

AI-PACK – Ein Rahmen für KI-bezogene Digitalkompetenzen von Lehrkräften auf Basis von DPACK

Uwe Lorenz,¹ Ralf Romeike²

Abstract: Die durch die digitale Transformation hervorgerufenen gravierenden Veränderungen wurden für Schule und Lehrerbildung bereits an verschiedenen Stellen aufgegriffen. So wurden u.a. Kompetenzrahmen zur Beschreibung der Anforderungen an Lehrkräfte sowie zur praktischen Orientierung geschaffen, u.a. das „TPACK-“ und das darauf aufbauende „DPACK-Modell“. Die reflektierte Interaktion mit den mittlerweile breit verfügbaren Phänomenen der „KI-Welt“ erfordert allerdings andere Kompetenzen als der Umgang mit herkömmlichen Informatiksystemen, weil „KI-Software“ auf einem anderen Gestaltungsansatz beruht, der dieser Software verschiedene spezielle Eigenschaften verleiht. Dies stellt neue Anforderungen an die Professionalisierung von Lehrkräften aller Fächer, weil die Entwicklung deutliche Auswirkungen auf die zentralen Handlungsfelder hat. Ziel dieses Beitrages ist es, einen Rahmen zu definieren, der diese neuen KI-bezogenen Anforderungen umreißt. Die vorliegende Arbeit nähert sich dem Thema theoretisch: Zunächst wird die Notwendigkeit der Abgrenzung eines Bereichs der „KI-bezogenen Digitalitätskompetenz“ im DPACK-Modell begründet. Da Lehrkräfte bei ihrer Tätigkeit pädagogische, fachliche und digitalisierungsbezogene Kompetenzen kombinieren, bestimmen wir deduktiv die Bereiche der „KI-bezogenen pädagogischen Kompetenz“ (AI-PK), der „KI-bezogenen fachinhaltlichen Kompetenz“ (AI-CK) und der „KI-bezogenen pädagogischen Inhaltskompetenz“ (AI-PCK) und illustrieren sie mit beispielhaften Kompetenzzielen. Mit dem „AI-PACK“-Rahmen wird eine strukturierte Darstellung und Beforschung der Anforderungen an KI-Bildung für Lehrkräfte ermöglicht.

Keywords: TPACK; DPACK; AI-PACK; Künstliche Intelligenz; Kompetenzmodell; Lehrkräfteprofessionalisierung

1 Einleitung

Die dynamische Entwicklung der digitalen Transformation hält weiterhin ungebrochen an [St22]. Die durch die digitale Informations- und Kommunikationstechnologie hervorgerufenen Veränderungen beeinflussen in allen Lebensbereichen, wie wir kommunizieren, arbeiten oder Informationen sammeln [Ar21] [Se21]. Eine neue Stufe der Entwicklung wird durch die Technologien der „Künstlichen Intelligenz“ (KI) erreicht. Jedoch erfordert die reflektierte Interaktion mit den nun breit verfügbaren Phänomenen der „KI-Welt“, bspw. die Nutzung und das Training von Klassifikations- und Vorhersagemodellen, die Nutzung von künstlichen Assistenten mit natürlicher Sprachverarbeitung oder generativen Systemen, die vielfältige Medien- und Softwareprodukte manipulieren und erzeugen können, besondere Kompetenzen. Aufgrund der gegebenen technischen Voraussetzungen ist eine rasch

¹ Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 24-26, 14195 Berlin, uwe.lorenz@fu-berlin.de

² Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 24-26, 14195 Berlin, ralf.romeike@fu-berlin.de

zunehmende Verbreitung dieser Technologien zu beobachten. Dies stellt erneut erhebliche Anforderungen an die Professionalisierung von Lehrerinnen und Lehrern aller Fächer. Zum einen sind übergreifende Handlungsfelder betroffen - Medienerziehung, Beratungs- und Beurteilungsaufgaben verändern oder erübrigen sich - zum anderen ergeben sich für das fachliche Unterrichten vielfältige neue Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen im Hinblick auf Formen, Inhalte und Methoden.

Mit Blick auf die fächerübergreifende Querschnittsaufgabe, das Konzipieren von ganzheitlichen Bildungs- und Studienangeboten zum Unterrichten in der digital vernetzten „KI-Welt“ zu unterstützen, ergeben sich folgende Fragen: 1. Worin bestehen Besonderheiten bei KI-Systemen gegenüber den herkömmlichen Informatiksystemen, wie sie im Zusammenhang mit der Digitalisierung bislang hauptsächlich diskutiert worden sind? 2. Was umfasst der KI-bezogene Kompetenzbereich für Lehrkräfte? Da Lehrkräfte in ihrer Tätigkeit pädagogische, fachliche und digitalisierungsbezogene Kompetenzen miteinander verbinden, reichen hier allgemeine „KI-Kompetenzen“ nicht aus. Im Anschluss an den Abschnitt 3, in dem u.a. auf die Besonderheiten von KI-Systemen eingegangen wird, werden daher im Abschnitt 4 auf der Basis des DPACK-Modells diese lehrbezogenen KI-Kompetenzbereiche deduktiv charakterisiert und jeweils mit einigen Beispielen illustriert.

2 Forschungsstand

Angesichts der durch die digitale Transformation hervorgerufenen gravierenden Veränderungen für Schule und Lehrerbildung wurden Kompetenzrahmen zur strukturierten Beschreibung und Beforschung von Anforderungen bereits geschaffen (vgl. [FR22]), wie das „TPACK“ [KM09], das darauf aufbauende „DPACK“ [Dö18] oder z.B. auch der Kompetenzrahmen „DigCompEdu“ [Co17]. DigCompEdu baut auf einer älteren Version 2.0 (2016) des EU-Digitalkompetenzrahmens DigComp auf. Dieser steht nicht im Kontext der Lehrerbildung, sondern beschreibt Kompetenzen, die Bürger für das Leben in einer „digitalen Welt“ benötigen. Die neuere Version „DigComp 2.2“ [Co22] enthält bereits ein KI-bezogenes Update. TPACK ist ein weitgehend akzeptiertes Modell. Es wird auch im Gutachten der SWK [St22] zur Digitalisierung im Bildungssystem angewendet. Nach Maßgabe der Dagstuhl-Erklärung [Br16] sollte Bildung in Bezug auf technologie-bezogene Phänomene der digital vernetzten Welt nicht nur anwendungsbezogene sondern auch technologische und gesellschaftlich-kulturelle Perspektiven berücksichtigen und diese gleichberechtigt in den Blick nehmen, dargestellt als drei Seiten des sog. „Dagstuhl-Dreiecks“, was bei DPACK explizit berücksichtigt wird. Eine von Frederking vorgeschlagene Weiterentwicklung von DPACK, das Modell „SEPACK.digital“ [FR22], betont Wissen über allgemeine Bildung, sieht den Technik bzw. Technologiebegriff mit seiner inhärenten Werkzeugmetaphorik hierbei allerdings nicht an einer zentralen Stelle. DPACK passt mit seinem Fokus auf Digitalitätskompetenz und seinem informatikdidaktischen Hintergrund in der ursprünglichen Form besser zu der von uns adressierten fächerübergreifenden Querschnittsaufgabe, die Konzeption ganzheitlicher Bildungs- und Studienangebote zum Unterrichten in der digital

