



KLEINE KIELER
BEITRÄGE ZU

Künstlicher Intelligenz

BAND 2

KLEINE KIELER BEITRÄGE ZU
Künstlicher Intelligenz

Pädagogische und fachdidaktische Perspektiven
auf technologische Entwicklungen

BAND 2

Herausgeben von
Kirsten Schindler, Nicolaus Wilder, Virtuelles Kompetenzzentrum
für Künstliche Intelligenz und Wissenschaftliches Arbeiten (VK:KIWA)

Büsra Tütüneken

Künstliche Intelligenz zur Förderung von Inklusion

Perspektiven für eine inklusive Bildung
im schulischen Kontext

KLEINE KIELER BEITRÄGE ZU KÜNSTLICHER INTELLIGENZ | BAND 2

eISSN: 3053-4488

HERAUSGEGEBEN VON

Prof.in Dr. Kirsten Schindler , Bergische Universität Wuppertal

Dr. Nicolaus Wilder , Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Virtuelles Kompetenzzentrum für Künstliche Intelligenz und

Wissenschaftliches Arbeiten

<https://www.vkkiwa.de/>

AUTORIN

Büsra Tütüneken, M.Ed., hat ihr Masterstudium im Lehramt für Berufskollegs mit den Fächern Deutsch und Mathematik an der Bergischen Universität Wuppertal abgeschlossen. Ihre Forschungsinteressen liegen in der Didaktik der deutschen Sprache und Literatur sowie im Einsatz digitaler Technologien für eine inklusive Bildung.

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnetet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliographische Daten sind über <https://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Open Access



Das Werk ist unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung-4.0 International veröffentlicht.

Den Vertragstext finden Sie unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Bitte beachten Sie, dass einzelne, entsprechend gekennzeichnete Teile des Werks von der genannten Lizenz ausgenommen sein bzw. anderen urheberrechtlichen Bedingungen unterliegen können.

Das Werk ist auf dem Open-Access-Publikationsserver MACAU der Universitätsbibliothek Kiel (<https://macau.uni-kiel.de>) frei verfügbar: <https://doi.org/10.38071/2025-01448-3>.

Kiel, 2025

Selbstverlag des Virtuellen Kompetenzzentrums für Künstliche Intelligenz und Wissenschaftliches Arbeiten (VK:KIWA) im Hosting-Service der UB Kiel.

Titelbild: Erstellt mit Recraft (<https://www.recraft.ai/>).

Vorwort der Herausgebenden

Im zweiten Band der Reihe *Kleine Kieler Beiträge zur Künstlichen Intelligenz* wird ein Thema aufgegriffen, das im Diskurs um Künstliche Intelligenz an Schulen und Hochschulen bislang weniger diskutiert und nur von einzelnen Forschenden in den Fokus gerückt wird: das Zusammenspiel von KI und Inklusion. Büsra Tütüneken geht es in ihrer Arbeit „Künstliche Intelligenz zur Förderung von Inklusion: Perspektiven für eine inklusive Bildung im schulischen Kontext“ darum, KI-bezogene Anwendungen zur assistierten und adaptiven Unterstützung für Schüler*innen vorzustellen und konkret für Unterrichtssettings zu diskutieren. Das gerät durchaus herausfordernd, denn die Datengrundlage ist bislang dünn. Es gibt wenige, je nach Anwendung keine empirischen Untersuchungen. Frau Tütüneken muss sich daher auf die Beschreibungen der Unternehmen, einzelne Selbstberichte von Betroffenen und ihre eigene kritische Perspektive beziehen. Die Herangehensweise ist also gleichermaßen mutig wie innovativ. Wir erhoffen uns von diesem Band daher auch, dass weitere (vor allem auch empirische) Studien folgen werden. Eine Grundlage dafür, auch mit der Aufbereitung der Literaturgrundlage im Literaturverzeichnis, schafft die Arbeit von Frau Tütüneken sicherlich.

Die Autorin formuliert als Zielsetzung ihrer Arbeit, aufzuzeigen, wie „KI-basierte Systeme konkret zur Förderung von Inklusion in der Schule beitragen können – und welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit sie ihr Potenzial entfalten, ohne neue Ausschlüsse zu erzeugen“. Wenngleich sich Frau Tütüneken im engeren Sinne auf Schüler*innen mit Förderbedarf bezieht, adressiert sie durchaus ein weites Verständnis von Inklusion, das auch andere Heterogenitätsdimensionen einschließt – insbesondere bei den adaptiven Zugängen ist das auch von besonderer Relevanz.

Ausgewählt werden insgesamt sechs Anwendungen, jeweils drei assistive und drei adaptive Technologien. Die Beschreibungen der Anwendungen geraten insgesamt anschaulich, differenziert und angemessen distanziert. Der Gefahr, der enthusiastischen Werbung der Hersteller aufzusitzen, geht sie dabei gekonnt aus dem Weg. Als ein zentrales Prüfkriterium nennt sie

dabei auch, ob Lehrkräfte in der Lage sind, die Technologien (ohne umfassende technische Kenntnisse) zu bedienen und in ihrem Unterricht einzusetzen. KI kann dann nämlich durchaus Potenziale freisetzen, einen lang geforderten differenzierenden, individualisierten Unterricht ermöglichen und kommunikative Teilhabe schaffen. Letzteres erscheint besonders zentral, denn Lernende erleben damit Partizipation und ‚Normalität‘.

