

# Problemlösen in künstlich-intelligenten Lernwelten: Transformatorische (Medien-)Bildung mit und über KI

Kerres, Michael, Beyer, Steven, & Mulders, Miriam (U Duisburg-Essen, Learning Lab)

**Abstract:** Das Verhältnis von Mensch und Technik ordnet sich neu: Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit digitaler Technik verändert sich das Zusammenspiel von Mensch und Technik in der gesellschaftlichen Kommunikation. Wie hat die Medienbildung bislang auf den Erwerb von Problemlösekompetenz mit digitalen Medien geschaut und was verändert sich durch das Mitwirken der künstlichen Intelligenz in Lern- und Bildungsprozessen? Was bedeutet das grundsätzlich für unsere Auffassung von Problemlösen als transformatorische Lernhandlung in einer Welt, in der wir mit künstlich-intelligenten Systemen interagieren?

Unsere Lebenswelt ist durch digitale Technik geprägt. Dabei ändert sich nicht nur die Lebenswelt, es ändert sich vor allem das Verhältnis des Menschen zur Welt. Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit digitaler Technik finden künstlich-intelligente (KI) Systeme Eingang in die gesellschaftliche Kommunikation und verändern das Verhältnis von Mensch und Technik im beruflichen Handeln und in Bildungskontexten. Es wird erforderlich, Kompetenz und Performanz in einer digital geprägten Welt zu entwickeln, in der Problemlösefähigkeiten zunehmend im Zusammenwirken von Menschen und KI-basierten Systemen zustande kommen.

Wollen wir KI kompetent nutzen und verstehen, so müssen wir uns darüber verständigen, was es bedeutet, dass sich das Digitale zusehends in gesellschaftliche Handlungsroutrinen einschreibt. Dabei stellt sich die Frage, wie in einer Auseinandersetzung und Reflexion solcher Konstellationen transformatorische Bildung entstehen kann, mit der wir uns unserer Selbst- und Weltverhältnisse versichern und uns über diese verständigen können. Transformatorische Bildung, wie ursprünglich von Mezirow (1991) konzeptualisiert, beschreibt einen Prozess des tiefgreifenden Perspektivwechsels, der über die bloße Akkumulation von Wissen hinausgeht und grundlegende Selbst- und Weltverhältnisse hinterfragt. Dieser Ansatz ist besonders relevant in einer digital geprägten Welt, in der technologische Innovationen nicht nur Handlungsroutrinen, sondern auch Wahrnehmungen und Werte beeinflussen. Im Kontext von KI bedeutet dies, nicht nur die Funktionsweise und den Nutzen dieser Technologie zu verstehen, sondern auch ihre gesellschaftlichen Implikationen kritisch zu reflektieren. Im Unterschied zu verwandten Konzepten, wie *kritischem Denken* oder *reflektierender Bildung* legt transformatorische Bildung einen besonderen Schwerpunkt auf die Veränderung von Denkmustern und Überzeugungen durch selbstkritische Reflexion und dialogische Auseinandersetzung. Während kritisches Denken vorrangig kognitive Prozesse adressiert, zielt transformatorische Bildung auf eine ganzheitliche Neuorientierung individueller und kollektiver Sichtweisen.

Vor diesem Hintergrund wird sich der vorliegende Beitrag konkreter mit nachfolgenden Fragen auseinandersetzen: Was verändert sich durch das Mitwirken der KI in Lern- und Bildungsprozessen und der gesellschaftlichen Kommunikation? Was bedeutet transformatorische Bildung in einer Welt, in der wir essenziell mit künstlich-intelligenten Systemen interagieren?

## 1 Einleitung

Problemlösen verstehen wir üblicherweise als kognitive Leistung einer Person, die auf Fähigkeiten wie Abstraktionsvermögen, logischem Denken und Kreativität beruht und ggf. mit anderen oder mit Zuhilfenahme von Werkzeugen und Medien zustande kommt. Software-Anwendungen, die unter dem Label *künstliche Intelligenz* (KI) firmieren, sind zunehmend in der Lage, bestimmte, auch

anspruchsvolle Problemlösungen selbständig zu erarbeiten bzw. Menschen maßgeblich bei solchen Anforderungen, etwa im beruflichen Kontext, zu unterstützen. Dabei bleibt die Herausforderung, dass künstlich-intelligente Systeme selten über ihre Auswertungs- und Entscheidungsmechanismen Auskunft geben (können) und – anders als in sozialer Kommunikation – keine Angebote für soziale Aushandlungsprozesse inkludieren.

Die medienpädagogische Diskussion hat lange Zeit über die zunehmende Verbreitung digitaler Technik in der Lebenswelt und ihre Bedeutung für Lernen und Bildung diskutiert, also die Veränderung von *Welt*. Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit digitaler Systeme und der Entwicklung von KI-basierten Anwendungen, die ein digitales Problemlösen in vielen Anwendungsbereichen beherrschen, rückt eine andere Perspektive in den Vordergrund: Es geht um das Verhältnis des Menschen zu seiner digital geprägten Lebenswelt. Digitalisierung verändert nicht nur die Welt, sondern auch die Selbst- und Weltverhältnisse von Menschen in digitalen Lebenswelten. Diese Überlegung folgt einer postdigitalen Sicht auf das Digitale, bei der nicht mehr die Effekte des Digitalen analysiert und bewertet werden, sondern davon ausgegangen wird, dass sich das Digitale bereits untrennbar mit individuellen Handlungspraktiken und gesellschaftlichen Strukturen und Prozessen verwoben hat. Es geht nicht mehr um die Frage, ob das Digitale positiv oder negativ (etwa für Lernen und Bildung) zu bewerten ist. Das Digitale ist in seinen Wirkungen kaum mehr unmittelbar erfahrbar und wird zunehmend unsichtbar. Eine analytische Trennung zwischen *analog* und *digital* wird für das Handeln der Akteure zusehends weniger relevant (Engel/Kerres 2023; Kerres 2023).

Problemlösen ist damit neu zu positionieren: in einer Relation von menschlicher Leistungsfähigkeit, digitaler Technik und der (computervermittelten) sozialen Kommunikation. In Anknüpfung an bildungstheoretische Überlegungen verstehen Engel und Kerres (2023) transformatorische Bildung in diesem Zusammenhang als eine Frage an die Selbst- und Weltverhältnisse des Menschen: Die Konfrontation mit der Leistungsfähigkeit der KI fordert ein humanistisches Selbstbild heraus, das Technik *nur* als Werkzeug versteht, welches es bestmöglich zu *beherrschen* gilt. Die Idee des Subjekts, das möglichst *souverän* seine Lebenswelt gestaltet, wird der digital geprägten Welt nicht mehr gerecht. In diesem Zusammenhang bietet der Ansatz der transformatorischen Bildung eine Möglichkeit, Selbst- und Weltverhältnisse kritisch zu reflektieren und neu auszurichten. Wie Mezirow (1991) betont, ist transformatorische Bildung ein Prozess, der durch die Konfrontation mit dissonanten Erfahrungen – wie der beeindruckenden, aber auch herausfordernden Leistungsfähigkeit von KI-Systemen – angestoßen wird. Dieser Perspektivwechsel wird durch Reflexion, Dialog und die bewusste Auseinandersetzung mit bestehenden Annahmen ermöglicht. Damit schafft transformatorische Bildung einen Rahmen, um die durch KI-Technologien angeregten Veränderungen nicht nur intellektuell zu verstehen, sondern auch individuell und gesellschaftlich zu bewerten.