vernetzten KI-Welt zu unterstützen, die neben gesellschaftlich-kulturellen und anwendungsbezogenen Perspektiven auch die technologischen Grundlagen, die jede Lehrkraft verstehen sollte, einbeziehen. Ein Überblick zu Kompetenzmodellen im Kontext der Digitalisierung wird u.a. in [Se21] gegeben.

Der derzeitige Stand der internationalen wissenschaftlichen Literatur, in der „DPACK“ oder „TPACK“ im Zusammenhang mit „KI“ verwendet wird, beschränkt sich auf wenige Arbeiten, die das wesentlich ältere und international weiter verbreitete TPACK verwenden, um Lehr- und Lernangebote über KI zu beschreiben und zu untersuchen: Kim et al. [Ki21] analysieren und vergleichen mit Hilfe von TPACK internationale KI-Curricula, um die Grundlagen des Unterrichts der Thematik KI zu identifizieren. Druga et al. [DOK22] verwenden den TPACK-Rahmen, um bestehende Online-Ressourcen für die KI-Ausbildung zu analysieren und [Su22] zeigen empirisch auf, wie eine Fortbildung für Informatik-Lehrkräfte auf Grundlage des TPACK die Kompetenz verbessert, KI zu unterrichten. Celik [Ce23] leitet ein KI-Kompetenzmodell von TPACK ab, welches auch eine ethische Komponente enthält. Er hat allerdings hauptsächlich eine spezifische Teilgruppe von KI-Systemen im Blick, denn er fokussiert stark auf einen Bereich, der auf die Anwendungskompetenz von KI-basierten Selbstlernertools - d.h. Tools, die individuelles, adaptives Feedback in Echtzeit geben mit Möglichkeiten der Analyse von Lernfortschritten durch die Lehrkraft usw. - abzielt. Das Feld der Anwendungsmöglichkeiten von KI-Software ist allerdings wesentlich größer, wie z.B. in [Sc21] aufgezeigt wird. Auch wird im DPACK-Modell „Digitalitätskompetenz“ deutlich ganzheitlicher aufgefasst (vgl. Abschnitt 3.1). Wissenschaftliche Beiträge, die, wie der vorliegende, darauf abzielen, erforderliche KI-bezogene Kompetenzen für Lehrkräfte ganzheitlich unter Berücksichtigung der Dagstuhlperspektiven zu bestimmen, gibt es offenbar bislang nicht.

Zudem besteht keine Einigkeit im Hinblick auf eine Definition derjenigen informatischen Systeme, die die angesprochenen KI-Phänomene hervorbringen (vgl. Abschnitt 3.2). Für einen Überblick hierzu bietet der „AI Watch“-Report der europäischen Kommission [Sa21] eine aufschlussreiche Quelle. Hier werden im Kontext einer möglichen politischen und juristischen Bewertung 64 KI-Definitionen und Bestimmungen aus Politik, Wirtschaft und Forschung zusammengetragen und ausgewertet. Weitere aktuelle Beiträge, die grundlegende Eigenschaften von KI beschreiben, den Stand der Diskussion hinsichtlich gesellschaftlicher, kultureller oder ethischer Herausforderungen wiedergeben und neue Anwendungsmöglichkeiten im Bildungsbereich darstellen, liefern u.a. [HT22], [Ma22] und [Sc21] (Abschnitt 3.3). Ein Kompetenzrahmen mit informatikdidaktischem Hintergrund für die K-12 Bildung aus dem mögliche und notwendige KI-Kompetenzen gewonnen werden können, wurde mit [MRS22] vorgestellt. [TDT21] diskutiert aus informatikdidaktischer Perspektive einige grundlegende Verschiebungen hinsichtlich eines „AI-Thinking“ bzw. „Computational Thinking 2.0“ im Vergleich zum bisher diskutierten „Computational Thinking“, die insbesondere im Zusammenhang mit den Systemen des „Maschinellen Lernens“ gesehen werden. Zur Begründung unseres Rahmen wird in Abschnitt 3.2 eine Bestimmung, die wir als geeignet ansehen, angegeben und zur Diskussion gestellt.

3 Theoretischer Hintergrund

In diesem Abschnitt wird zunächst kurz die Struktur und der Hintergrund von TPACK und DPACK dargestellt. Anschließend wird die Notwendigkeit begründet, innerhalb des Bereichs „Digitalitätskompetenz“ (DK) den Bereich „AI-K“ der KI-bezogenen Kompetenzen (das „D“ von DK wurde hier durch „AI“ ersetzt) gesondert zu betrachten, indem auf die besonderen Eigenschaften von KI eingegangen und aufgezeigt wird, dass hier Probleme und Anforderungen zu berücksichtigen sind, die bei herkömmlichen Informatiksystemen nicht auftreten.

3.1 Die Modelle TPACK und DPACK

Im TPACK-Kompetenzrahmen werden drei von Shulman [Sh86] eingeführte Bereiche des Lehrer-Professionswissens, „general pedagogical knowledge“ (PK), „subject-matter content knowledge“ (CK) sowie „pedagogical content knowledge“ (PCK) (von [BK06] ins Deutsche übersetzt mit „allgemeines pädagogisches Wissen“, „Fachwissen“ und „fachdidaktisches Wissen“) durch einen Bereich des „Technological Knowledge“ (TK) ergänzt [KM09].

