch ethisch-moralische Aspekte des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz […]“. [44, S. 30, Hervorhebungen im Original].

Im IT-Beruf IT-Systemelektroniker/-in und den Fachrichtungen des/der Fachinformatiker/-in Systemintegration, Anwendungsentwicklung sowie Daten- und Prozessanalyse werden hingegen keine expliziten KI-bezogenen Kompetenzen in Lernfeldern aufgeführt. Lediglich die Präambel beschreibt die Erwartung:

> „Bei der fortschreitenden digitalen Vernetzung, dem Aufbau und der Entwicklung von cyber-physischen Systemen und der Implementierung vom maschinellem Lernen und Künstlicher Intelligenz in Anwendungen und Systemen arbeiten [die] beiden Berufe, sowie die Fachrichtungen eng verzahnt miteinander und mit den kaufmännischen IT-Berufen zusammen“ [44, S. 7].

[1] Die Curricula im schulischen Teil der dualen Ausbildung bestehen nicht aus einzelnen Fächern, sondern aus sog. Lernfeldern, die jeweils einen beruflichen Handlungsprozess und die dafür zu erwerbenden Kompetenzen umfassen. Der betriebliche Teil der Ausbildung basiert auf der Ausbildungsordnung und dem Ausbildungsrahmenplan, die hier jedoch nicht betrachtet werden.

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

Dieses Defizit besteht auch in den Lehrplänen der weiteren Berufsgruppen der dualen Ausbildung. Für die curriculare Ausgestaltung und den konkreten Unterricht bleibt Berufsschullehrkräften lediglich die Integration über den begrifflich weit gefassten Bereich der „digitalisierten Arbeitswelt" als Standardberufsbildposition. Klar ist, dort kann Künstliche Intelligenz in der Regel nur als Werkzeug, aber nicht ganzheitlich betrachtet werden. Es wird also zumeist nicht die gesellschaftlich-kulturelle oder technologische Perspektive eingenommen, sondern lediglich eine berufsbezogene, produktspezifische und damit anwendungsorientierte Sicht forciert [45].

Zudem ist die Heterogenität der Lernenden in den verschiedenen Bildungsgängen in vielen Bereichen sehr groß und die Auszubildenden besitzen sehr unterschiedliche Bildungsbiografien. Aus diesem Grund kann nicht davon ausgegangen werden, im Unterricht auf ein in Ansätzen ähnliches Vorwissen zurückgreifen zu können. Daher ist es für alle Ausbildungsberufe und Bildungsgänge an beruflichen Schulen wichtig, neben der anwendungsorientierten Sicht auch die gesellschaftlich-kulturelle und technologische Perspektive zu betrachten, um auf diese Weise langfristig anwendbare Kompetenzen in den Mittelpunkt des Unterrichts zu stellen und diese auch curricular zu verankern.

Geht man von einer wesentlichen Veränderung beruflicher Arbeit durch den Einsatz von Informatiksystemen mit KI-Anteilen aus und betrachtet man Künstliche Intelligenz als fundamentales Konzept der Informatik, so ist eine Verortung einer KI-Grundbildung, die eben jene Perspektiven gleichberechtigt aufgreift, auch in der beruflichen Bildung an Berufsschulen obligatorisch. Auch wenn sich dieses Vorgehen von der sonst in der beruflichen Bildung verbreiteten Praxis unterscheidet, konkrete Anwendungsprodukte im Unterricht zu nutzen, sollte ein Fokus auf konkrete Werkzeuge aufgrund der hohen Volatilität des Bereichs vermieden werden.

Für die IT-Berufe, die als aktive Mitgestalter von KI-Systemen gesehen werden, existiert aber eine über die oben beschriebene Grundbildung hinausgehende Kompetenzerwartung. Generative Künstliche Intelligenz wird von Auszubildenden gewerblich-technischer Berufe bereits aktiv in der Programmierung eingesetzt. Sie unterstützt Entwickler*innen bei der Programmierung, indem kontextbezogene Codevorschläge genutzt und so bereits ganze Funktionen und Tests generiert werden [46]. Perspektivisch müssen Auszubildende daher lernen, wie sie solche Werkzeuge, die bereits als kommerzielle Tools wie GitHub Copilot oder ChatGPT verfügbar sind, wirkungsvoll und rechtssicher in ihren Entwicklungsworkflow integrieren und deren Vorteile bei der Codegenerierung und Fehlerbehebung nutzen – sozusagen Pair Programming mit der Künstlichen Intelligenz.