Es gilt, neue Lehr- und Lernpraktiken zu entwickeln, in denen KI erfahrbar wird, und zwar in einem doppelten Sinne: Es geht einerseits um Kompetenz im Umgang mit den Systemen und den vermittelten Inhalten, und andererseits um eine Reflexion dieses dabei entstehenden Verhältnisses mit den Systemen. In einem Lernen *mit* und *über* KI lassen sich bestehende Selbst- und Weltverhältnisse *transformieren*. Dies impliziert auch das Erschrecken über die profunde Leistungsfähigkeit der KI und wie wir damit umgehen, dass die KI menschliche Problemlösefähigkeiten an manchen Stellen ersetzen kann und an anderen nicht: Was macht es mit unserer Sicht auf uns als Mensch, dass künstlich-intelligente Anwendungen solche Leistungsfähigkeit haben? Was macht es mit uns als Gesellschaft, dass wir der KI eine enorme Leistungsfähigkeit zuschreiben (allein wegen des Labels KI) und dabei die Limitationen der KI übersehen? Wir verkennen vielleicht, dass die KI mit Daten der Vergangenheit die Probleme der Zukunft zu lösen versucht, dass die KI Mechanismen der Diskriminierung und Benachteiligung perpetuiert, und zwar ohne dass dies explizit oder gar zum Gegenstand der Verhandlung werden kann.

Im nun folgenden Beitrag untersuchen wir, wie der Erwerb von menschlichen Problemlösekompetenzen durch KI-basierte Systeme unterstützt wird und zu einem transformatorischen Bildungsverständnis beitragen kann. Wir diskutieren, welche Lern- und Erfahrungschancen sich aus der Integration solcher Systeme in den Unterricht ergeben und wie diese gestaltet werden können, um eine

transformatorische Perspektive zu entfalten. Dabei nutzen wir ein Beispiel aus dem Mathematikunterricht der Primar- und Sekundarstufe I und erörtern entlang des Beispiels den Einsatz von KI-Tools und dessen Implikationen für das Zusammenspiel von Mensch und Technik.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Problemklassifikation nach Dörner

Wir orientieren uns in unseren Überlegungen an der Klassifikation von Typen des Problemlösens, wie sie in der klassischen Denkpsychologie beschrieben werden. Dörner (1979, 2023) unterscheidet Problemtypen anhand folgender Kriterien: (a) Sind Ausgangszustand und Ziel einer Aufgabe bekannt oder nicht bekannt? (b) Sind die Lösungswege bekannt, wie das Ziel erreicht werden kann?

Bei einem Problem, das als *Interpolationsbarriere* beschrieben wird, sind die Ausgangslage, der Zielzustand und die notwendigen Mittel zur Zielerreichung bekannt. Es gilt, dieses Wissen zu kombinieren, so dass sich ein geeigneter Lösungsweg ergibt. Probleme mit einer *Synthesebarriere* erfordern das Finden geeigneter Mittel zur Problemlösung. Dabei sind die Ausgangslage und der Zielzustand bekannt. *Dialektische Barrieren* führen zu Problemaufgaben, in denen zwar der Ausgangszustand und die Mittel zur Problemlösung gegeben sind, allerdings der Zielzustand und der Weg dahin unbekannt sind. In konkreten Anforderungen lassen sich regelmäßig Mischformen dieser Konstellationen antreffen. Der vierte Problemtyp ist eine Kombination aus *dialektischer Barriere* und *Synthesebarriere*. Dabei sind sowohl die Klarheit der Mittel als auch die Klarheit der Zielkriterien gering. Das daraus resultierende Problem erweist sich als komplex und daher für die Unterrichtspraxis zu meist als wenig geeignet (Dörner 1979, 2023; Rott et al. 2023).

### 2.2 Hilfen und Hilfsmittel beim Problemlösen

Der Erwerb von Problemlösekompetenz gilt als besonders wertvolles Bildungsziel und ist in vielen Curricula der allgemein- und berufsbildenden Bildungsgänge festgeschrieben. Über das Erlernen von Wissen und den Erwerb von Fertigkeiten ermöglicht die Auseinandersetzung von Problemlöseaufgaben, die durch eine der o.g. genannten Barrieren definiert sind, den Erwerb einer Problemlösekompetenz.

Zwei zentrale Aspekte bei diesem Kompetenzerwerb sind der Erwerb sowie die Nutzung von heuristischen Hilfsmitteln zur Problemlösung und die Nutzung von weiteren Hilfen im Problemlöseprozess (Wittmann 2009). Während in der Psychologie mit dem Begriff *Heuristik* eher eine Faustregel assoziiert wird, versteht man in der Mathematik unter Heuristik die Theorie und Praxis des Problemlösens. Sie beschäftigt sich mit der Analyse von Problemlöseprozessen, der Systematisierung von eingesetzten Mitteln und Wegen des Problemlösens und zielt auf eine Steigerung der Problemlöseeffizienz durch Kenntnisse auf der Metaebene des Problemlösens ab (Stiller/Krichel/Schwarz 2021).

Hilfen im Problemlöseprozess werden vor allem durch die Lehrperson vorbereitet und vorgestellt. Dabei muss die Rolle der Lehrperson im Vergleich zu anderen Unterrichtssituationen durch eine starke Zurückhaltung geprägt sein. Ein zu schnelles Eingreifen lässt den Kern von Problemlöseaufgaben obsolet werden und die Aufgaben können nicht ihr volles Potential im Unterricht entfalten (Wittmann 2009; Zech 1998). Eine Taxonomie der Hilfen beim Problemlösen ordnet mögliche Hilfen aufsteigend nach ihrer Stärke: Motivationshilfen, Rückmeldungshilfen, allgemein-strategische Hilfen, inhaltsorientierte strategische Hilfen, inhaltliche Hilfen. Diese Hilfen können zudem in direkten und indirekten Formulierungen auftreten (Zech 1998). Zech (1998) beschreibt die verschiedenen Hilfen als Denkhilfen, die als Anregung zum Weiterdenken dienen und keine Präsentation des vollständigen Lösungsweges darstellen sollen (*Prinzip der minimalen Hilfe*).