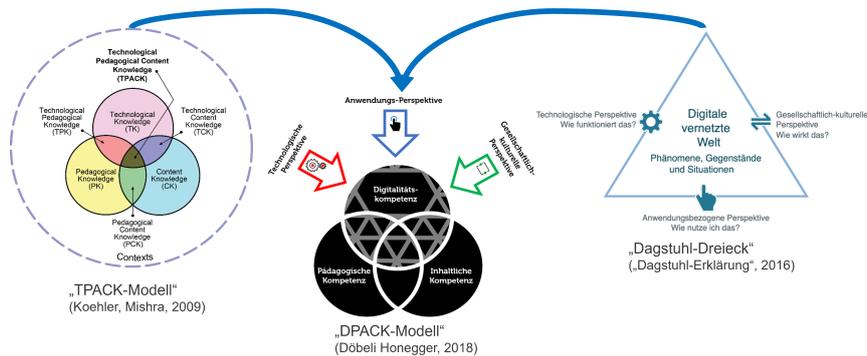


Abb. 1: TPACK und „Dagstuhl-Dreieck“ werden in DPACK kombiniert.

Die Ersetzung des „T“ durch ein „D“ bei „DPACK“ [Dö21] soll unterstreichen, dass im TK-Bereich nicht nur technisches Anwendungswissen, sondern eine „Digitalitätskompetenz“ berücksichtigt wird, welche durch die drei Perspektiven des Dagstuhl-Dreiecks geprägt ist. Mit der Verwendung des Kompetenzbegriffs soll zudem abgebildet werden, dass die Anforderungen an Lehrkräfte nicht nur in der Ebene des „Wissens“ liegen [Dö18]. Digitalitätskompetenz beschreibt somit die notwendige Kompetenz, um Phänomene in einer Kultur der Digitalität erkennen, beschreiben, reflektieren und gestalten zu können. Ginge es allein darum, Digitalitätskompetenz im Zusammenhang mit Phänomenen der „digitalen vernetzten Welt“ zu diskutieren und zu erklären, wäre es ausreichend, das Dagstuhl-Modell wie in [MRS22] anzuwenden. Digitalitätskompetenz von Lehrkräften muss aber zusätzlich im Zusammenspiel mit ihren inhaltlichen (d.h. fachlichen) und pädagogischen Kompetenzen diskutiert werden (vgl. [Dö18] Bereich D).

3.2 KI-Systeme als besondere Informatiksysteme

Der AI-PACK Kompetenzrahmen bezieht sich auf einen Teilbereich informatischer Phänomene. Um diesen Bereich zu definieren, wird eine geeignete Bestimmung derjenigen informatischen Systeme benötigt, die diese Phänomene hervorbringen. Hierbei treten im Zusammenhang mit KI zunächst einige Schwierigkeiten auf: KI-Definitionen beziehen sich gewöhnlich auf spezifische Fähigkeiten, meist im Zusammenhang mit der Simulation (menschlicher) kognitiver Leistungen [Sa21]. Sie sind demzufolge oft nicht eindeutig oder beschreiben ein „sich bewegendes Ziel“, wie in „Tesler’s Theorem“ („AI is whatever hasn’t been done yet.“) oder erzeugen nicht erwünschte anthropomorphistische Assoziationen [Dö23]. Außerdem können auch herkömmliche Aufgaben, wie mathematische Berechnungen, durch Produkte von KI-Techniken, wie Maschinellern, bearbeitet werden. Definitionen einer technischen Perspektive („Wie funktioniert es?“, „Wie wurde es hergestellt?“) listen bestimmte Techniken und Ansätze auf, mit denen entsprechende Software entwickelt wurde, wie z.B. die „AI-Act“ Definition der Europäischen Kommission [Sa21]. Hierdurch ergeben sich zwar eindeutigere Bestimmungen, allerdings muss eine solche Liste permanent aktualisiert werden, insbesondere, wenn sie sehr detailliert gestaltet ist und nicht auf grundlegende Prinzipien rekurriert.

Bei informatischen Phänomenen handelt es sich um Ereignisse, die durch automatisierte Informationsverarbeitung verursacht werden [DD11]. Daher stellt sich die Frage: Wodurch ist die automatisierte Informationsverarbeitung bei KI-Systemen speziell gekennzeichnet? Die Darstellung eines informatischen Gestaltungsansatzes bei KI ergibt sich durch die Betrachtung der üblichen Aufteilung des Feldes in 1. „Wissensbasierte KI“, mitunter auch „klassische“, „symbolische“ oder „regelbasierte KI“ genannt (GOFAI, engl. für „good old-fashioned AI“) und 2. „Maschinelles Lernen“ (ML) [HT22, MRS22]. Bei GOFAI-Systemen wird eine „Wissensbasis“ mit Hilfe geeigneter strukturierter und aufbereiteter Daten aufgebaut, die Inhalte repräsentieren („Fakten“), welche die Grundlage für eine heuristische und regelbasierte Suche nach genau spezifizierten Lösungen bildet. ML-Systeme folgen einem anderen Paradigma, indem zunächst nicht nach Lösungen, sondern im Raum möglicher Funktionen [Ka17] gesucht wird. Die Funktionen werden bei ML durch eine iterative, datengetriebene Optimierung („Trainingsprozess“) gefunden, i.d.R. mit Hilfe von Beispielen und einem komplexen Näherungsverfahren, das eine Zielfunktion enthält [HT22]. Eine damit aufgefundene Funktion wird schließlich im Anwendungskontext zur Berechnung verwertbarer Lösungen eingesetzt. Dass die entstandene Software nachvollziehbaren Regeln folgt, ist dabei keine Voraussetzung. Es erfolgen zur Überprüfung nur statistische Tests. Dieses grundlegende Prinzip lässt sich in den verschiedenen Varianten des ML wiederfinden [Ju22]. ML-Software nennen wir hier Software, die eine solche Optimierung durchführt sowie Software, die Produkt eines solchen Prozesses ist.