Als Resümee lässt sich daraus der Schluss ziehen, dass der Einsatz (aber auch die Weiterentwicklung) solcher Technologien unbedingt wünschenswert ist und der Umgang damit auch zum Alltag von Lehrkräften gehört. Hinderlich sind bislang eine fehlende Infrastruktur sowie technische und organisatorische Herausforderungen wie die Notwendigkeit, möglichst neue Geräte (Smartphones, Tablets) bzw. Geräte eines bestimmten Herstellers (Apple) zu nutzen. Die grundsätzliche Diskussion um datenschutzrechtliche und ethische Aspekte spielt sicher auch hier eine besondere Rolle, insbesondere, wenn personenbezogene (z. B. die Stimme oder ein Video, auch sensible medizinische) Daten erfasst, bearbeitet und gespeichert werden. Was in der Diskussion aber fehlt, und auch in der Arbeit von Frau Tütüneken nur angedeutet wird, ist noch eine durchaus grundsätzlichere Frage danach, ob Schule Schüler*innen durchgehend ‚überwachen‘ sollte, z. B. hinsichtlich ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration.

Für die Ausbildung von Lehrkräften stellt sich die Frage: Können wir Lehrkräfte schon entsprechend instruieren, wenn zwar die Technologien zur Verfügung stehen, die empirischen Befunde aber noch nicht ausreichend geprüft sind? Frau Tütüneken liefert hier Hinweise, die für die Beantwortung dieser Frage relevant sind.

Kirsten Schindler & Nicolaus Wilder

Inhalt

Vorwort der Herausgebenden	4
1 Einleitung	7
1.1 Problemstellung und Relevanz	8
1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage	9
1.3 Aufbau	10
2 Grundlagen und theoretischer Rahmen	12
2.1 Definition zentraler Begrifflichkeiten	12
2.1.1 Künstliche Intelligenz	12
2.1.2 Inklusion	16
2.1.3 Assistive Technologien	18
2.1.4 Adaptive Lernsysteme	23
2.2 Überblick über aktuelle Forschung und Entwicklungen	26
3 KI-Technologien zur Förderung von Inklusion	30
3.1 Assistive Technologien	30
3.1.1 Unterstützung bei Hörschädigung: Ava	30
3.1.2 Unterstützung bei Sehbehinderung: OrCam MyEye 2	35
3.1.3 Unterstützung bei körperlich-motorischen Beeinträchtigungen: Predictable 7	39
3.2 Adaptive Lernsysteme	47
3.2.1 HyperMind	47
3.2.2 Area9 Lyceum Rhapsode	55
3.2.3 Bettermarks	60
4 Chancen und Herausforderungen für die Inklusion durch KI-Technologien	71
4.1 Potenziale der Technologien für inklusive Bildung	72
4.2 Pädagogische, technische und organisatorische Herausforderungen	74
4.3 Datenschutz und ethische Aspekte	77
5 Fazit	81
6 Literaturverzeichnis	85

1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung verändert das Bildungswesen in einem bisher ungekannten Ausmaß und stellt Schulen, Lehrkräfte und Bildungspolitik vor tiefgreifende Herausforderungen und Chancen zugleich (Wollersheim, 2023, S. 3–4; Benkö & Waltl, 2024, S. 17). Besonders die Integration Künstlicher Intelligenz (KI) eröffnet neue Möglichkeiten, Lernprozesse zu personalisieren, individuelle Lernwege zu gestalten und auf diese Weise zu einer gerechteren, inklusiveren Bildungslandschaft beizutragen (Meier, 2019 S. 3; Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 35–36). In einem Bildungssystem, das zunehmend durch gesellschaftliche Heterogenität geprägt ist und sich zugleich an der UN-Behindertenrechtskonvention (2009) orientieren muss, rückt die Frage in den Fokus, wie digitale Technologien – insbesondere KI-basierte Systeme – zur Förderung von Teilhabe, Selbstbestimmung und Bildungsgerechtigkeit beitragen können (Schulz, 2021, S. 34–35; Schulz, 2018, S. 347–348).

Dabei stehen vor allem zwei technologische Konzepte im Mittelpunkt aktueller Entwicklungen: assistive Technologien, die Barrieren für Schüler*innen mit Beeinträchtigungen abbauen und ihre funktionalen Fähigkeiten unterstützen (Schulz, 2018, S. 347–348; Fisseler, 2012, S. 87), sowie adaptive Lernsysteme, die in der Lage sind, Lernpfade individuell anzupassen und kontinuierliches Feedback zu geben (Wom, 2023; Weich et al., 2021, S. 26; Paramythis & Loidl-Reisinger, 2004, S. 181–182). Beide Systeme gelten als besonders vielversprechend im Hinblick auf die Gestaltung inklusiver Bildungsangebote, da sie einerseits kompensatorisch wirken und andererseits zur aktiven Lernförderung beitragen (Blanc & Beudt, 2024, S. 4–5; Lütje-Klose, 2023, S. 17). Der Begriff ›Diklusion‹ (Schulz, 2023, S. 260) verweist auf die notwendige systematische Verbindung von digitaler Bildung und Inklusion: Nur durch ein Zusammendenken beider Bereiche lassen sich Bildungsprozesse so gestalten, dass alle Lernenden, ungeachtet ihrer individuellen Voraussetzungen, gleichberechtigt teilnehmen können.