Nach Bruder/Collet (2011) lassen sich Heuristiken unterteilen in *heuristische Hilfsmittel*, *heuristische Strategien*, *heuristische Prinzipien* und *heuristische Regeln* (vgl. Beitrag von Becker in diesem

Band). Im Folgenden soll ein besonderer Fokus auf die heuristischen Hilfsmittel, als fachunabhängiger Aspekt, gelegt werden.

Grundlegende heuristische Hilfsmittel sind z.B. Skizzen, Tabellen, Wissensspeicher, Lösungsgraphen und Gleichungen. Sie spielen eine entscheidende Rolle in Problemlöseprozessen und unterscheiden sich von den anderen Heuristiken dahingehend, dass ihnen keine Strategien zur Lösung inhärent sind. Als Verständnishilfen unterstützen sie dabei, komplexe Probleme besser zu verstehen, zu strukturieren sowie Lösungsansätze zu entwickeln und anderen Personen zu kommunizieren (Bruder/Collet 2011). *Skizzen* bzw. *informative Abbildungen* ermöglichen die Visualisierung von Problemvoraussetzungen und erleichtern die Einführung von Notationen. Durch Skizzen können Problemlösende Lösungsansätze entwickeln und damit falsche Schlussfolgerungen vermeiden. *Tabellen* dienen der Strukturierung und übersichtlichen Darstellung von Informationen, Voraussetzungen und Hilfsmitteln. Sie helfen dabei, den Überblick über bereits durchgeführte Untersuchungen zu verbessern und Muster deutlich zu machen. *Wissensspeicher* (z.B. Mindmaps) stellen vorhandenes Wissen zu einem Thema dar und ermöglichen es, fachliche und heuristische Konzepte zu verknüpfen, um damit Beziehungen zwischen bekanntem und neuem Wissen herzustellen. *Lösungsgraphen* visualisieren verschiedene Stufen eines Lösungsprozesses und helfen dabei, Zwischenziele und Lösungsschritte zu definieren. Sie sind besonders effektiv in Kombination mit der heuristischen Strategie des Vorwärts- und Rückwärtsarbeitens. *Gleichungen* reduzieren die Komplexität von Informationen und ermöglichen die Mathematisierung eines Sachverhalts. Sie erfordern jedoch ein höheres Abstraktionsniveau und ein tiefes Verständnis der Problemstellung, um Fehler im Lösungsprozess zu vermeiden.

### 2.3 Die Rolle von KI-Tools beim Erwerb von Problemlösekompetenzen

Systeme, die auf KI basieren, bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten, um Menschen bei der Bewältigung von Problemen zu unterstützen – sowohl in beruflichen Handlungskontexten als auch bei Lehr- und Lernprozessen. KI-basierte Anwendungen nutzen fortschrittliche Algorithmen und Datenanalysetechniken, um Muster zu erkennen, Prognosen zu treffen und Lösungen für eine Vielzahl von Problemen bereitzustellen. Aus Sicht des *EU AI-Act*<sup>1</sup> zeichnen sich KI-basierte Systeme dadurch aus, dass sie (1) große Datenmengen analysieren, (2) Muster und Trends identifizieren, (3) personalisierte Unterstützung und Empfehlungen liefern, (4) Kollaboration und Wissensaustausch ermöglichen, und/oder (5) Simulationen und Modelle einsetzen können.

Im Folgenden werden einige Beispiele für künstlich-intelligente Anwendungen und deren Beitrag zum Erwerb von Problemlösekompetenzen diskutiert.

#### *Visualisierungen*

Sogenannte *Text-to-Image* oder *Text-to-Video* Technologien, auch Bild- bzw. Videogeneratoren genannt, helfen, komplexe Konzepte und Szenarien zu simplifizieren und zu veranschaulichen. Derartige Technologien wandeln Textbeschreibungen in realistische Bilder oder Videos um. Dies kann das Verständnis und die Aufnahme von Informationen verbessern, indem abstrakte Konzepte in konkrete Darstellungen umgewandelt werden. *DeepAI* und *DALL-E* sind zwei Beispiele für Plattformen, die die Generierung von Bildern aus textuellen Beschreibungen anbieten (Knaus 2023).

#### *Adaptive Lernplattformen*

Adaptive Lernplattformen nutzen maschinelles Lernen, um das Lernverhalten der Nutzenden zu analysieren und personalisierte Lernpfade bereitzustellen. Dazu werden Algorithmen verwendet, um große Mengen von Nutzungsdaten zu analysieren und Muster und Trends zu erkennen. Adaptive Plattformen können so die individuellen Stärken und Schwächen von Lernenden identifizieren

---

<sup>1</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/european-approach-artificial-intelligence> [abgerufen am 1.3.2024]

und regulierend wirken, indem Übungen und Aufgaben empfohlen werden, um Problemlösefähigkeiten gezielt zu verbessern (Kerres et al. 2023; Schaumburg 2022). Ein Beispiel für eine adaptive Lernplattform ist *Khan Academy*, die Lernende in Mathematik und anderen Fächern durch personalisierte Lernwege unterstützt (Mayer-Schönberger/Cukier 2014).

### *Gamifizierte Lernanwendungen*

Gamifizierte Lernanwendungen integrieren spielähnliche Elemente in den Lernprozess, um das Engagement und die Motivation der Lernenden zu erhöhen. Diese Anwendungen können Problemlöseaktivitäten in Form von Herausforderungen, Rätseln oder Simulationen präsentieren, die es den Lernenden ermöglichen, ihre Fähigkeiten in einer interaktiven und unterhaltsamen Umgebung zu verbessern. Ein Beispiel für eine gamifizierte Lernanwendung ist die Lernplattform *Duolingo*. Auch wenn Anwendungen wie *Duolingo* überwiegend geschlossene Aufgabenformate nutzen, die keine komplexen Probleme im klassischen Sinne darstellen, fördern sie dennoch Problemlöseprozesse auf Mikroebene. Lernende absolvieren interaktive Übungen und können ihren Fortschritt dabei verfolgen. Dazu werden Entscheidungen getroffen, Fehler analysiert und Strategien entwickelt, die auf komplexere Problemstellungen übertragbar sein können (Labenz 2023; Rieckhoff 2022).

### *Kollaborative Problemlösungsplattformen*

Kollaborative Problemlösungsplattformen geben Nutzenden die Möglichkeit, gemeinsam an Problemen zu arbeiten und voneinander zu lernen. Derartige Plattformen können maschinelle Lernfunktionen nutzen, um die Interaktionen zwischen Nutzenden zu analysieren und Feedback sowie Empfehlungen für verbesserte Problemlösungsstrategien bereitzustellen. Ein Beispiel für eine kollaborative Problemlösungsplattform ist *Stack Overflow*, eine Online-Community für Entwicklerinnen und Entwickler, die es ermöglicht, Probleme zu diskutieren und Lösungen zu finden (Wolf 2016; Hölbing-Inzko 2018).