Im Kontext dieser Diskussion stellt sich für Auszubildende in IT-Berufen die Frage, inwieweit in Zeiten von Generativer Künstlicher Intelligenz weiterhin Programmierkenntnisse erworben werden sollten. In einer Analyse kommen u. a. Seufert & Sirgi jedoch zu dem Schluss, dass „Berufslernende […] bereits heute an Prompting Skills (im Sinne von low coding) heranzuführen [sind], um diese auf künftige neue Zusammenarbeitsformen mit KI-Systemen vorzubereiten" [47, S. 21]. Die von den Modellen produzierten Ergebnisse benötigen eine Überprüfung, wofür Fachkenntnisse unerlässlich sind. In der Zukunft könnte der Bedarf an Fachleuten sogar steigen, da durch die Modelle potenziell mehr Code generiert wird, der einer Revision bedarf. Fakt ist, die Rolle der Entwickler*innen wird sich wandeln, weg von monotonen Implementierungsaufgaben (Codieren) hin zu mehr Analyse und Kreativität (Design). Auf all das muss die berufliche IT-Ausbildung die zukünftigen Fachkräfte vorbereiten, um sie auch in Zukunft wettbewerbsfähig zu halten.

Wie schon zu Beginn dieses Abschnitts angedeutet, betrifft die Notwendigkeit, zunächst eine fundierte KI-Grundbildung sowie gegebenenfalls erweiterte KI-bezogene Kompetenzen zu erwerben, nicht nur die Auszubildenden, sondern auch die sich im Beruf befindlichen Fachkräfte. Daher existiert neben dem skizzierten Bedarf an einer beruflichen KI-Grundbildung ein enormer Bedarf an KI-bezogenen Fort- und Weiterbildungen. Diese sind parallel zur beruflichen Erstausbildung zu etablieren. So werden beispielsweise im Rahmen des KI B^3-Projektes [48] Zusatzqualifikationen für Auszubildende aller Fachrichtungen sowie bereits ausgebildeten Fachkräften branchenunabhängig entwickelt und erprobt, einer von vielen wichtigen Schritten hin zu einem umfassenden Kompetenzaufbau bei den vielfältig ausgebildeten Fachkräften.

Konsequenzen für die Lehrkräftebildung aller Fächer und Schulformen

Um die beschriebenen Anforderungen für Schule und Unterricht sowohl im allgemeinbildenden wie im berufsbildenden Bereich zu erfüllen, bedarf es entsprechend gut ausgebildeter Lehrkräfte. Der Informatikunterricht ist dabei zentraler Ort für das Lernen *über* Künstliche Intelligenz. Allerdings fehlt es *Informatiklehrkräften* aktuell hierzu typischerweise sowohl an fachlichen sowie unterrichtspraktischen Grundlagen, da Künstliche Intelligenz bisher kein üblicher Gegenstand des Lehramtsstudiums Informatik ist. Neben der Integration in das Hochschulstudium sind also auch umfangreiche Anstrengungen zur Fortbildung von Informatiklehrkräften notwendig (z. B. [49]).

Genauso sind aber *Lehrkräfte aller Fächer* in zweierlei Hinsicht gefordert: Zum einen bedingen digitalisierungsbezogene Entwicklungen wie Künstliche Intelligenz Veränderungen in den Inhalten, Methoden und Werkzeugen der