Gleichzeitig sehen diese Systeme sich jedoch mit Herausforderungen konfrontiert, darunter ethische Bedenken, Datenschutzfragen und die Gefahr

einer Verschärfung von Bildungsungerechtigkeit (Heißenberger, 2024, S. 165; Wom, 2023). Die Frage, wie solche Systeme zur Unterstützung einer inklusiven Bildung und zum Abbau sozialer Ungerechtigkeiten effektiv eingesetzt werden können, ist von großer Relevanz. Im schulischen Kontext, in dem die Heterogenität der Klasse häufig eine Herausforderung darstellt, kann die adäquate Nutzung solcher Lernsysteme einen wesentlichen Beitrag zur Schaffung gerechter Bildungsbedingungen leisten (Gabriel et al., 2023, S. 54). Dieses Thema ist mithin nicht nur aktuell, sondern zugleich von zentraler Bedeutung für die Diskussion über die zukünftige Gestaltung von Bildungsprozessen.

1.1 Problemstellung und Relevanz

Die schulische Realität in Deutschland ist durch eine zunehmende Vielfalt an Lernvoraussetzungen, kulturellen Hintergründen und Förderbedarfen geprägt. Gleichwohl existieren weiterhin strukturelle Benachteiligungen, die eine gleichberechtigte Teilhabe an Bildung erschweren – insbesondere für Kinder und Jugendliche mit Beeinträchtigungen (Fisseler, 2023, S. 326). In diesem Spannungsfeld gewinnt der Einsatz digitaler Technologien an Bedeutung, da diese potenziell imstande sind, Differenzierung und Individualisierung effektiv umzusetzen. KI-gestützte Systeme wie adaptive Lernplattformen oder assistive Technologien könnten diesbezüglich einen entscheidenden Beitrag leisten, indem sie Lerninhalte passgenau bereitstellen, Lernstände diagnostizieren und gezieltes Feedback ermöglichen (Benkö & Waltl, 2024, S. 18; Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36).

Gleichzeitig begegnen diesen Technologien erhebliche Herausforderungen. So basieren adaptive Systeme auf der Sammlung und Analyse großer Mengen personenbezogener Daten, resultierend in berechtigten datenschutzrechtlichen und ethischen Bedenken (Heißenberger, 2024, S. 165). Darüber hinaus stellt die sogenannte ›digitale Spaltung‹ ein gravierendes Problem dar: So sind nicht alle Schulen gleichermaßen mit digitalen Ressourcen ausgestattet. Ferner verfügen nicht alle Lernenden über die nötige digitale Infrastruktur zu Hause (Gabriel et al., 2023, S. 54). Überdies besteht die Gefahr, dass technologische Lösungen pädagogische Prinzipien unterordnen oder die Rolle der Lehrkraft in inadäquater Weise schwächen. In ähnlicher Weise

ist der Einsatz assistiver Technologien nicht frei von Herausforderungen: Neben finanziellen Hürden und Fragen der Barrierefreiheit bestehen häufig Unsicherheiten im pädagogischen Umgang sowie ein beachtlicher Fortbildungsbedarf auf Seiten der Lehrkräfte (Krstoski & Schulz, 2023, S. 3; Müller & Schiweing, 2023, S. 875). Ungeachtet dessen sind zahlreiche Systeme nicht universell einsetzbar, vielmehr erfordern sie eine individuelle Anpassung und technische Wartung, wodurch ihre langfristige Integration im Schulalltag kompliziert wird. Trotz dieser Erschwernisse wird der Einsatz adaptiver und assistiver Technologien in der inklusiven Bildung als vielversprechender Weg erachtet, um Barrieren zu verringern und individuelle Lernprozesse zu stärken – sofern sie sinnvoll eingebettet, kritisch reflektiert und didaktisch fundiert genutzt werden (Schulz & Beckermann, 2020, S. 5–8; Wom, 2023).

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Vor dem Hintergrund der oben genannten Thematik geht die vorliegende Arbeit der Frage nach, wie KI-basierte Systeme konkret zur Förderung von Inklusion in der Schule beitragen können – und welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit sie ihr Potenzial entfalten, ohne neue Ausschlüsse zu erzeugen. Damit intendiert sie, das Potenzial von KI-gestützten Technologien – insbesondere adaptiver Lernsysteme und assistiver Technologien – zur Förderung von Inklusion im schulischen Kontext umfassend zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird ein detaillierter Blick auf die Möglichkeiten und Herausforderungen geworfen, die diese Technologien bieten. Dies ist insbesondere von Relevanz, da KI zunehmend als Instrument zur Schaffung personalisierter Lernwege und zum Erwerb digitaler Kompetenzen wahrgenommen wird, was wiederum zur Verbesserung der Inklusion beiträgt (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36).