### *Virtuelle Tutoring-Systeme*

Virtuelle Tutoring-Systeme bieten den Lernenden individuelle Unterstützung an und führen Lernende durch den Problemlösungsprozess. Diese Systeme können adaptive Lernstrategien anwenden, um den Bedürfnissen der Lernenden gerecht zu werden, und ihnen helfen, effektive Problemlösungsstrategien zu entwickeln. Ein Beispiel für ein virtuelles Tutoring-System ist *Cognii*, das Lernenden in naturwissenschaftlichen Schulfächern durch personalisiertes Feedback und Unterstützung beim Problemlösen hilft (Kumar et al. 2023; Weitz 2023).

Insgesamt bieten KI-basierte Tools vielfältige Möglichkeiten, uns Menschen beim Erwerb von Problemlösekompetenzen zu unterstützen. Durch die Integration solcher und weiterer Tools in den Lernprozess können Lernende effektive Problemlösungsstrategien (weiter-) entwickeln.

## 3 Einsatzmöglichkeiten von KI-Tools in Problemlöseprozessen

Künstlich-intelligente Anwendungen können Problemlöseprozesse unterstützen, indem sie durch Visualisierungen helfen die Problemsituation zu verstehen, indem sie durch Analysen den Schwierigkeitsgrad einer Problemlöseaufgabe an das Vorwissen der Lernenden anpassen oder indem durch sie Werkzeuge entstehen, mit denen das Problem gelöst werden kann (Reuter et al., 2021). Dies wird in Abbildung 1 illustriert.

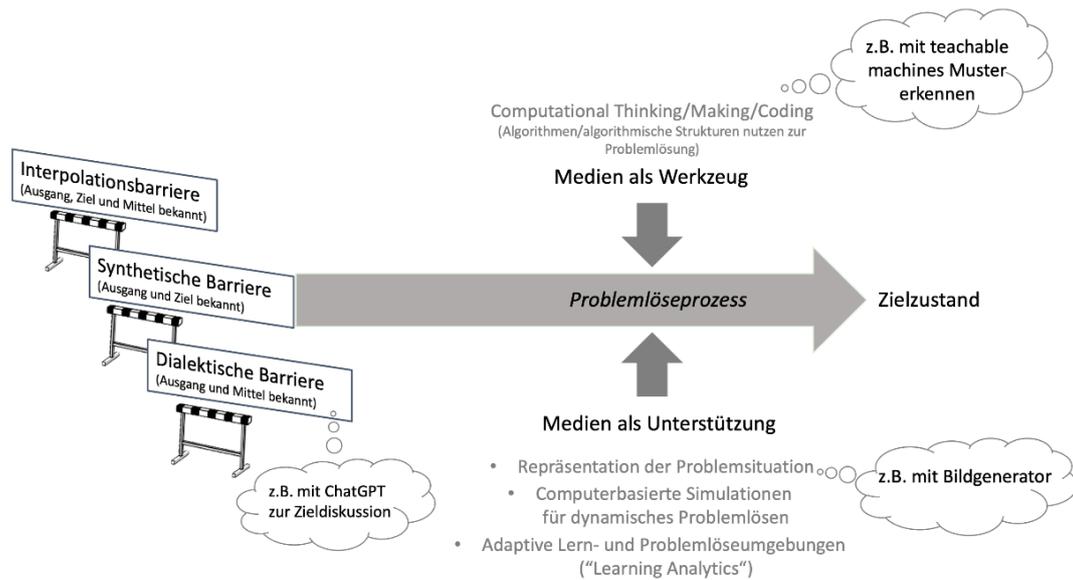


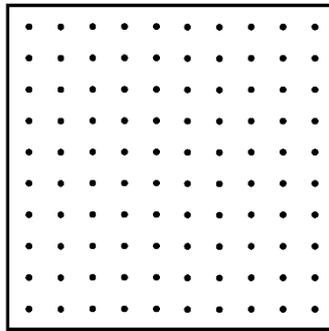
Abbildung 1: Medien im Problemlöseprozess.

*Anmerkung:* Mögliche Einsatzbeispiele sind in den Gedankenblasen zu finden.

Es wird deutlich: KI-Anwendungen beeinflussen den Erwerb von Problemlösekompetenzen und verändern damit das Zusammenspiel von Mensch und Technik. Im Folgenden diskutieren wir den Einsatz künstlich-intelligenter Anwendungen an einem Beispiel aus dem Mathematikunterricht. Dabei orientieren wir uns weiter an der Klassifikation von Dörner (siehe Absatz 2a).

**Aufgabe:** Eine Klasse hat im Werkunterricht ein 10 x 10 Geobrett hergestellt. Die Abstände zwischen den Nägeln sind alle gleich. Mit Gummis kann man nun Figuren spannen.

- a) Spanne möglichst viele Rechtecke mit demselben Flächeninhalt.
- b) Was kannst du über deren Umfang aussagen?
- c) Findest du zwei Rechtecke, die den gleichen Umfang, aber verschiedene Flächeninhalte haben?
- d) Wie ändert sich der Flächeninhalt, wenn du die Seitenlänge verdoppelst, verdreifachst, ... usw.?



*(adaptierte Aufgabe in Anlehnung an Lenze (2010))*

Das ausgewählte Beispiel bezieht sich auf die Arbeit auf dem *Geobrett* (oder auch *Nagelbrett*). Tabelle 1 beschreibt die von Dörner (1979, 2023) benannten Barrieren anhand des von uns gewählten Beispiels aus dem Mathematikunterricht. Das Geobrett ist ein traditionelles Arbeitsmittel im Mathematikunterricht der Primar- und Sekundarstufe I, das in der Anzahl der Nägel variabel ist. Die Nägel sind in Reihen angeordnet, in der Regel in einem orthogonalen Raster. Je mehr Nägel auf dem Brett, desto umfangreicher werden die Lösungsräume, d.h. die Gesamtheit aller möglichen Lösungen für das gegebene Problem. Auf das Geobrett in der o.g. Aufgabe bezogen: Die Zahl der Rechtecke mit demselben Flächeninhalt, die auf dem Brett mit einer bestimmten Nagelanzahl erzeugt werden können, bildet den Lösungsraum. Die Arbeit auf dem Geobrett ermöglicht die Verknüpfung der Darstellungsebenen und ist in der unterrichtlichen Logistik leicht zu integrieren. Mögliche Aufgabenformate, die behandelt werden können, sind die Eigenschaften ebener Figuren wie Symmetrie, Flächeninhalt und Umfang sowie Bruchteile und Kombinatorik (Radatz/Rickmeyer 1991).