Zusammenfassend folgen wir hier also einer Sichtweise, wonach in KI-Systemen ein alternatives Problemlösungsparadigma zur Anwendung kommt, bei dem der Informationsverarbeitungsprozess, der die gewünschten Ausgaben erzeugen soll, nicht beschrieben

werden muss. Historisch zentrale Ansätze sind dabei: erstens die Suche nach Antworten in einer Wissensbasis mittels allgemeiner Inferenzregeln (GOFAI) und zweitens die datengetriebene Anpassung eines Systemverhaltens in Verbindung mit einer bewertenden Zielfunktion (ML). Der Ansatz, die Beschreibung von Problemen jedoch nicht den Lösungsweg in den Vordergrund zu stellen, insbesondere bei GOFAI hat Parallelen zum Paradigma deklarativer Programmierung. Dabei wird jedoch nur in einigen Fällen das Auffinden eines Lösungsweges weitgehend dem Rechner überlassen, wie z.B. bei PROLOG, wo die eingegebene Datenbasis, die auch Inferenzregeln beinhaltet, die Grundlage für eine regelbasierte (Tiefen-)Suche nach korrekten Antworten auf Anfragen bildet. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass KI-Systeme modular aufgebaut sein können und Funktionen kombinieren, die ggf. mit unterschiedlichen Ansätzen erzeugt wurden. Hiermit erreichen wir eine relativ stabile Grundlage für eine zweckmäßige Eingrenzung des Bereichs in unserem Kontext. Darüber hinaus liefert sie klarere Ansatzpunkte für Erklärungen des Phänomenbereichs aus informatischer Sicht.

3.3 Kompetenzanforderungen beim Umgang mit KI-Systemen

Aus **anwendungsbezogener Perspektive (A)** erscheinen moderne KI-Systeme zunächst oft vertraut und einfach und können auch unreflektiert genutzt werden. Das Wort „googeln“ bezeichnet das Anfragen eines bekannten wissensbasierten KI-Systems und ist bereits in den allgemeinen Sprachgebrauch übergegangen. So findet es sich seit 2004 im Duden. Durch ML generierte Software können Computer nun z.B. auch „Hören“, „Sehen“ oder natürliche Sprache verarbeiten und z.B. auch Texte übersetzen. Generative Systeme können anhand weniger Stichworte oder sprachlicher Eingaben in Sekunden z.B. wohlformulierte Aufsätze, künstlerisch anmutende Bilder oder Programmcode für diverse Fragestellungen erzeugen. Auch stellen KI-Systeme mitunter adaptiv oder interessant agierende Interaktionspartner in komplexen spielerischen Umgebungen dar. Chatbots auf Basis von GPT-4 sind u.U. in kurzen Konversationen kaum von einem Mensch zu unterscheiden [Bi23]. Sie bestehen somit in vielen Fällen den „Turing-Test“ [Tu50]. Anwender ohne informatische Bildung, selbst junge Kinder [Te21], können mit ML leicht die Rolle von Entwicklern („Trainern“) einnehmen und eigene Problemlösungen, z.B. Gestensteuerungen oder intelligente Softwareagenten, erstellen. In Kontrast zu dieser oft intuitiven Nutzbarkeit auch für Problemlösungen, erfordert die Interpretation und Nutzung der Ausgaben dieser Softwaresysteme besondere Kompetenzen, will man nicht unerwünschten Wirkungen ausgesetzt sein oder diese mit seinen Produkten hervorrufen. ML-Systeme produzieren auf Grundlage der präsentierten Beispiele „nur“ Näherungslösungen, die teilweise stochastische Methoden der Interpretation („Konfusionsmatrix“) erfordern. Zwar lässt sich bei GOFAI das Verhalten des Systems durch ein Studium der programmierten Logik erklären [HT22], allerdings ist eine intuitive Softwareproduktion wie bei ML in der oben dargestellten Form nicht ohne weiteres möglich. Insbesondere bei ML-Systemen bestehen verdeckte Limitierungen. In [Ma22] werden eine Reihe „harter“ Probleme benannt: „One-Shot-Lernen“, d.h. die Fähigkeit mit nur einem oder wenigen Beispielen einer bestimmten Objektklasse korrekte Klassifizierungsfähigkeiten zu

erlernen, domänenübergreifende Verallgemeinerungsfähigkeit, kausale Schlussfolgerungen, konkrete Bedeutung, Erdung („grounding“) oder die Komplexität von Zeitskalen und des Gedächtnisses sowie Metakognition. Kenntnisse über solche Eigenschaften sind auf Grund des enormen Einflusses dieser Technologie auf unser persönliches Leben von größter Wichtigkeit (vgl. [MRS22]).

In **gesellschaftlich-kultureller Perspektive (G)** müssen Lehrkräfte (auch Schülerinnen und Schüler) befähigt werden, Auswirkungen, Chancen und Herausforderungen der KI zu analysieren. Darüber hinaus müssen sie wissen, wie sie potenzielle Probleme bei der Nutzung von KI angehen können, um einen verantwortungsvollen Umgang damit zu gewährleisten (vgl. [MRS22] Bereich S). Hierfür ist es entscheidend, die Rolle des Menschen klar zu charakterisieren. Es bestehen einige in der technischen Natur dieser Systeme begründete (ethische) Missstände [Ma22]: so erbringt KI u.U. nicht die beabsichtigte Leistung bzw. eine vertretbare Zuverlässigkeit, produziert verzerrte oder toxische Ergebnisse („Bias“), verletzt die Privatsphäre (oder Urheberrechte), erzeugt falsche Informationen über die Welt, weist eine mangelnde Erklärbarkeit auf, enthält Folgen des Mangels an Vielfalt bei den Menschen, die in der Industrie und in der Wissenschaft KI erforschen und entwickeln, z.B. in Bezug auf Geschlecht oder Rasse. Die KI-Definition der UNICEF [UN21], auf die sich u.a. im Update des EU Digitalkompetenzrahmens „DigComp 2.2“ [Co22] bezogen wird, benennt, dass dem Design und dem Verhalten von KI-Systemen auch immer Ziele unterliegen, die von menschlichen Systemdesignern bestimmt worden sind. Ein Fakt, der durch vorgebliche Autonomie, Objektivität oder durch Anthropomorphismus, Eloquenz o.ä. kaschiert sein kann, wodurch Menschen ohne entsprechende Reflexionskompetenzen, insbesondere Kinder, hier leicht fatalen Täuschungen unterliegen können. KI-Systeme bringen in der digital vernetzten Welt eine große Zahl neuer Werkzeuge und Anwendungsmöglichkeiten, u.a. auch den pädagogischen Bereich betreffend, hervor, die ethisch zweifelhaft sein können.