Zugleich verfolgt die Arbeit einen exemplarischen Zugang, der Inklusion im engeren Sinne – mithin den Zugang von Menschen mit Behinderungen zu Bildung – in den Mittelpunkt stellt, diesen jedoch um weitere Diversitätsdimensionen wie sprachliche, kulturelle und soziale Unterschiede ergänzt (Lütje-Klose, 2023, S. 17; Schulz, 2023, S. 260). Diese differenzierte Perspektive ermöglicht es, sowohl die kompensatorischen Funktionen assistiver

Technologien als auch die personalisierenden Potenziale adaptiver Systeme in ihren jeweiligen Wirkbereichen differenziert zu analysieren. Hierbei ist wichtig, die grundlegenden theoretischen Modelle zur Nutzung von KI-Tools zu überprüfen, um ein Umfeld zu schaffen, in dem alle Schüler*innen aktiv und gleichberechtigt lernen können (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 39–40).

Ein weiterer Bestandteil der Zielsetzung ist die Analyse und Bewertung der praktischen Anwendungsbeispiele und Forschungsergebnisse zu bereits implementierten digitalen Lernangeboten, die sich im deutschen sowie internationalen Bildungssystem etabliert haben. Der Fokus liegt des Weiteren auf der technischen und didaktischen Umsetzung dieser Systeme, um relevante technische und ethische Fragestellungen zu erörtern. Ziel ist es, zu ermitteln, inwieweit diese Lernsysteme barrierefrei zugänglich sind und wie sie den vielfältigen Anforderungen gerecht werden können, die inklusives Lernen an Schulen stellen.

1.3 Aufbau

Im Folgenden wird der Aufbau der vorliegenden Arbeit detailliert vorgestellt, um eine klare Orientierung durch die verschiedenen Themenbereiche zu bieten. Im Anschluss an die vorliegende Einleitung findet in den darauf folgenden Kapiteln eine Darlegung der theoretischen Grundlagen statt, welche für das Verständnis der Thematik im inklusiven Bildungskontext vonnöten sind. In diesem Rahmen werden zentrale Begrifflichkeiten wie ›Künstliche Intelligenz‹, ›Inklusion‹, ›assistive Technologien‹ und ›adaptive Lernsysteme‹ definiert und in ihren jeweiligen bildungsbezogenen Bedeutungszusammenhang eingeordnet. Daran anschließend wird ein Überblick über aktuelle theoretische und empirische Forschungslagen geboten, um die Potenziale, Grenzen und Diskurse im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI im schulischen Kontext – insbesondere im Hinblick auf inklusive Bildung – differenziert einordnen zu können.

Im Anschluss daran werden konkrete KI-Technologien zur Förderung von Inklusion exemplarisch vorgestellt. Im Zuge dessen werden sowohl assistive Technologien als auch adaptive Lernsysteme betrachtet. Im Einzelnen werden hierbei unter anderem die Systeme Ava, OrCam MyEye 2 und

Predictable 7 als assistive Technologien sowie HyperMind, Area9 und Bettermarks als adaptive Lernsysteme analysiert, um ihre Funktionsweise, Einsatzmöglichkeiten und empirische Bewertung im Bildungskontext darzustellen.

Daraufhin erfolgt eine systematische Auseinandersetzung mit den Potenzialen und Herausforderungen, die mit dem schulischen Einsatz KI-basierter Technologien verbunden sind. Der Fokus liegt hierbei auf technischen, didaktischen und organisatorischen Aspekten, ergänzt um zentrale Fragestellungen im Bereich Datenschutz und Ethik. Ziel ist es, ein möglichst umfassendes Bild der Bedingungen zu zeichnen, unter denen der Einsatz solcher Systeme im Sinne inklusiver Bildung gelingen kann.

Im abschließenden Fazit werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen geboten. Im Zuge dessen wird auf die fortschreitende Digitalisierung im Bildungssektor und deren Einfluss auf inklusive Praktiken eingegangen.

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer fundierten Auseinandersetzung mit der vorhandenen Literatur. Hierbei werden die vielfältigen Herausforderungen berücksichtigt, die im Rahmen der Nutzung digitaler Medien im inklusiven Bildungsbereich auftreten.

2 Grundlagen und theoretischer Rahmen

2.1 Definition zentraler Begrifflichkeiten

Für eine fundierte Auseinandersetzung mit dem Einsatz Künstlicher Intelligenz zur Förderung schulischer Inklusion ist es unerlässlich, zentrale Begriffe dieser Arbeit präzise zu definieren. Im Fokus stehen hierbei insbesondere die Schlüsselbegriffe ›Künstliche Intelligenz‹, ›Inklusion‹, ›Assistive Technologien‹ sowie ›Adaptive Lernsysteme‹. Diese Begriffe bilden das theoretische Fundament für die nachfolgenden Analysen und ermöglichen eine kontextualisierte Bewertung der Technologien im Hinblick auf ihre inklusiven Potenziale und Herausforderungen.