Aufgabe: <i>Eine Klasse hat im Werkunterricht ein 10 x 10 Gebrett hergestellt. Die Abstände zwischen den Nägeln sind alle gleich lang. Mit Gummis kann man nun Figuren spannen.</i>		Klarheit der Zielkriterien	
		Hoch	Gering
Bekanntheitsgrad der Mittel	Hoch	Interpolationsbarriere: <i>Spanne möglichst viele Rechtecke mit demselben Flächeninhalt von sechs Einheitsquadraten. Tipp: Der Flächeninhalt von vier umspannten Nägeln entspricht einem Einheitsquadrat</i>	Dialektische Barriere: <i>Wie verändert sich der Flächeninhalt der mit den Spanngummis gebildeten Rechtecke in Abhängigkeit davon, wie sehr die Gummis gedehnt werden?</i>
	Gering	Synthesebarriere: <i>Spanne möglichst viele Rechtecke mit demselben Flächeninhalt.</i>	

Tabelle 1: Problemdarstellung nach Rott et al. (2023).

Die beschriebene Beispielaufgabe kann in verschiedenen Phasen des Problemlöseunterrichts angesiedelt werden und dadurch die subjektiv wahrgenommene Barriere, also das Problem, unterschiedlich relevant sein. Den folgenden Betrachtungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Lernenden noch geringe Vorkenntnisse im Bereich Flächeninhalt und Umfang haben, so dass es sich hierbei noch nicht um eine Routineaufgabe handelt.

### 3.1 Synthesebarrieren

Wenn synthetische Barrieren gegeben sind, besteht die Anforderung an die Lernenden darin, geeignete Mittel zur Problemlösung zu finden. Dies bezieht sich im von uns gewählten Beispiel darauf, dass ohne die gegebenen Längen erst einmal eine willkürliche oder standardisierte Größe und Einheit bestimmt werden muss, mit der dann in Folgeschritten der Flächeninhalt bzw. Umfang bestimmt werden kann. Im weiteren Verlauf der Aufgabenbearbeitung verlagern sich die Anforderungen dann auf das Erkennen von Zusammenhängen und Beschreiben von Mustern.

Beim Verstehen des Problems können nun verschiedene künstlich-intelligente Tools als heuristische Hilfsmittel zum Einsatz kommen. Ein Bildgenerator kann eine Abbildung zu verschiedenen Lösungen aus den Teilaufgaben produzieren, die den Lernenden als Anregung zum Weiterdenken hilft. Abbildung 2 zeigt ein von uns mit Hilfe des Tools *DALL-E* erstelltes Bild, das unterschiedlich

große Rechtecke in verschiedenen Farben auf dem Nagelbrett illustriert. In der unterrichtspraktischen Umsetzung kann ein textbasierter Prompt zur Bildgenerierung entweder durch die Lehrkraft als Hilfe gegeben oder durch die Lernenden selbst erstellt werden. Damit die Lernenden den Output zum Weiterdenken nutzen können, sollte die Komplexität der Darstellungen berücksichtigt werden. Präzisere Darstellungen sind beispielsweise für unerfahrene Problemlöser geeignet, denn dadurch wird das Risiko von Trugschlüssen verringert. Kern eines jeden Prompts sollte der Vergleichsaspekt zwischen zwei flächengleichen Rechtecken mit unterschiedlichen Umfängen sein. Im Idealfall zeigt die generierte Darstellung (intendiert oder nicht) dabei auch Rechtecke, deren Seiten nicht parallel zu den Kanten liegen, sondern die Diagonalen des Geobretts ausnutzen, um eine typische Fehlvorstellung von Lernenden zu adressieren. Neben der Unterstützung des Verstehens des Problems fordert dieses Vorgehen auch die Interpretation und Bewertung der Ausgaben des Bildgenerators durch die Lernenden als weiteren Aspekt von Problemlösekompetenz. Die generierte Visualisierung (Abbildung 2) zeigt nur prototypische Abbildungen von Rechtecken, deren Kanten parallel zur Bildkante liegen. Schülerinnen und Schüler könnten an dieser Stelle die Leistungsfähigkeit der KI überschätzen, also der Annahme aufsitzen, dass dies alle Lösungen sind. Um dem zu entgegen, bedarf es der Kombination von fachlicher Kompetenz und KI-Kompetenz, sonst erfüllt dieses heuristische Hilfsmittel nicht die Funktion des Unterstützens im Sinne einer Denkhilfe. Ein unterrichtlicher Einsatz verlangt – wie auch bei anderen Medien – eine entsprechende Vorbereitung zur Schulung entsprechender Nutzungsstrategien und ergibt sich nicht von selbst, auch wenn die allgegenwärtige Präsenz von KI-Tools dies vermuten ließe.

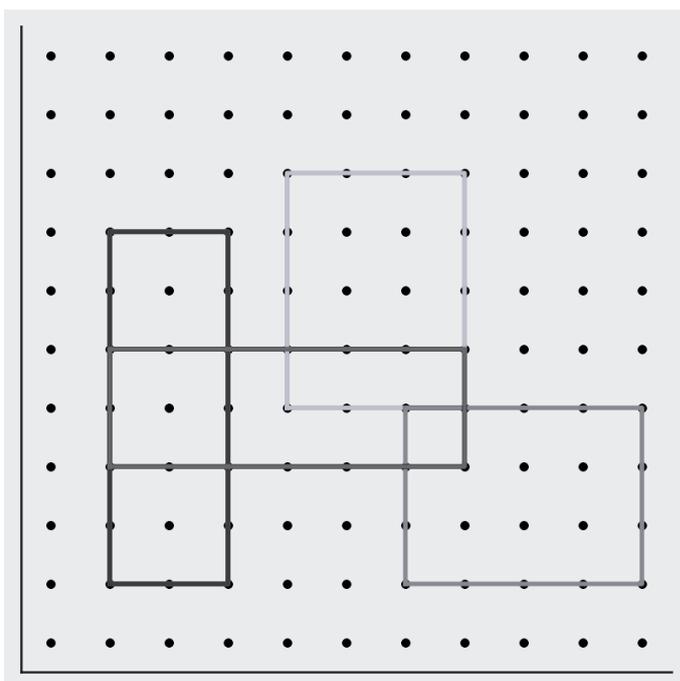


Abbildung 2: Eine mit *DALL-E* erstellte Visualisierung als Hilfe für den Problemlöseprozess.

In dieser Hinsicht kann auch auf Textgeneratoren zurückgegriffen werden. Statt sich an die Lehrkraft zu wenden, könnten die Lernenden einen Chatbot (z.B. *ChatGPT*) für mögliche Unterstützung konsultieren (siehe Abbildung 3). Das Erstellen eines geeigneten Prompts erfordert entsprechende Kompetenzen sowie die Reflexion des Verhältnisses zwischen Mensch und KI. Denn anders als beim Nachfragen bei einer Lehrkraft, antwortet der Textgenerator nur auf den Prompt, der gestellt wird und kann dabei nicht die Situation im Klassenraum antizipieren. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass nicht alle Lernenden den Ehrgeiz haben, sich nur bei einem Lösungsschritt helfen zu lassen, sondern vielmehr dazu neigen, sich bereits die komplette Lösung ausgeben zu lassen. Dieser Situation kann entgegengewirkt werden, indem die Lernenden durch Reflexions- und Transferaufgaben

dazu angeregt werden, das Wissen aus dem Output des Textgenerators selbst zu überprüfen und anzuwenden, beispielsweise zur Lösung eines neuen Problems. Auch dieses Vorgehen soll Lernende dafür sensibilisieren, dass die im Allgemeinen überhöhte Annahme der Leistungsfähigkeit nicht per se Gültigkeit hat und der Problemlöseprozess nicht ohne fachliche Kompetenzen auskommt.