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

jeweils zugrunde liegenden Bezugswissenschaften [50]. Für den jeweiligen Fachunterricht ist eine entsprechende Qualifizierung über ausgewählte Grundlagen nötig – egal, ob es sich um die die Auswertung von digital erfassten Messwerten mittels Methoden des maschinellen Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht handelt, die Analyse von digitalen Geschäftsmodellen im Fachunterricht kaufmännischer Berufe oder ob die Rolle von Algorithmen und Künstlicher Intelligenz in der politischen Bildung, im Ethik- oder Religionsunterricht diskutiert werden sollen. Umsetzungskonzepte hierfür sollten von den jeweiligen Fachdidaktiken und lehrkräftebildenden Institutionen bestenfalls in Zusammenarbeit mit der Informatikdidaktik entwickelt und sowohl in der universitären Aus- als auch beruflichen Weiterbildung eingesetzt werden. Andererseits ergeben sich insbesondere durch die aktuellen Entwicklungen und Potenziale im Bereich des Lernens *mit* Künstlicher Intelligenz neue Anforderungen [51]: Auch das Lehren und Lernen *mit* Künstlicher Intelligenz setzt ein Grundverständnis ihrer Funktionsweise, Potenziale und Grenzen voraus, um einen pädagogisch und didaktischen zielführenden Einsatz zu ermöglichen – von LLMs wie ChatGPT bis hin zu Tools im Bereich der Learning Analytics. Künstliche Intelligenz stellt somit einen notwendigen Teilaspekt von informatischen Grundlagen in der allgemeinen Lehrkräftebildung dar [52], der sowohl im Lehramtsstudium verpflichtend verankert [53] als auch im Rahmen von Fort- und Weiterbildungen seinen Weg in die Schulpraxis finden muss [54]. Dies alles heißt jedoch nicht, die komplette Lehrkräftebildung auf den Kopf zu stellen, sondern diese durch sinnvolle Angebote zu ergänzen.

Fazit & Ausblick

Künstliche Intelligenz ist Teil menschlichen Lebens geworden. Von Ideen aus einem klassischen Teilgebiet der Informatik in den Tiefen des 20. Jahrhunderts ausgehend lässt sich durch entsprechende hardwarebezogene Leistungssteigerung von Informatiksystemen inzwischen so Vieles auf der Softwareseite umsetzen, dass zahllose bereits Alltag gewordene Anwendungen um KI-Methoden erweitert wurden. Aus diesen Überlegungen erwächst einerseits der Anspruch an die Informatikdidaktik, Konzepte für den fachlichen Aufschluss von und die didaktische Gestaltung des Teilgebietes Künstliche Intelligenz in informatischen Bildungsprozessen zu entwickeln. Hierbei müssen sowohl der allgemeinbildende Schulunterricht, die Berufsbildung, Studiengänge an Hochschulen als auch Fort- und Weiterbildungen adressiert werden. Anderseits steht die Informatikdidaktik gemeinsam mit allen weiteren Fachdidaktiken und den Bildungswissenschaften in der Verantwortung, einen wissenschaftlich fundierten, interdisziplinären Diskurs zur fachindividuellen Bedeutung Künstlicher Intelligenz zu führen.

Der zentrale Ort in der Allgemeinbildung für das Lernen über Künstliche Intelligenz ist das Schulfach Informatik, welches bundesweit sukzessive mit verpflichtenden Stundenanteilen in der Sekundarstufe I implementiert wird, nachdem einige Bundesländern lange Zeit allein vorangeschritten sind (Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen). Der von der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) getragene Informatikmonitor leistet hier einen Beitrag zur Transparenz für alle Beteiligten [55]. Die Empfehlungen der GI für Bildungsstandards in der Sekundarstufe I in Informatik werden aktuell – unter anderem hinsichtlich der Berücksichtigung von Künstlicher Intelligenz – überarbeitet [31]. Gleichzeitig wird das Lernen mit Künstlicher Intelligenz zunehmend stärker an alle Schulfächer herangetragen. Dies kann ohne eine entsprechende Vorbereitung der Lehrkräfte in Form informatischer Bildung nicht gelingen.

In der beruflichen Bildung sowie in Studiengängen an Hochschulen wird zunehmend die Frage relevant, mit welchen Voraussetzungen in Form KI-bezogener Kompetenzen die Lernenden ihre Ausbildung oder ihr Studium antreten. Sowohl Berufsausbildung als auch Lehramtsstudium müssen Informatiklernangebote schaffen, in denen KI-bezogene Kompetenzen entwickelt werden können. Hierzu bieten die Empfehlungen der GI für Informatikkompetenzen von allen Lehrkräften [52] eine Gestaltungs- und Diskussionsgrundlage für Wissenschaft, Verwaltung und Praxis an.