2.1.1 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine wissenschaftliche Disziplin, deren Ziel es ist, menschliche Wahrnehmungs- und Verstandesleistungen technisch zu modellieren und mithilfe informationsverarbeitender Systeme verfügbar zu machen (Görz et al., 2021, S. 1). Sie hat sich seit den 1950er-Jahren von einem theoretischen Konzept zu einer zentralen Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts entwickelt, die zahlreiche Lebens- und Gesellschaftsbereiche maßgeblich verändert hat. KI steht exemplarisch für die digitale Transformation, deren Auswirkungen sich nicht nur auf wirtschaftliche Prozesse, sondern zunehmend auch auf soziale, kulturelle und bildungspolitische Kontexte erstrecken (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 17–18, 21; Heinlein & Huchler, 2024, S. 2). Angesichts der komplexen technischen Entwicklungen und unterschiedlichen Anwendungskontexte ist der Begriff der Künstlichen Intelligenz bis heute nicht eindeutig definiert. Vielmehr wird KI heute als Sammelbegriff aufgefasst, der verschiedene technologische Verfahren wie maschinelles Lernen, neuronale Netze oder wissensbasierte Systeme umfasst. Diese nutzen datenbasierte Modelle, um kognitive Prozesse wie Wahrnehmung, Schlussfolgern oder Problemlösen algorithmisch zu rekonstruieren und in technischen Systemen abzubilden (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 15–16, 116).

Als ein zentrales Teilgebiet von KI gilt das Maschinelle Lernen (ML), welchem bei vielen der heutigen erfolgreichen KI-Anwendungen eine hohe Relevanz beizumessen ist (Bauckhage et al., 2021, S. 429). Es basiert auf der grundlegenden Annahme, dass die Fähigkeit zu lernen ein Kernelement intelligenter Systeme darstellt. Infolgedessen steht ML im Zentrum moderner KI-Entwicklung. Historisch lassen sich die Wurzeln des ML bis zu Alan Turing zurückverfolgen, welcher bereits in den 1950er-Jahren davon ausging, dass Maschinen durch Training zu intelligentem Verhalten befähigt werden könnten (Bauckhage et al., 2021, S. 429). Der Begriff beschreibt rechnergestützte Verfahren, bei denen Modelle im Wege der Analyse großer Datenmengen selbstständig entwickelt und verbessert werden. Im Mittelpunkt dessen stehen Erfahrung (Trainingsdaten) und deren algorithmische Verarbeitung. Lernprozesse lassen sich anhand der Art der Daten (z. B. Bilder, Texte) und der Modellstruktur unterscheiden – etwa nach numerischen Verfahren, wie tiefen neuronalen Netzen, oder logikbasierten Modellen (Bauckhage et al., 2021, S. 430).

Ein bedeutender Entwicklungsschub für ML ging von der zunehmenden Verfügbarkeit großer Datenmengen, derweil als »Big Data« bezeichnet, aus. Erst durch diese wurde es möglich, dass Maschinen nicht nur einfache Muster erkannten, sondern darüber hinaus komplexe Aufgaben lösen konnten, die zuvor menschlicher Intelligenz vorbehalten waren – beispielsweise in der medizinischen Diagnostik, dem autonomen Fahren oder der Verarbeitung natürlicher Sprache (Bauckhage et al., 2021, S. 429–430). Auf ML basierende KI-Systeme sind in der Lage, große und häufig unstrukturierte Datenmengen zu analysieren und dabei verborgene Muster, Korrelationen oder Zusammenhänge zu erkennen. Auf dieser Grundlage treffen sie Entscheidungen, die als technisch realisierte Wahrscheinlichkeitsoptimierungen interpretiert werden können. Zahlreiche Prozesse – etwa die Bild-, Sprach- und Texterkennung oder automatisierte Entscheidungsverfahren – werden auf diese Weise schneller, effizienter und teilweise autonom steuerbar (Heinlein & Huchler, 2024, S. 2). Zugleich zeigen sich hier zentrale Eigenschaften des ML: die Fähigkeit zur Anpassung an situative Bedingungen (Adaptivität), die Intransparenz interner algorithmischer Prozesse, die Kontingenz der Resultate in Abhängigkeit vom Kontext sowie die Selektivität der Ergebnisse infolge datenbasierter Verzerrungen und Pfadabhängigkeiten

(Heinlein & Huchler, 2024, S. 2-3). Eine besonders leistungsfähige Variante des ML ist das sogenannte Deep Learning. Es basiert auf dem Einsatz künstlicher neuronaler Netze, deren Architektur in abstrahierter Form an die Struktur biologischer Nervenzellen erinnert. Deep-Learning-Verfahren eignen sich insbesondere für die Analyse und Verarbeitung großer, komplexer Datenmengen und haben sich in den letzten Jahren als zentrale Technologie hinter vielen fortschrittlichen KI-Anwendungen etabliert (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 16).