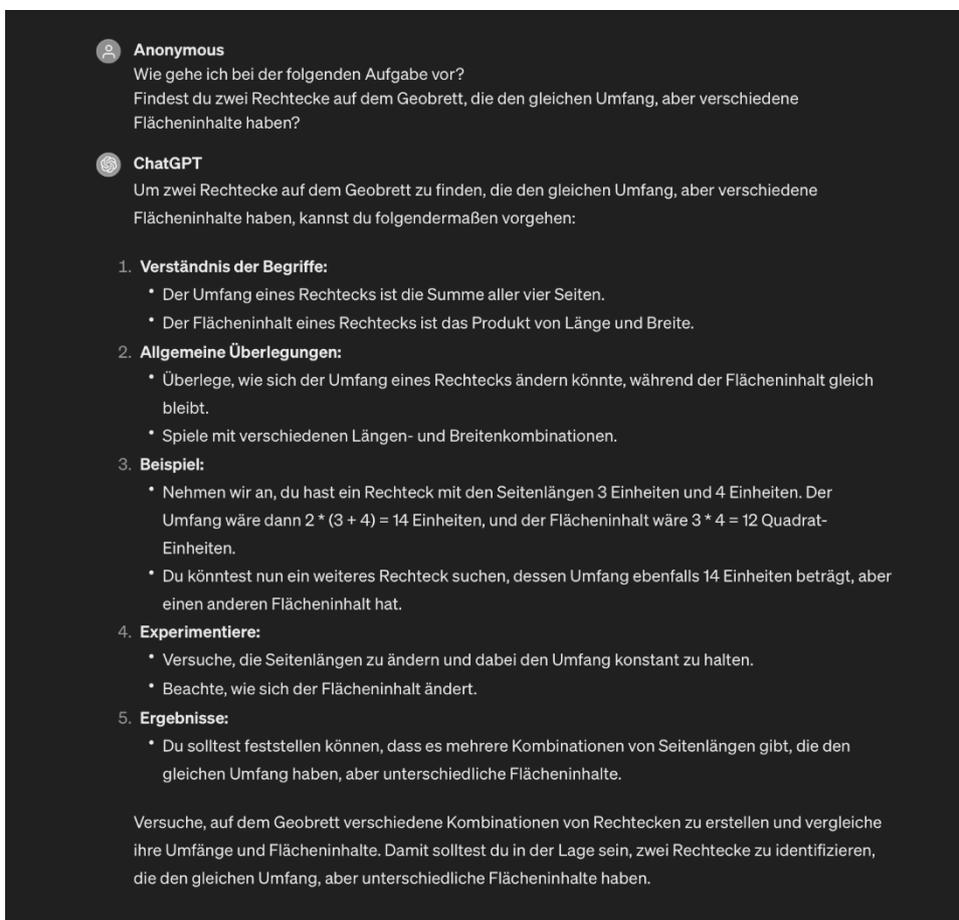


Abbildung 3: Eine beispielhafte Antwort von *ChatGPT*, die den Problemlösungsprozess lösungsorientiert unterstützen könnte.

Auch wenn der Lösungsraum für die oben genannte Aufgabe überschaubar ist, ist auch ein weiteres Vorgehen denkbar. Mit Hilfe von künstlich-intelligenten Tools, wie der *teachable machine*, könnte mit einem Set von Bildern gefundener Lösungen ein Algorithmus trainiert werden. Diese Anwendung könnte dann dabei helfen, weitere Lösungen auf ihre Richtigkeit, also den identischen Flächeninhalt, zu überprüfen. Dieser Gedanke knüpft dabei zum einen daran, dass es für den Größenbereich des Flächeninhalts kein Messgerät zur Verfügung steht. Er kann nur über direkte bzw. indirekte Vergleiche ermittelt oder berechnet werden. Zum anderen knüpft es an das Making (Barberi et al. 2020) an und bietet darüber eine andere Herangehensweise an die Thematik der heuristischen Hilfsmittel. Dieses Vorgehen stellt die produktive Nutzung von KI in den Mittelpunkt. Anders als bei den vorgenannten Beispielen, wird hier kein bestehendes Angebot genutzt, sondern vielmehr die eigene Schaffenskraft und Souveränität in einer digital geprägten Welt ausgenutzt, um eines selbst zu erstellen.

### 3.2 Interpolationsbarrieren

Wenn die oben genannte Aufgabenstellung (siehe Tabelle 1) in ein Problem mit einer Interpolationsbarriere abgewandelt würde, also eine hohe Klarheit über den Zielzustand als auch über die

vorhandenen Mittel zur Problemlösung bestehen würde, ändert sich die Anforderung auf die geeignete Kombination gegebener Mittel. Hinsichtlich einer konkreten Umgestaltung der Aufgabe könnte z.B. eine *Tipp-Karte* oder ein *Merksatz* mit dem Hinweis auf die Nutzung des Einheitsquadrats ergänzt werden. Die Aufgabenstellung für eine Teilaufgabe lautet dann z.B.: *Spanne möglichst viele Rechtecke mit demselben Flächeninhalt von sechs Einheitsquadraten. Tipp: Der Flächeninhalt von vier umspannten Nägeln entspricht einem Einheitsquadrat.*

Mit Blick auf die Nutzung von künstlich-intelligenten Tools würden sich die bereits vorstehend beschriebenen Tools ebenfalls anbieten. Allerdings stellt sich dann die Frage des Aufwands und der pädagogischen Verantwortung im Sinne des Primats der Pädagogik. Eine Problemlöseaufgabe mit einer Interpolationsbarriere ist aus unserer Perspektive für den Einsatz künstlich-intelligenter Hilfen eher ungeeignet, da solche Aufgaben meist nicht anspruchsvoll genug sind. Anders sähe es aus, wenn ein Gegenspieler in die Aufgabe integriert wird. Ein solcher Gegenspieler könnte durch seine Handlungen die Problemsituation dynamisch verändern und das Finden einer Lösung erschweren. Dies macht die Handlungsabfolgen komplexer und erhöht die Anforderungen an die Problemlösekompetenz. Auch der Verstehensprozess dieser Aufgaben erscheint nicht von besonderes hohen Anforderungen geprägt, so dass der Aufwand des Erlernens der Bedienung eines künstlich-intelligenten Tools ungerechtfertigt wäre.<sup>2</sup>