Im Hintergrund schwingt dabei immer die Diskussion mit, welche „größeren“ Veränderungen die Entwicklungen im Feld der Künstlichen Intelligenz für Bildung und in der Schule zu erwerbende Kompetenzen zur Folge haben könnten oder sollten. Der Diskurs erinnert dabei an die Einführung des Taschenrechners im Mathematikunterricht oder dem Aufkommen von Suchmaschinen zur Informationsrecherche. Eine ausführliche Betrachtung solcher Konsequenzen der Automatisierung zunehmend auch komplexer kognitiver Fähigkeiten durch Informatiksysteme würde an dieser Stelle allerdings den Rahmen des Beitrags sprengen.

Aus den aufgezeigten Bedarfen bezogen auf informatische Bildung – gerade mit Blick auf das Teilgebiet Künstliche Intelligenz – ergeben sich große Herausforderungen für alle Beteiligten. Diesen widmet sich die nationale und internationale informatikdidaktische Forschung seit einigen Jahren und doch steht sie noch in vielerlei Hinsicht am Anfang. Vice versa greift die Forschung im Teilgebiet Künstliche Intelligenz den Diskurs um die Gestaltung von Bildung auf. Daraus ergeben sich immer wieder Gruppierungen von Wissenschaftler*innen unterschiedlicher Forschungsrichtungen mit diversen Hintergründen und Perspektiven, die voneinander lernen und in eine fruchtbare Forschungsdiskussion eintreten. In der GI wurde in diesem Sinne erfolgreich ein

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

Arbeitskreis „Künstliche Intelligenz in der Schule“ initiiert, der einen regen Austausch führt und diesen für zukünftige Forschungsvorhaben auch dokumentiert [56]. Als Erfolg versprechend erweist sich das Zusammenspiel der Perspektiven von Informatiklehrkräften sowie forschenden Personen aus der Informatikdidaktik und der Künstlichen Intelligenz [57]. Davon ausgehend sollte sich die Informatik offen für interdisziplinäre Diskussionsformate zeigen, die an der Schnittstelle von Schulpraxis und Forschung zur Künstlichen Intelligenz in der Bildung beitragen wollen. Die Mitglieder des Arbeitskreises [58] freuen sich in diesem Sinne über den Austausch mit allen Interessierten.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de.