Die erkennbar gewordene Offenheit des KI-Begriffs ist unter anderem auf die historische Entstehung und Übersetzung des Wortes zurückzuführen. Der Ausdruck ›Artificial Intelligence‹ (AI), auf Deutsch Künstliche Intelligenz (KI), wurde 1956 von John McCarthy im Rahmen der Dartmouth-Konferenz eingeführt. Ziel war es, Maschinen zu entwickeln, die Aspekte von Intelligenz so präzise umsetzen können, dass sie bestimmte kognitive Leistungen selbstständig übernehmen – beispielsweise das Lernen, Problemlösen, Entscheiden oder Planen (McCarthy et al., 2006, S. 12; Teich, 2020, S. 277). Diese Konferenz gilt als offizieller Ausgangspunkt der modernen KI-Forschung. McCarthy strebte danach, intelligente Computerprogramme zu entwickeln, die menschliche Intelligenz simulieren können, ohne an biologische Grundlagen gebunden zu sein. Damit begründete er eine Forschungsrichtung, die sich der Konstruktion von Maschinen widmet, die menschenähnliche kognitive Leistungen erbringen sollen (McCarthy, 2004, S. 11; Röser, 2021, S. 11). Die wörtliche Übertragung ins Deutsche als ›Künstliche Intelligenz‹ ist jedoch keineswegs deckungsgleich mit dem englischen Bedeutungsrahmen. Beide Begriffe – ›artificial‹ und ›intelligence‹ – sind im Englischen deutlich weiter gefasst als ihre deutschen Entsprechungen. Folglich gilt der deutsche Begriff als missverständlich und wird vielfach als unzureichend zutreffende Bezeichnung erachtet (Görz et al., 2021, S. 4; Irrgang & Klawitter, 1990, S. 9). Dennoch hat sich der Begriff ›Artificial Intelligence‹ durchgesetzt. Damit einhergehend hat zudem die Übersetzung ins Deutsche als ›Künstliche Intelligenz‹ (anstatt ›simulierte‹ oder ›digitale‹ Intelligenz) sich etabliert (Manhart, 2018).

Im Zuge dieser frühen theoretischen Überlegungen rückte ferner die Frage in den Fokus, wie maschinelle Intelligenz objektiv bestimmt und überprüft werden kann. Ein bedeutender theoretischer Impuls zur Definition von KI

stammt von Alan Turing. In seinem 1950 veröffentlichten Aufsatz ›Computing Machinery and Intelligence‹ formulierte er den sogenannten Turing-Test. Demnach könne eine Maschine dann als intelligent gelten, wenn ein menschlicher Beobachter nicht in der Lage sei, zwischen den Antworten einer Maschine und denen eines Menschen zu unterscheiden (Turing, 1950, S. 459; Teich, 2020, S. 277). Der Turing-Test wurde zu einem wesentlichen Maßstab zur Bewertung dessen, ob ein Computerprogramm menschenähnliche Intelligenz besitzt. Dieser Test stellt bis heute eine der bekanntesten Methoden dar, um die Fähigkeit von Maschinen zur Simulation von menschlichem Verhalten zu beurteilen (McCarthy, 2004, S. 4; Röser, 2021, S. 11–12).

Diese Diskussionen über die Messbarkeit und Simulation von Intelligenz führten in der weiteren Forschung zu einer grundlegenden Unterscheidung, die bis heute die wissenschaftliche und gesellschaftliche Auseinandersetzung mit KI prägt: der Differenzierung zwischen schwacher und starker KI. Diese Unterscheidung bildet den Ausgangspunkt für die Bewertung der tatsächlichen Fähigkeiten von KI-Systemen und ihrer möglichen Rolle im menschlichen Handeln und Lernen.

Schwache KI beschreibt Systeme, die für klar umrissene Anwendungsbereiche konzipiert sind. Sie verfügen weder über ein eigenes Bewusstsein noch über ein allgemeines Weltverständnis. Vielmehr handelt es sich um Programme, die datenbasiert Muster erkennen, Sprache verarbeiten, Bilder analysieren oder vorgegebene Entscheidungsprozesse automatisiert ausführen – etwa durch ML oder regelbasierte Algorithmen (Röser, 2021, S. 24, 33–34). Bekannte Beispiele sind Sprachübersetzungsdienste wie DeepL, Gesichtserkennungssysteme oder Empfehlungstechnologien in Online-Shops (Röser, 2021, S. 35). Die Bundesregierung (2018) betont, dass sich ihre nationale KI-Strategie klar an den Potenzialen der schwachen KI orientiert. Diese Systeme dienen in erster Linie der praktischen Lösung gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Probleme. Konkret werden fünf technologische Einsatzfelder benannt: (1) Deduktionssysteme zur logischen Schlussfolgerung, (2) wissensbasierte Systeme zur Simulation von Expertenwissen, (3) Mustererkennung durch ML, (4) Robotik zur autonomen Steuerung von Maschinen sowie (5) multimodale Mensch-Maschine-Interaktion, etwa durch Sprach-, Bild- und Gestenerkennung (Bundesregierung 2018). Ein zentrales Merkmal schwacher KI ist ihre beschränkte Anwendbarkeit: Sie verfügt nicht

über die Kompetenz, Aufgaben jenseits ihres Trainingsbereichs eigenständig zu bearbeiten. Ihre Fähigkeit zur Generalisierung ist limitiert, sodass sie vordefinierter Algorithmen, strukturierter Daten und menschlicher Anleitung bedarf. Auch Weiterentwicklungen erfolgen ausschließlich im Rahmen der vorgesehenen Funktionen. Wie am Beispiel der Hautkrebsdiagnostik erkennbar, kann ein auf neuronalen Netzen basierendes System nur jene Diagnosen zuverlässig treffen, die es zuvor gelernt hat – neue, nicht trainierte Muster erkennt es hingegen nicht (Röser, 2021, S. 33).