Aus **technischer Perspektive (T)** fügen zwar KI-Systeme den Basisprozessen der digitalen Transformation „Erfassen und Speichern“ (Digitalisierung), „Verarbeiten“ (Automatisierung) sowie „Übermitteln und Verbreiten“ (Vernetzung) von Informationen (vgl. [Dö17]) keine neuen Funktionen hinzu, allerdings findet bei KI-Software der wesentliche Teil des Informationsverarbeitungsprozesses durch einen Prozess statt, der nicht manuell gestaltet wurde, sondern durch „Fakten“ oder Beispiele und Zielvorgaben (vgl. Abschnitt 3.2) hervorgebracht wird. Obwohl die Funktion beider Arten von KI entscheidend auf den verwendeten Eingabedaten beruhen, heben sich in der Praxis ML-Systeme in diesem Zusammenhang deutlich von GOFAI-Systemen ab, wo die allgemeinen Inferenzalgorithmen die spezifizierten Lösungen in einem durch die Fakten und Regeln erzeugten Raum suchen, u.a. weil deren Ergebnisse exakt nachvollzogen werden können. Obwohl sich der Anwendungsbereich von ML-Systemen als erstaunlich umfangreich erwiesen hat, kann dagegen die im Trainingsprozess durch schrittweise Anpassung erzeugte Funktionalität nur statistischen Gütekriterien genügen, was die Produkte von ML-Methoden auch deutlich von denen „manueller“ Softwareentwicklung unterscheidet, bei der Menschen mit Hilfe strukturierter Zerlegung und analytischer Einsicht u.a. das Qualitätskriterium der Korrektheit verfolgen,

das mit verschiedenen Methoden überprüft und möglichst abgesichert wird. Die meisten der dargestellten Besonderheiten von KI-Systemen ergeben sich im Prinzip aus der Art und Weise, wie ihr Informationsverarbeitungsprozess hergestellt wurde. Deshalb hat auch entsprechende informatische Bildung bei der Etablierung der KI-Kompetenzen eine zentrale Bedeutung.

4 AI-PACK - KI-Kompetenzen für Lehrkräfte

In diesem Abschnitt werden wir die einzelnen Kompetenzfelder kurz beschreiben und jeweils einige illustrierende Beispiele aus den drei Dagstuhl-Perspektiven angeben.

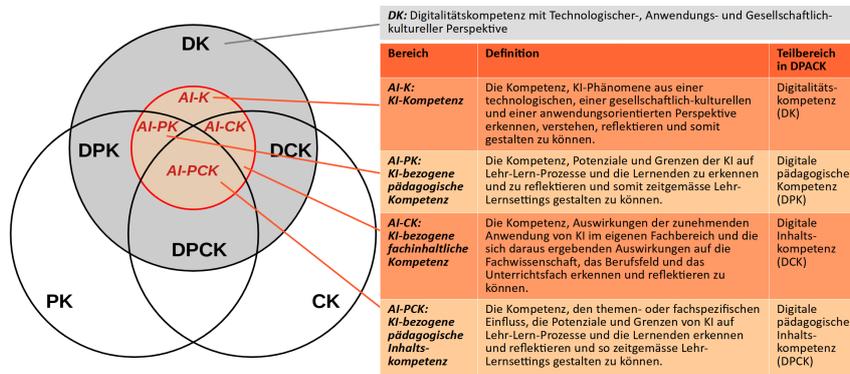


Abb. 2: AI-K mit AI-PK, AI-CK und AI-PCK innerhalb von DPACK. (Das A wurde bereits bei TPACK aus sprachlichen Gründen eingeschoben. Wir behalten dies für den Namen des Modells bei.)

4.1 AI-K: KI-Kompetenz

AI-K bezieht sich auf die Kompetenz, KI-Phänomene aus einer technologischen, einer gesellschaftlich-kulturellen und einer anwendungsorientierten Perspektive erkennen, verstehen, reflektieren und somit gestalten zu können.

Wenn der Fokus nur auf Digitalitätskompetenzen liegt, d.h. pädagogische und fachinhaltliche Kompetenzen sowie ihre Wechselwirkungen keine besondere Rolle spielen, reicht es hier aus, das Dagstuhl-Modell anzuwenden. Eine Anwendung des Dagstuhl-Modells in Bezug auf allgemeine, nicht pädagogische oder inhaltsbezogene KI-Kompetenz im Kontext der informatischen K-12 Bildung liegt bspw. mit [MRS22] vor. Kompetenzen wären demnach, bspw. in der Lage zu sein, Vorschläge und Preise (z.B. in Online-Shops) als Ergebnisse der bewussten und unbewussten Nutzung kritisch zu hinterfragen (A-„Wie nutze ich das?“), die Zuverlässigkeit, z.B. im Zusammenhang mit selbstfahrenden Autos zu diskutieren (G-„Wie wirkt das?“) oder ein geeignetes ML-Verfahren auszuwählen, um z.B. Bilder, die bestimmte Artefakte enthalten, automatisiert zu erkennen (T-„Wie funktioniert das?“). Für

die Ausübung ihres Berufs benötigen die Lehrkräfte jedoch noch einige zusätzliche bzw. spezifischere Kenntnisse, die über das hinausgehen, was die Schülerinnen und Schüler erwerben sollen. Insbesondere außerhalb der Informatik stellt sich in der Regel zuerst die Frage nach spezifischen Anwendungen. Daran geknüpft sind dann die Fragen nach der technischen Funktionsweise und den gesellschaftlichen Auswirkungen.

4.2 AI-PK: KI-bezogene pädagogische Kompetenz

AI-PK bezieht sich auf die Kompetenz, Potenziale und Grenzen der KI auf Lehr-Lern-Prozesse und die Lernenden zu erkennen und zu reflektieren und somit zeitgemässe Lehr-Lernsettings gestalten zu können.