Literatur

1. Jaschke S, Klusch M, Krupka D, Losch D, Michaeli T, Opel S, Schmid U, Schwarz R, Seegerer S, Stechert P (2023) Positionspapier der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI): Künstliche Intelligenz in der Bildung. Gesellschaft für Informatik, Bonn
2. Jacobs S, Jaschke S (2023) Large Language Models in der Berufsausbildung von IT-Fachkräften. INFOS 2023 – Informatikunterricht zwischen Aktualität und Zeitlosigkeit. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S 187–196 https://doi.org/10.18420/INFOS2023-017
3. Broy M, Kuhrmann M (2021) Eigenschaften und Strukturen von Softwaresystemen. In: Einführung in die Softwaretechnik. Springer, Berlin, Heidelberg, S 41–81
4. Rich E (1983) Artificial intelligence. McGraw-Hill
5. Schmid U (2023) Trustworthy artificial intelligence—comprehensible, transparent, correctable. In: Werthner H, Ghezzi C, Kramer J, Nida-Rümelin J, Nuseibeh B, Prem E, Stanger A (Hrsg) Introduction to digital humanism. Springer,
6. Adadi A, Berrada M (2018) Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI). IEEE Access 6:52138–52160
7. Schwalbe G, Finzel B (2023) A comprehensive taxonomy for explainable artificial intelligence: a systematic survey of surveys on methods and concepts. Data Min Knowl Disc: 1–59
8. Bruckert S, Finzel B, Schmid U (2020) The next generation of medical decision support: A roadmap toward transparent expert companions. Front Artif Intell 3:507973
9. Schmid U, Gärtig-Daugs A, Müller L, Werner A (2021) Grundkonzepte des Maschinellen Lernens für die Grundschule–Algorithmen, Biases, Generalisierungsfehler
10. DeVries T, Taylor GW (2018) Learning confidence for out-of-distribution detection in neural networks (arXiv preprint arXiv:1802.04865)
11. INFORMATIK 2021. Plattform Lernende Systeme (2023) Hybride KI – Wissen und Daten kombiniert nutzen. https://t1p.de/g93kh. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
12. Schmid U (2024) Trustworthy artificial intelligence—Comprehensible, transparent, correctable. In: Werthner H, Ghezzi C, Kramer J, Nida-Rümelin J, Nuseibeh B, Prem E, Stanger A (Hrsg) Introduction to digital humanism. Springer,
13. Michie D (1963) Experiments on the mechanization of game-learning Part I. Characterization of the model and its parameters. Comput J 6(3):232–236
14. Weizenbaum J (1966) ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. Commun ACM 9(1):36–45
15. Paaß G, Giesselbach S (2023) Foundation models for natural language processing—pre-trained language models integrating media. Artificial intelligence: foundations, theory, and algorithms. Springer
16. Langer J, Schmid U (2024) Generative KI. In: Furbach U, Kitzelmann E, Michaeli T, Schmid U (Hrsg) Künstliche Intelligenz für Lehrkräfte. Eine fachliche Einführung mit didaktischen Hinweisen. Springer, Heidelberg, S 96–104
17. Bender EM, Gebru T, McMillan-Major A, Shmitchell S (2021) On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In: Proceedings of the 2021 ACM conference on fairness, accountability, and transparency, S 610–623
18. Gesellschaft für Informatik e. V. (2016) Dagstuhl-Erklärung: Bildung In der digital vernetzten Welt. https://t1p.de/m31w. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
19. Schwill A (1993) Fundamentale ideen der informatik. Zentralblatt Didaktik Math 25(1):20–31
20. Hartmann W, Näf M, Reichert R (2007) Informatikunterricht planen und durchführen. Springer, Berlin, Heidelberg
21. Döbeli Honegger B (2023) ChatGPT – der iPhone-Moment des maschinellen Lernens? In: info 7. Das Magazin für Medien, Archive und Information, Bd. 1/2023
22. Seegerer S, Michaeli T, Romeike R (2020) So lernen Maschinen! LOG IN 40(1):27–31
23. Bell T, Tymann P, Yehudai A (2018) The big ideas in computer science for K-12 curricula. Bulletin of EATCS, Bd. 1(124)
24. Denning PJ (2003) Great principles of computing. Commun ACM 46(11):15–20
25. Grillenberger A, Romeike R (2017) Key concepts of data management: an empirical approach. In: Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research. ACM, New York, S 30–39
26. Michaeli T, Seegerer S, Romeike R (2021) Quanteninformatik als Thema und Aufgabengebiet informatischer Bildung. In: INFOS 2021 – 19. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S 123–132 https://doi.org/10.18420/infos2021_f206
27. Long D, Magerko B (2020) What is AI literacy? Competencies and design considerations. In: Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems, S 1–16
28. Touretzky D, Gardner-McCune C, Seehorn D (2023) Machine learning and the five big ideas in AI. Int J Artif Intell Educ 33(2):233–266
29. Michaeli T (2023) Die Henne und das Ei – Absolvent:innen im Lehramt Informatik 20 Jahre nach Einführung des Schulfaches in Bayern. In: INFOS 2023 – 20. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Gesellschaft für Informatik, Würzburg, S 361–370