Starke KI hingegen beschreibt ein (noch) theoretisches Konzept: Sie soll in der Lage sein, menschenähnliche kognitive Leistungen zu vollbringen – einschließlich selbstständigem Denken, Lernen, Urteilen, Fühlen und Kommunizieren. Vertreter dieser Position gehen davon aus, dass Maschinen durch ausreichende Komplexität und Vernetzung die gleiche geistige Leistungsfähigkeit wie der Mensch erreichen können (Manhart, 2018). Bisher existieren keine realisierten Systeme starker KI. Ihre mögliche Entwicklung bleibt Gegenstand intensiver Forschung und gesellschaftlicher Debatten – nicht zuletzt aufgrund der weitreichenden ethischen, sozialen und bildungspolitischen Implikationen, die zugleich für den Bildungsbereich von zentraler Bedeutung sind.

2.1.2 Inklusion

Inklusion ist ein vielschichtiges, mehrdimensionales Konzept, das in der pädagogischen Praxis unterschiedlich interpretiert wird. Obwohl es gegenwärtig noch an einer allgemein akzeptierten, präzisen und widerspruchsfreien Definition von Inklusion mangelt, zeichnet sich ein gemeinsames Verständnis durch mehrere Kernelemente ab. Die begriffliche Unschärfe ist dabei weniger auf die Abgrenzung zu verwandten Termini wie jenem der Integration zurückzuführen, sondern vielmehr Ausdruck der inhaltlichen Tiefe und der verschiedenen Perspektiven in der Inklusionsdebatte (Grosche, 2015, S. 20). So weist Hinz (2002, S. 354–361) darauf hin, dass viele Publikationen pragmatische Ansätze zur Inklusion bieten, ohne den Begriff explizit zu definieren. Während einige Autor*innen Einstellungen und Haltungen gegenüber der Unterschiedlichkeit von Menschen hervorheben, fokussieren andere rechtliche Ansprüche oder strukturelle

Veränderungen im Bildungssystem. Weitere Perspektiven wiederum rücken Inklusion in einen gesamtgesellschaftlichen Zusammenhang und fordern tiefgreifende sozialpolitische Transformationen, um soziale Ungleichheiten abzubauen (Schlee, 2012, S. 103–104).

Die UNESCO (2012, S. 10) beschreibt inklusive Bildung als ein diskriminierungsfreies Bildungssystem, das allen Menschen – unabhängig von Geschlecht, Behinderung, ethnischer Zugehörigkeit, besonderen Lernbedürfnissen sowie sozialen oder ökonomischen Voraussetzungen – den gleichberechtigten Zugang zu qualitativ hochwertiger Bildung ermöglicht. Hierbei sollen sich Bildungssysteme an die Bedürfnisse der Lernenden anpassen – nicht umgekehrt. Vielfalt wird mithin nicht als Störfaktor, sondern als produktives Potenzial für Lehr- und Lernprozesse betrachtet (Sulzer, 2017, S. 14). Inklusion betrifft demnach nicht nur Menschen mit Behinderungen, sondern jegliche Form von Benachteiligung, etwa aufgrund von Geschlecht, sozialem Status oder ethnischer Herkunft (Saalfrank & Zierer, 2017, S. 18). Sie verlangt einen differenzsensiblen und ressourcenorientierten Umgang mit Heterogenität und zielt auf die Anerkennung aller Lernenden in ihrer Individualität ab. Infolgedessen geht Inklusion über pädagogische Maßnahmen hinaus und formuliert eine Vision für eine Gesellschaft, die Vielfalt als Normalität versteht und aktiv soziale Gerechtigkeit anstrebt (Saalfrank & Zierer, 2017, S. 19).

Ein zentrales Anliegen der schulischen Inklusion ist die gemeinsame Erziehung und Bildung aller Schüler*innen unabhängig von ihren individuellen Voraussetzungen, wie etwa ihrem Leistungsstand, ihrer Sprache, Herkunft oder möglichen Behinderungen (Lütje-Klose, 2018, S. 31). Diese Vision eines inklusiven Bildungssystems basiert auf normativen Grundsätzen wie sozialer Teilhabe und der Ablehnung von Aussonderung in separate Institutionen (Lütje-Klose, 2023, S. 17). Im schulischen Kontext bedeutet dies, dass Differenzen zwischen Lernenden weder übergangen noch nivelliert, sondern bewusst wahrgenommen und reflektiert werden müssen. Auf dieser Grundlage gilt es, pädagogische Handlungskonzepte zu entwickeln, die sowohl individuellen Bedürfnissen als auch kulturellen Kontexten gerecht werden (Sturm, 2012).