Der Bereich umfasst den allgemeinen, nicht fachspezifischen Teil der KI-Kompetenzen, der notwendig ist, um lernwirksamen Unterricht planen und durchführen zu können. Diese Kompetenzen befinden sich im Teilbereich DPK (vgl. Abb. 2), von Döbeli Honegger auch „Mediendidaktik“ genannt. „Wie kann ich (allgemein) unterrichten ‚mit‘, ‚über‘ und ‚trotz‘ der Phänomene der Künstlichen Intelligenz?“ [Dö18] Hierzu gehören Antworten auf Fragen wie „Wo stehen meine Schülerinnen und Schüler aktuell in Bezug auf digitale Medien?“, „Wie verändert die Digitalisierung derzeit die Gesellschaft allgemein?“, „Wie hat sich die Sozialisation der Schülerinnen und Schüler verändert, welche Möglichkeiten, aber auch welche Probleme und Risiken sind im Hinblick auf den Unterricht zu berücksichtigen?“ Bei AI-PACK wird dies nun auf den Bereich KI mit seinen Besonderheiten angewendet. Worin bestehen Auswirkungen von Anwendungen der „KI-Welt“ aus dem Umfeld der Schülerinnen und Schüler wie „TikTok“, „Photomath“, „DeepL“, „Teachable Machine“, „ChatGPT“ oder „Midjourney“ usw. usf. auf den Unterricht allgemein? Für Lehrkräfte werden ebenfalls eine Reihe von KI-Anwendungen diskutiert, die allgemein bei der Planung, Durchführung und Reflexion des Unterrichts helfen sollen. Beim Thema Learning Analytics geht es um „das Messen, Sammeln, Analysieren und Auswerten von Daten über Lernende und ihren Kontext mit dem Ziel, das Lernen und die Lernumgebung zu verstehen und zu optimieren“ (George Siemens), in diesem Zusammenhang werden zum Teil auch große Erwartungen in entsprechende KI-Anwendungen gesetzt.

A-„Wie nutze ich das?“: In diesem Bereich geht es um die Nutzungskompetenz von Anwendungen, die z.B. die Planung von lernwirksamem Unterricht mit einem generativen System, wie ChatGPT erlauben oder die Berücksichtigung von Unterrichtsformen, die adaptive Selbstlernsysteme beinhalten, welche z.B. individualisierte und differenzierte Einzel- oder Gruppenarbeit ermöglichen oder die Lernstände und Lernfortschritte analysieren sowie die Anwendung von Reflexionsapps, die dabei unterstützen, Erfahrungen zu reflektieren und aufzubereiten.

T-„Wie funktioniert das?“: Daran anknüpfend sollten Lehrerinnen und Lehrer z.B. in der Lage sein grob darstellen zu können, wie ChatGPT erzeugt wurde und seine Lösungen produziert oder wie Apps mit adaptiven Belohnungsmechanismen funktionieren und (auf)

die Aufmerksamkeit und Motivation von Lernenden ansprechen oder wie Texte klassifiziert oder Lernprofile von Schülerinnen und Schülern bewertet werden.

G-„Wie wirkt das?“: Die Ausgaben, Ergebnisse, Warnungen oder Benachrichtigungen von KI-Tools und -Lernumgebungen kritisch zu interpretieren und zu beurteilen. Welche Potentiale, Grenzen und Risiken für die Lerngruppe haben solche Lehr-Lern-Prozesse mit adaptiven Selbstlernsystemen, die personalisierte KI-Tutoren oder adaptive Belohnungsmechanismen beinhalten? Wie wirken die KI-Rückmeldungen auf die Lerngruppe? Welche Risiken jenseits der beabsichtigten Ziele gibt es, z.B. mit Blick auf Persönlichkeitsrechte, wie Datenschutz und Urheberrecht, oder Unfairness?

4.3 AI-CK: KI-bezogene fachinhaltliche Kompetenz

AI-CK bezieht sich auf die Kompetenz, Auswirkungen der zunehmenden Anwendung von KI im eigenen Fachbereich und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Fachwissenschaft, das Berufsfeld und das Unterrichtsfach erkennen und reflektieren zu können.

Der Bereich umfasst den Teil der Digitalkompetenz (vgl. Abb. 2), der nötig ist, um ein Fach oder ein Thema souverän unterrichten zu können: „Auf welche Weise und mit welchen Verfahren kommt KI in der Bezugsdisziplin zum Einsatz?“ bzw. „Wie werden ihre Methoden beeinflusst?“, „Wie verändern sich wegen KI-Systemen die entsprechenden Berufsfelder?“, „Wie wird demzufolge mein Unterrichtsfach verändert?“, „Entfallen Inhalte oder kommen neue hinzu?“ vgl. [Dö18]. Anknüpfungspunkt sind entsprechende fachlichen Anwendungen, z.B. der Einsatz von KI in Rezeptions- oder Schreibprozessen (Deutsch), bei Übersetzungen (Fremdsprachen), zur Klassifikation und Erläuterung von Artefakten (Geschichte) oder bei der Identifikation von Pflanzen und Tieren anhand von Fotos (Biologie). Entsprechende Kompetenzen im Zusammenhang mit den genannten Anwendungen aus dem Bereich wären,

... A-„Wie nutze ich das?“: die entsprechenden fachlichen KI-Werkzeuge zu kennen bzw. auch anwenden zu können.

... T-„Wie funktioniert das?“: beschreiben zu können, wie fachliche Lösungen technisch entstehen, z.B. die Klassifikation eines Pflanzenbildes und worin die Unterschiede gegenüber hergebrachten „manuellen“ Methoden bestehen.

... G-„Wie wirkt das?“: KI-Lösungen fachlich bewerten und darstellen zu können, wie solche KI-Anwendungen die Aufgaben- und Berufsfelder von Experten im Fach verändern. Welche Veränderungen ergeben sich z.B. in Geschichte, wenn Anwendungen verfügbar sind, die z.B. Artefakte wie Bilder oder Schriften klassifizieren und erklären? Wie zuverlässig sind die entsprechenden Ausgaben und inwiefern könnte das System voreingenommen sein?

4.4 AI-PCK: KI-bezogene pädagogische Inhaltskompetenz

AI-PCK bezieht sich auf die Kompetenz, den themen- bzw. fachspezifischen Einfluss, die Potenziale und Grenzen von KI auf Lehr-Lern-Prozesse und die Lernenden erkennen und reflektieren und so zeitgemässe Lehr-Lernsettings gestalten zu können.