### 3.3 Dialektische Barrieren

Die oben beschriebene Aufgabe könnte eine dialektische Barriere enthalten, wenn sie wie folgt umgestaltet wird: Die Lernenden kennen nur den Umfang den Spanngummis (im normalen ungespannten Zustand) und wissen, um wie viele cm das Spanngummi maximal ausgedehnt werden kann, ohne zu reißen. Die Lernenden werden dann dazu aufgefordert, selbst eine passende Aufgabe zu dem gegebenen Szenario zu entwickeln. Es handelt sich folglich um ein offenes Problem, da der Zielzustand unbekannt ist. Die Lösung von Problemen mit einer solchen Barriere erfolgt zumeist in einem dialektischen Prozess: Ein Zielvorschlag oder -entwurf wird auf Widersprüche überprüft und entsprechend verändert. Eine passende Aufgabenstellung, die Lernende daraus ableiten könnte, könnte die folgende Frage beinhalten: *Wie verändert sich der Flächeninhalt der mit den Spanngummis gebildeten Rechtecke in Abhängigkeit davon, wie sehr die Gummis gedehnt werden?* Bei dieser Aufgabe könnten *Learning Analytics* den Prozess der Problemlösung wie folgt unterstützen: Ein digitales Geoboard wird den Lernenden unterstützend zur Verfügung gestellt. Es zeigt das in der Aufgabe beschriebene Nagelbrett sowie die unterschiedlich farbigen Spanngummis. Abbildung 4 visualisiert, wie ein solches digitales Board ungefähr aussehen könnte.

---

<sup>2</sup> Diese Einschätzung bezieht sich auf schulische Interpolationsprobleme, die in der Regel nicht die nötige Komplexität aufweisen. Da die Wahrnehmung der Problemschwierigkeit jedoch subjektiv ist, kann sich dies im Einzelfall anders darstellen.



Problemlöseaufgabe auf der Basis einer Analyse des Lernverhaltens an das Vorwissen der Lernenden anpassen oder ihnen Übungsaufgaben und Hilfen zuordnen. Sie bieten schließlich auch einen Anlass, um über die Möglichkeiten und Mechanismen von KI ins Gespräch zu kommen. Dabei wird insgesamt erkennbar, wie durch KI-Anwendungen in Szenarien des Problemlösens das Zusammenspiel von Mensch und Technik gleichermaßen genutzt und reflektiert werden kann. Deutlich werden im Beispiel Chancen für das Lernen, aber auch die Limitationen der KI sichtbar, die eine Auseinandersetzung mit der Leistungsfähigkeit des Digitalen und ihren Implikationen im Unterricht notwendig machen.

Beim Erlernen von Problemlösekompetenzen im Fachunterricht stellt sich damit die grundsätzlichere Frage nach einer Begründung des Einsatzes von KI: Was ist das Ziel des Einsatzes von KI-Systemen im Lehr- und Lernprozess? Mit welchen Argumenten lassen sich KI-Anwendungen begründen, wenn es um die Entwicklung von Problemlösekompetenz geht? Wir können unterschiedliche Begründungsmuster unterscheiden:

1. **besseres Erlernen von Fachinhalten:** Es kann darum gehen, das Erlernen eines Fachinhaltes mithilfe von KI zu vereinfachen und zu verbessern. Auch der Taschenrechner trägt im Mathematikunterricht dazu bei, bestimmte kognitive Verarbeitungsprozesse auszulagern (*cognitive offloading*), um sich auf komplexere Konzepte – jenseits des Rechnens – zu fokussieren. KI-Systeme können in diesem Sinne, z.B. bei großen Datensätzen, Informationen zusammenführen und aufbereiten, damit sich die Person auf zentrale Aspekte des Problemlöseprozesses konzentrieren kann. Gerade bei offenen Problemen, bei denen eine Vielzahl von Parametern unbekannt sind, hilft die Fokussierung auf die Entscheidungsfindung bei einer Problemlösung. Bezogen auf das von uns gewählte Beispiel aus der Mathematik sind künstlich-intelligente Anwendungen in der Lage, die Komplexität der Aufgabe zu reduzieren, indem bspw. die KI-generierte Visualisierung verschieden große Rechtecke vorschlägt oder *ChatGPT* eine Liste mit Schritten zur Problemlösung anbietet.
2. **Lernen des Umgangs mit KI:** Gerade in der beruflichen Bildung kann es darum gehen, das Problemlösen in der Arbeitsteiligkeit von Mensch und Technik zu erlernen. Die Person agiert in beruflichen Kontexten zusehends in Interaktion mit KI-basierten Systemen: Es geht – unter Nutzung von KI – um Performanz beim Bearbeiten betrieblicher Aufträge. Dies geschieht etwa im Umgang mit KI-basierten Systemen in der Produktion, in der industriellen Fertigung im Umgang mit Robotern oder bei KI-basierten Dienstleistungen, etwa in der Medizin oder im Rechtswesen, bei denen berufliche (Problemlöse-)Kompetenz zunehmend mit digitaler Technik verwoben ist. Diese Perspektive bezieht sich vor allem auf Problemtypen, die als Interpolationsbarriere benannt wurden. Ziele und Lösungswege sind an sich bekannt. Aufgrund einer Abweichung, Störung oder einer anderen ungeplanten Komponente im Ablauf ist eine Kombination an sich bekannter Mechanismen zu identifizieren, die die Problemlösung eröffnet. Diese beruflichen Kompetenzen müssen entsprechend durch schulische Lerngelegenheit grundgelegt werden. Die Schule kann und sollte Lernende auf den Umgang mit KI-Anwendungen vorbereiten, die später im Beruf ebenfalls zu nutzen sind.
3. **Reflexion des Verhältnisses zu KI:** Es kann darum gehen, die Mechanismen der Problemlösung mithilfe von KI-Systemen zu kennen, zu verstehen, zu beherrschen und zu reflektieren. Dies beinhaltet die Auseinandersetzung mit der Leistungsfähigkeit des Digitalen und was dies für uns als private, berufstätige und soziale Personen bedeuten mag. Diese eher medienerzieherische Perspektive befragt das Verhältnis der Person zu einer digital geprägten Welt. Dies verweist auch auf Informationskompetenz und schließt die Betrachtung der gesellschaftlichen und kulturellen Implikationen von Möglichkeiten und Grenzen einer Subjektivierung in einer solchen Welt ein (Engel/ Kerres 2023; Kerres/Klar 2024). Bezogen auf das von uns gewählte Beispiel stellt sich die Frage, wie junge Lernende KI-Tools für das Lösen von Problemen nutzen. Eine systematische Einbettung ins Unterrichtsgeschehen und auch die kritische Reflexion des Einsatzes von KI-Anwendungen für den Kompetenzerwerb der Lernenden sollte regelmäßig stattfinden. Wie wir in Absatz 3a erörtert haben, besteht andernfalls das Risiko, dass Lernende sich durch künstlich-intelligente Tools komplette Lösungen ausgeben lassen. Dem kann entgegengewirkt werden, indem die Lehrkraft durch Reflexions- und Transferaufgaben dazu anregt,

den Output der entsprechenden KI zu überprüfen und anzuwenden, beispielsweise zur Lösung eines neuen Problems.