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

30. Tedre M, Denning P, Toivonen T (2021) CT 2.0. In: Proceedings of the 21st Koli Calling International Conference on Computing Education Research, S 1–8
31. Hellmig L, Puhlmann H (2023) Bildungsstandards für die Sekundarstufe I. In: INFOS 2023 – Informatikunterricht zwischen Aktualität und Zeitlosigkeit, Würzburg, Rostock. 20.–22. September 2023. Gesellschaft für Informatik e. V, Bonn, S 379–382 https://doi.org/10.18420/infos2023-038
32. Michaeli T, Romeike R, Seegerer S (2022) What students can learn about artificial intelligence—recommendations for K-12 computing education. In: IFIP World Conference on Computers in Education. Springer Nature, Cham, S 196–208
33. Grover S (2024) Teaching AI to K-12 learners: lessons, issues, and guidance. In: roceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE 2024). Association for Computing Machinery, New York
34. Seegerer S, Lindner A, Romeike R (2019) AI Unplugged – Wir ziehen Künstlicher Intelligenz den Stecker. Informatik für alle. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S 325–334 https://doi.org/10.18420/infos2019-c18
35. Opel S, Schlichtig M, Schulte C (2019a) Developing teaching materials on artificial intelligence by using a simulation game (work in progress). In: Proceedings of the 14th workshop in primary and secondary computing education, S 1–2
36. Carney M, Webster B, Alvarado I, Phillips K, Howell N, Griffith J, Chen A (2020) Teachable machine: Approachable Web-based tool for exploring machine learning classification. In: Extended abstracts of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems, S 1–8
37. Lane D (2021) Machine learning for kids: A project-based introduction to artificial intelligence. No Starch Press
38. Druga S (2018) Growing up with AI: Cognimates: from coding to teaching machines (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)
39. Biehler R, Fleischer Y (2021) Introducing students to machine learning with decision trees using CODAP and Jupyter Notebooks. Teach Stat 43:133–142
40. Michaeli T, Seegerer S, Kerber L, Romeike R (2023) Data, trees, and forests—Decision tree learning in K-12 education. In: Proceedings of the 3rd Teaching Machine Learning and Artificial Intelligence Workshop 2022, PMLR, S 1–5
41. Opel S, Schlichtig M, Schulte C, Biehler R, Frischemeier D, Podworny S, Wassong T (2019b) Entwicklung und Reflexion einer Unterrichtssequenz zum Maschinellen Lernen als Aspekt von Data Science in der Sekundarstufe II. Informatik für alle. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S 285–294 https://doi.org/10.18420/infos2019-c14
42. Jatzlau S, Michaeli T, Seegerer S, Romeike R (2019) It's not magic after all—Machine learning in snap! using reinforcement learning. In: 2019 IEEE Blocks and Beyond Workshop (Blocks and Beyond). Memphis, TN, USA. IEEE,
43. Michaeli T, Seegerer S, Jatzlau S, Romeike R (2020) Looking beyond supervised classification and image recognition—Unsupervised learning with snap! In: Girvan C, Byrne JR (Hrsg) Constructionism 2020: exploring, testing and extending our understanding of constructionism conference proceedings. IE, Dublin
44. Kultusministerkonferenz (2019) Rahmenlehrplan für die Ausbildungsberufe Fachinformatiker und Fachinformatikerin IT-System-Elektroniker und IT-System-Elektronikerin
45. Brinda T, Brüggen N, Diethelm I, Knaus T, Kommer S, Kopf C, Missomelius P, Leschke R, Tilemann F, Weich A (2019) Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt. Gesellschaft für Informatik, Bonn
46. Winkler C (2023) Code Llama: Ein Llama lernt programmieren. Heise Developer. https://t1p.de/r6xow. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
47. Seufert S, Sirgi L (2023) Programmieren im Zeitalter der generativen KI: eine transversale Kompetenz in der Berufsbildung? https://t1p.de/yyuws. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
48. Industrie- und Handelskammer Reutlingen (2024) Innovet KI B^3 – Künstliche Intelligenz in die berufliche Bildung bringen. https://www.ki-fortbildung.de/. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
49. Jetzinger F, Baumer S, Michaeli T (2024) Artifical intelligence in compulsory K-12 computer science classrooms: a scalable professional development offer for computer science teachers. In: Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE 2024). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA
50. Seegerer S (2021) Informatik für alle–Beitrag und exemplarische Ausgestaltung informatischer Bildung als Grundlage für Bildung in der digitalen Transformation (Dissertation)
51. Sampson D, Papamitsiou Z, Ifenthaler D, Giannakos M, Mougiakou S, Vinatsella D (2022) The learn2analyse educational data literacy competence profile. In: Educational data literacy. Springer, Cham, S 31–39
52. Gesellschaft für Informatik e. V. (2023) Informatikkompetenzen für alle Lehrkräfte. https://doi.org/10.18420/rec2023_064. Zugegriffen: 23. Mai 2024
53. Köller O, Thiel F, van Ackeren I (2022) Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule. Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichten Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK). https://t1p.de/axv4y. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
54. Cichalla A, Gebhardt L, Michaeli T, Romeike R (2024) Computer science for all: teacher training for in-service teachers. In: Proceedings of IFIP TC3 Open Conference on Computers in Education (OCCE 24). Springer,
55. Gesellschaft für Informatik e. V. (2023) Informatik-Monitor. https://informatik-monitor.de/. Zugegriffen: 15. Jan. 2024
56. Furbach U, Kitzelmann E, Michaeli T, Schmid U (2023) Künstliche Intelligenz für Lehrkräfte (HAT) Eine fachliche Einführung mit didaktischen Hinweisen (UT)
57. Furbach U, Kitzelmann E, Michaeli T, Schmid U (2024) Künstliche Intelligenz für Lehrkräfte. Eine fachliche Einführung mit didaktischen Hinweisen. Springer
58. Gesellschaft für Informatik e. V. (2024) Arbeitskreis „KI in Schulen (KIS)". https://t1p.de/ak-kis. Zugegriffen: 15. Jan. 2024