Im DPACK-Modell bezieht sich der zentrale Bereich „Digitale pädagogische Inhaltskompetenz“ (DPCK) darauf, die nützlichsten Formen der Darstellung der relevanten fachlichen bzw. thematischen Inhalte zu kennen, also z.B. die, von zeitloser und allgemeiner Bedeutung, bei denen auch Aspekte hinsichtlich Lehrbarkeit, Instruktivität und Relevanz (aussagekräftigste Analogien, Illustrationen, Beispiele, Erklär- und Demonstrationsmöglichkeiten) verkörpert sind [Sh86] - verstanden unter den Bedingungen der Digitalisierung. Daraus folgt, das Lehrerinnen und Lehrer in der Lage sein „digitalkompetent“ zu entscheiden, was, wie und womit, also ggf. ohne digitale Medien oder KI-Werkzeuge behandelt werden sollte.

Zum anderen bezieht sich der Bereich aber auch auf das Wissen über die Anwendungsmöglichkeiten der Technologie und pädagogischer Techniken im Hinblick auf angestrebte Kompetenzziele sowie das Wissen darüber, wie die Technologie dabei helfen kann, einige Probleme zu lösen, mit denen Schülerinnen und Schüler konfrontiert sind vgl.[KM09]. Dazu kommen im Hinblick auf die Dagstuhlperspektiven neben diesem Anwendungswissen noch die Fähigkeiten, die digitalen Mittel, bei AI-PCK die „KI-Software“ technisch und gesellschaftlich-kulturell zu reflektieren, geeignet zu thematisieren und zu gestalten [Dö18]. Das heißt z.B. in der Lage zu sein,

... A-„Wie nutze ich das?“: fachliche Unterrichtsmaterialien oder Medien unter Einbeziehung von KI zu erzeugen (z.B. Aufgabenvariationen, Texte, Bilder, Videos oder Simulationen die Avatare beinhalten usw. usf.) oder geeignete KI-basierte Werkzeuge dazu zu nutzen, Inhalte des Fachs besser zu vermitteln, z.B. unterschiedliche Text- oder Übersetzungsvarianten zu erzeugen und im Unterricht instruktiv diskutieren (Fremdsprachenunterricht) oder lehrreiche Simulationen oder Lernspiele mit Hilfe von KI-Werkzeugen zu erstellen (z.B. in MINT-Fächern).

... T-„Wie funktioniert das?“: zu beschreiben, wie die genannten Anwendungen funktionieren, d.h. darlegen zu können wie diese Systeme trainiert wurden und auf Grundlage welcher technischer Prinzipien die Ausgaben erzeugt werden.

... G-„Wie wirkt das?“: den didaktischen Wert von z.B. Selbstevaluationen mit Hilfe von KI-Werkzeugen, wie z.B. Chatbots, Übersetzern, Tools, die Artefakte erläutern oder „intelligenter“ Mathematikwerkzeuge einzuschätzen und geeignet mit den Schülerinnen und Schülern aufzuarbeiten oder fachliche Inhalte, so sie nicht entfallen sollen, zu motivieren, auch wenn vielleicht Tools existieren, die diese Aufgaben übernehmen könnten, wie z.B. Übersetzer.

5 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

In unserem Beitrag haben wir einen Rahmen dargestellt, der die strukturierte Beschreibung und Beforschung der Anforderungen an KI-Bildung für zeitgemäßen fachlichen Unterricht ermöglicht. Mit AI-PACK umreißen wir die KI-bezogenen Bereiche des Lehrkräfte-Professionswissens AI-PK, AI-CK und AI-PCK auf der Grundlage des DPACK-Modells.

Wie u.a. die aktuellen Arbeiten des AK-Lehrerbildung der GI [Ar21] zeigen, ist informatische Bildung für das Verstehen, Reflektieren und Mitgestalten der digital vernetzten Welt unverzichtbar. Die SWK empfiehlt aus diesem Grund in ihrem Gutachten [St22] die Implementierung informatischer Grundlagen in die Lehrerbildung neben digitalisierungsbezogenen und mediendidaktischen Inhalten. Unsere Darstellung grenzt den Bereich der KI-Systeme über ihre technische Beschaffenheit (Gestaltungsansatz) ein, die spezifische Kompetenzen erfordert. Sie basiert daher auf einer informatischen Sichtweise. Eine medienpädagogische Perspektive kann weitere Fragen aufwerfen, bspw. die Problematik, dass der Umgang mit Systemen, die menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten vortäuschen, besondere Kompetenzen erfordert, unabhängig davon, ob die in Abschnitt 3.2 beschriebene KI-Technologie zum Einsatz kam, oder dass vorgebliche „Intelligenz“, wie beim berühmten „Schachtürken“, nicht von einem Informatiksystem, sondern von verdeckt arbeitenden Menschen erzeugt wird (vgl. [HT22]). Die UNICEF KI-Definition [UN21], schließt daher bspw. auch Systeme mit ein, die zwar „intelligent“ erscheinen, aber aus der hier beschriebenen technischen (informatischen) Perspektive keine KI-Systeme darstellen. Informatische Bildung kann entlastend wirken, wenn Lehrerinnen und Lehrer verstehen, wie die Ausgaben von KI-Systeme erzeugt werden und wie informatische Probleme mit KI-Methoden gelöst werden. Viele Eigenschaften der Anwendungen des beschriebenen Bereichs lassen sich so systematisch ableiten und ein reflektierterer Umgang bspw. mit den Ausgaben solcher Systeme ermöglichen. Fachdidaktisch könnte auch das Nachvollziehen, wie KI fachbezogene Daten verarbeitet und damit ihre innere Modellierung aufbaut bzw. anwendet, neue Einblicke in das Verständnis des Fachs geben, bspw. in Gegenüberstellung mit entsprechenden manuellen Vorgehensweisen.

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich im Hinblick auf die Konkretisierung, Evaluation und didaktische Ausgestaltung der Felder. Es zeigen sich im dargestellten Modell zum einen stark fachbezogen aufgefächerte Bereiche, deren Beurteilung und Konkretisierung fachinhaltliche und fachdidaktische Expertisen erfordern (AI-CK und AI-PCK), aber auch fachübergreifende Schnittmengen, die sich als Gegenstand interdisziplinärer Bildungsangebote besonders gut eignen, wie z.B. allgemeinen Methoden der Unterrichtsvorbereitung und -durchführung (AI-PK), sowie den offenkundigen Schnittmengen in den T-Bereichen („Wie funktioniert das?“) und den damit zusammenhängenden Grundlagen in der informatischen Bildung. Wir sehen daher für die Informatikdidaktik neben der spezifischen Klärung von AI-PCK für den Informatikunterricht zusätzlich die Aufgabe, den fächerübergreifenden Ergänzungsbedarf an informatischer KI-Bildung in geeigneter Weise zu adressieren.