Alle genannten Aspekte können sich ergänzen, und es erscheint sinnvoll, in didaktischen Konzepten mehrere Aspekte zusammenzuführen, wenn es um eine transformatorische Perspektive auf die Ermöglichung von bildenden Erfahrungen geht.

## 5 Literatur

Barberi, Alessandro/Swertz, Christian/Himpsl-Gutermann, Klaus/Grünberger, Nina (2020): Editorial 4/2020: Making und Makerlabs. In: *Medienimpulse*, 58(4), S. 1-16. <https://doi.org/10.21243/mi-04-20-27>

Bruder, Regina/Collet, Christina (2011): *Problemlösen lernen im Mathematikunterricht*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.

Dörner, Dietrich (1976): *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Dörner, Dietrich (2023): *Problemlösen und Künstliche Intelligenz*. In: Förster, Torsten Fritzlar & B. Rott (Hrsg.): *Probleme sind zum Lösen da: Eine mathematisch-didaktische Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. Frank Heinrich in den Ruhestand*, S. 79-97. Münster: WTM-Verlag

Engel, Juliane/Kerres, Michael (2023): *Bildung in der Nächsten Gesellschaft – Eine postdigitale Sicht auf neue Formen der Subjektivierung*. In: *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik*, 23, S. 1–13. <https://doi.org/10.21240/lbzm/23/04>

Hölbling-Inzko, Sanda (2018): „+ 1 für die Frage“ Charakteristika der Wissenskommunikation auf der Question-and-Answer-Webseite German Language. In: *Knowledge in Action: Neue Formen der Kommunikation in der Wissensgesellschaft*, S. 111-136. Wiesbaden: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-18337-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-658-18337-0_5)

Kerres, Michael (2023): *Bildung in der Nächsten Gesellschaft: Eine postdigitale Sicht auf wirkmächtige Technik und Didaktik*. In: Brandhofer, Gerhard/Wiesner, Christian (Hrsg.), *Didaktik in einer Kultur der Digitalität. Wirkmächtige Mediendidaktik - Zukunftsorientierte Pädagogik*, S. 229-250. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Kerres, Michael/Buntins, Katja/Buchner, Josef/Drachler, Hendrik/Zawacki-Richter, Olaf (2023): *Lernpfade in adaptiven und künstlich-intelligenten Lernprogrammen. Eine kritische Analyse aus mediendidaktischer Sicht*. In: Witt, Claudia/Gloerfeld, Christina/Wrede, Silke Elisabeth (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz in der Bildung*, S. 109-131. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Kerres, Michael/Klar, Maria/Mulders, Miriam (2024): *Informationskompetenz neu denken: Von Google zu ChatGPT*. In: *Erwachsenenbildung. Vierteljahresschrift für Theorie und Praxis*. <https://learninglab.uni-due.de/publikationen/15623>

Knaus, Thomas (2023): *Künstliche Intelligenz und Bildung: Was sollen wir wissen? Was können wir tun? Was dürfen wir hoffen? Und was ist diese KI? Ein kollaborativer Aufklärungsversuch*. In: *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik*, (23), S. 1-42. <https://doi.org/10.25656/01:27904>

Kumar, Ashish/Singh, Divya/Vohra, Rubeena (2023): *Improving Learning Abilities Using AI-Based Education Systems*. In: *AI-Assisted Special Education for Students With Exceptional Needs*, S. 137-155. Hershey, PA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0378-8.ch006>

Labenz, Stefan (2023): *Individuelles Lernen durch gameful language learning: Mit Genial.ly und ChatGPT interaktiv und eigenständig lernen*. In: *ENGLISCH 5-10*, 2023(64), S. 34-36.

Lenze, Martina (2010): *Sekundo. Mathematik (Für differenzierende Schulformen)*. Braunschweig: Schroedel.

Mayer-Schönberger, Viktor/Cukier, Kenneth (2014): *Lernen mit Big Data: Die Zukunft der Bildung*. München: Redline Wirtschaft.

- Mezirow, Jack (1991): *Transformative dimensions of adult learning*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Rieckhoff, Marina (2022): „Mit der Bildung spielt man nicht, oder doch?“ – Einsatzfelder von Gamification und Serious Games in der Bildung. In: *Digitalisierung und Weiterbildung. Beiträge zu erwachsenenpädagogischen Forschungs- und Entwicklungsfelder*, S. 115-130.
- Rott, Benjamin/Bruder, Regina/Heinrich, Frank/Bauer, Christina (2023): *Problemlösen lernen*. In: Bruder, Regina/Büchter, Andreas/Gasteiger, Hedwig/Schmidt-Thieme, Barbara/Weigand, Hans-Georg (Hrsg.) *Handbuch der Mathematikdidaktik*, S. 313-229. Berlin und Heidelberg: Springer Spektrum. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-66604-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-662-66604-3_10)
- Schaumburg, Heike (2022): *Individuelle Förderung mit digitalen Medien: Ein Problemaufriss*. In: *DDS – Die Deutsche Schule*, 114(3), S. 250-262. <https://doi.org/10.31244/dds.2022.03.02>
- Stiller, Daniela/Krichel, Katharina/Schwarz, Wolfgang (2021): *Heuristik im Mathematikunterricht*. Berlin und Heidelberg: Springer Spektrum. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-63752-4>
- Weitz, Katharina (2023): *Erklärbare Künstliche Intelligenz im Kontext von Bildung und Lernen*. In: Witt, Claudia/Gloerfeld, Christina/Wrede, Silke Elisabeth (Hrsg.) *Künstliche Intelligenz in der Bildung*, S. 413-432. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Wittmann, Gerald (2009): *Problemlösen*. In Weigand, Hans-Georg/Filler, Andreas/Hölzl, Reinhard/Kuntze, Sebastian/Ludwig, Matthias/Roth, Jürgen/Schmidt-Thieme, Barbara/Wittmann, Gerald (Hrsg.) *Didaktik der Geometrie für die Sekundarstufe I*, S. 81-97. Berlin und Heidelberg: Springer Spektrum.
- Wolf, Karsten (2016): *Forschendes Lehren mit digitalen Medien: wie forschendes Lernen durch Teilhabe und mediale Unterstützung gelingen kann*. In: Kergel, David/Heidkamp, Birte (Hrsg.) *Forschendes Lernen 2.0: Partizipatives Lernen zwischen Globalisierung und medialem Wandel*, S. 263-273. Wiesbaden: Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-11621-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-658-11621-7_13)
- Zech, Friedrich (1998): *Grundkurs Mathematikdidaktik: Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren und Lernen im Fach Mathematik* (10. Auflage). Weinheim: Beltz.