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

Terms and Conditions

Springer Nature journal content, brought to you courtesy of Springer Nature Customer Service Center GmbH (“Springer Nature”).
Springer Nature supports a reasonable amount of sharing of research papers by authors, subscribers and authorised users (“Users”), for small-scale personal, non-commercial use provided that all copyright, trade and service marks and other proprietary notices are maintained. By accessing, sharing, receiving or otherwise using the Springer Nature journal content you agree to these terms of use (“Terms”). For these purposes, Springer Nature considers academic use (by researchers and students) to be non-commercial.
These Terms are supplementary and will apply in addition to any applicable website terms and conditions, a relevant site licence or a personal subscription. These Terms will prevail over any conflict or ambiguity with regards to the relevant terms, a site licence or a personal subscription (to the extent of the conflict or ambiguity only). For Creative Commons-licensed articles, the terms of the Creative Commons license used will apply.
We collect and use personal data to provide access to the Springer Nature journal content. We may also use these personal data internally within ResearchGate and Springer Nature and as agreed share it, in an anonymised way, for purposes of tracking, analysis and reporting. We will not otherwise disclose your personal data outside the ResearchGate or the Springer Nature group of companies unless we have your permission as detailed in the Privacy Policy.
While Users may use the Springer Nature journal content for small scale, personal non-commercial use, it is important to note that Users may not:

1. use such content for the purpose of providing other users with access on a regular or large scale basis or as a means to circumvent access control;
2. use such content where to do so would be considered a criminal or statutory offence in any jurisdiction, or gives rise to civil liability, or is otherwise unlawful;
3. falsely or misleadingly imply or suggest endorsement, approval , sponsorship, or association unless explicitly agreed to by Springer Nature in writing;
4. use bots or other automated methods to access the content or redirect messages
5. override any security feature or exclusionary protocol; or
6. share the content in order to create substitute for Springer Nature products or services or a systematic database of Springer Nature journal content.

In line with the restriction against commercial use, Springer Nature does not permit the creation of a product or service that creates revenue, royalties, rent or income from our content or its inclusion as part of a paid for service or for other commercial gain. Springer Nature journal content cannot be used for inter-library loans and librarians may not upload Springer Nature journal content on a large scale into their, or any other, institutional repository.
These terms of use are reviewed regularly and may be amended at any time. Springer Nature is not obligated to publish any information or content on this website and may remove it or features or functionality at our sole discretion, at any time with or without notice. Springer Nature may revoke this licence to you at any time and remove access to any copies of the Springer Nature journal content which have been saved.
To the fullest extent permitted by law, Springer Nature makes no warranties, representations or guarantees to Users, either express or implied with respect to the Springer nature journal content and all parties disclaim and waive any implied warranties or warranties imposed by law, including merchantability or fitness for any particular purpose.
Please note that these rights do not automatically extend to content, data or other material published by Springer Nature that may be licensed from third parties.
If you would like to use or distribute our Springer Nature journal content to a wider audience or on a regular basis or in any other manner not expressly permitted by these Terms, please contact Springer Nature at

onlineservice@springernature.com