Literaturverzeichnis

- [Ar21] Arbeitskreis Lehrkräftebildung der GI: , Position zur Bildung aller Lehrkräfte in Bezug auf Informatik des. <https://ak-lk-bildung.gi.de/position>, 2021. Zugegriffen: 12.2.2023.
- [Bi23] Bieber, C.: ChatGPT broke the Turing test — the race is on for new ways to assess AI. *Nature*, 619(7971):686–689, Juli 2023.
- [BK06] Baumert, J.; Kunter, M.: Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4):469–520, 2006.
- [Br16] Brinda, T.; Diethelm, I.; Gemulla, R.; Romeike, R.; Schöning, J.; Schulte, C.: Dagstuhl-Erklärung: Bildung in der digital vernetzten Welt. 2016. <http://www.dagstuhl-dreieck.de>.
- [Ce23] Celik, I.: Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers’ professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in Human Behavior*, 138:107468, 2023.
- [Co17] Commission, European; Centre, Joint Research; Redecker, C.; Punie, Y.: European framework for the digital competence of educators : DigCompEdu. Publications Office, 2017.
- [Co22] Commission, European; Centre, Joint Research; Vuorikari, R.; Kluzer, S.; Punie, Y.: DigComp 2.2, The Digital Competence framework for citizens : with new examples of knowledge, skills and attitudes. Publications Office of the European Union, 2022.
- [DD11] Diethelm, I.; Dörge, C.: Zur Diskussion von Kontexten und Phänomenen in der Informatikdidaktik. S. 67–76, 2011.
- [Dö17] Döbeli Honegger, B.: Mehr als 0 und 1: Schule in einer digitalisierten Welt. hep, der Bildungsverlag, Bern, 2., durchgesehene auflage. Auflage, 2017.
- [Dö18] Döbeli Honegger, B.: Das DPACK-Modell. <https://mia.phsz.ch/DPACK/WebHome>, Stand: 13.01.2023.
- [Dö21] Döbeli Honegger, B.: Covid-19 und die digitale Transformation in der Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 39:411–422, 2021.
- [Dö23] Döbeli Honegger, B.: Warum wir den Begriff „Künstliche Intelligenz“ vermeiden. <https://mia.phsz.ch/LLM/WarumWirDenBegriffKIVermeiden>, Zugegriffen: 1.8.2023.
- [DOK22] Druga, S.; Otero, N.; Ko, Amy J.: The Landscape of Teaching Resources for AI Education. In: *Proceedings of the 27th ACM Conference on on Innovation and Technology in Computer Science Education Vol. 1*. ACM, Dublin Ireland, S. 96–102, 2022.
- [FR22] Frederking, V.; Romeike, R., Hrsg. *Fachliche Bildung in der digitalen Welt: Digitalisierung, Big Data und KI im Forschungsfokus von 15 Fachdidaktiken*. Allgemeine Fachdidaktik Band 3. Waxmann, Münster New York, 2022.
- [HT22] Holmes, W.; Tuomi, I.: State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, 57(4):542–570, 2022.
- [Ju22] Jung, A.: *Machine Learning: The Basics*. Machine Learning: Foundations, Methodologies, and Applications. Springer Nature Singapore, Singapore, 2022.

- [Ka17] Karpathy, A.: , Software 2.0. <https://karpathy.medium.com/software-2-0-a64152b37c35>, 2017. zugegriffen 28.5.2023.
- [Ki21] Kim, S.; Jang, Y.; Choi, S.; Kim, W.; Jung, H.; Kim, S.; Kim, H.: Analyzing Teacher Competency with TPACK for K-12 AI Education. *KI - Künstliche Intelligenz*, 35(2):139–151, 2021.
- [KM09] Koehler, M.; Mishra, P.: What Is Technological Pedagogical Content Knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9, 2009.
- [Ma22] Manyika, J.: Getting AI Right. *Daedalus*, 151(2), 2022.
- [MRS22] Michaeli, T.; Romeike, R.; Seegerer, S.: What students can learn about artificial intelligence - recommendations for K12 computing education. In: *Proceedings of World Conference on Computers in Education, WCCE 2022*. 2022.
- [Sa21] Samoili, S.; Lopez, C. M.; Delipetrev, B.; Martinez-Plumed, F.; Gomez Gutierrez, E.; De Prato, G.: AI Watch. *Defining Artificial Intelligence 2.0*. 2021.
- [Sc21] Schmid, Ulrich; Blanc, Berit; Toepel, Michael; Pinkwart, Niels; Drachsler, Hendrik: *KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz. Schlussbericht im Auftrag der Deutsche Telekom Stiftung*. 2021.
- [Se21] Seegerer, S.: *Informatik für alle – Beitrag und exemplarische Ausgestaltung informatischer Bildung als Grundlage für Bildung in der digitalen Transformation*. Dissertation, Freie Universität Berlin, 2021.
- [Sh86] Shulman, L. S.: Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2):4–14, 1986.
- [St22] Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz: *Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule*. Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK). 2022.
- [Su22] Sun, J.; Ma, H.; Zeng, Y.; Han, D.; Jin, Y.: Promoting the AI teaching competency of K-12 computer science teachers: A TPACK-based professional development approach. *Education and Information Technologies*, 2022.
- [TDT21] Tedre, M.; Denning, P.; Toivonen, T.: CT 2.0. In: *21st Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. ACM, Joensuu Finland, S. 1–8, 2021.
- [Te21] Tedre, M.; Toivonen, T.; Kahila, J.; Vartiainen, H.; Valtonen, T.; Jormanainen, I.; Pears, A.: Teaching Machine Learning in K–12 Classroom: Pedagogical and Technological Trajectories for Artificial Intelligence Education. *IEEE Access*, 9:110558–110572, 2021.
- [Tu50] Turing, A. M.: I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE. *Mind*, 59, 1950.
- [UN21] UNICEF: , Policy guidance on AI for children. <https://www.unicef.org/globalinsight/media/2356/file/UNICEF-Global-Insight-policy-guidance-AI-children-2.0-2021.pdf>, 2021. accessed 13 Jan 2023.