Im wissenschaftlichen Diskurs lassen sich drei Verständnisse des Adressatenkreises von Inklusion unterscheiden (Lindmeier & Lütje-Klose, 2021, S. 636): Ein enger Inklusionsbegriff betont insbesondere die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen und fordert gezielte Unterstützungsmaßnahmen zur Kompensation struktureller Benachteiligung, wie z. B. barrierefreie Lernmaterialien oder assistive Technologien. Ein weiteres Inklusionsverständnis bezieht sich auf alle Lernenden mit unterschiedlichen Diversitätsmerkmalen, unabhängig von einer offiziellen Diagnose. Es zielt auf die Gestaltung barrierefreier Strukturen und didaktischer Konzepte nach dem Prinzip des Universal Design for Learning (Lindmeier & Lütje-Klose, 2021, S. 636; Thiele & Bosse, 2019, S. 85). Das Modell der *>Education for all – and especially for some* fokussiert auf die Bedarfe besonders vulnerabler Gruppen – etwa von Kindern mit Behinderungen, Fluchterfahrung oder aus sozi-ökonomisch benachteiligten Familien – und verbindet allgemeine Inklusionsziele mit spezifischer Unterstützung (Lindmeier & Lütje-Klose, 2021, S. 637).

Im Kontext dieser Arbeit wird Inklusion primär im engeren Sinne aufgefasst, mit Fokus auf die Teilhabe von Menschen mit Sinnes- und Körperbehinderungen im Bildungssystem. Diese Perspektive wird jedoch dort erweitert, wo technologische Lösungen wie adaptive Lernsysteme zugleich Aspekte sprachlicher, kognitiver oder kultureller Vielfalt adressieren. Assistive Technologien, wie sie im weiteren Verlauf analysiert werden, leisten hier einen konkreten Beitrag zur Umsetzung inklusiver Bildung – vorausgesetzt, sie werden didaktisch durchdacht, barrierefrei zugänglich und unter Berücksichtigung der Heterogenität der Lernenden eingesetzt.

2.1.3 Assistive Technologien

Assistive Technologien (AT) bezeichnen individuell zugeordnete, technische oder digitale Hilfsmittel sowie unterstützende Dienstleistungen, die Menschen mit Beeinträchtigungen befähigen, ihre funktionalen Fähigkeiten zu erhalten, zu verbessern oder zu erweitern – mit dem Ziel, Teilhabe, Selbstbestimmung und Bildungsgerechtigkeit zu ermöglichen. Infolgedessen gelten sie als zentrale Instrumente zur Überwindung struktureller, sozialer oder funktionaler Barrieren im Alltag, insbesondere im Bildungsbereich. AT

setzen unmittelbar an den individuellen Bedürfnissen der betroffenen Person an und unterstützen sie dabei, vorhandene Ressourcen zu nutzen oder Einschränkungen zu kompensieren. Damit unterscheiden sie sich grundlegend von Konzepten wie Universal Design oder allgemeiner Barrierefreiheit, die auf eine strukturelle Zugänglichkeit für alle Menschen abzielen (Wicki & Burkhardt, 2020, S. 37; Krstoski & Schulz, 2023, S. 3; Capovilla & Gebhardt, 2016, S. 5–6).

Auf internationaler Ebene wird der Begriff unter anderem durch den US-amerikanischen Individuals with Disabilities Education Act (IDEA, 2004) geprägt. Dieser definiert AT als »jedes Gerät, Ausrüstungsstück oder Produkt- system – sei es kommerziell erhältlich, modifiziert oder individuell angefertigt –, das verwendet wird, um die funktionalen Fähigkeiten eines Kindes mit Behinderung zu erhöhen, zu erhalten oder zu verbessern« (IDEA, 2004; Fisseler, 2012, S. 87; Bosse, 2019, S. 832). Eine weiter gefasste Definition bietet die internationale Fachgesellschaft Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe (AAATE). Diese beschreibt AT als jedes Produkt oder jede technologiegestützte Dienstleistung, die Menschen mit funktionellen Einschränkungen in Alltag, Bildung, Arbeit oder Freizeit unterstützt. Als solche sind neben technischen Hilfsmitteln ebenso Anwendungen im Bereich Rehabilitation und Bildung zu nennen, die beabsichtigten, Aktivitäts- und Teilhabeeinschränkungen zu überwinden und individuelle Fähigkeiten zu fördern (AAATE, 2019; Bosse & Feichtinger, 2022, S.182).

Zur Systematisierung assistiver Technologien hat sich eine Einteilung in verschiedene technologische Kategorien etabliert, die sich am Komplexitätsgrad und Innovationsstand orientiert. Nach Thiele (2016, 309–310) erstreckt sich diese Einteilung von No-Tech über Low-Tech, Mid-Tech und High-Tech bis hin zu High-End-Technologien. Die Begriffe No-Tech und Low-Tech werden häufig in einem Atemzug genannt, da sie sich beide auf einfache, in der Regel nicht-elektronische Unterstützungsmaßnahmen beziehen. Thiele (2016, S. 309) betont, dass viele sogenannte Low-Tech-Hilfen in ihrer Einfachheit im Grunde genommen dem No-Tech-Bereich zuzuordnen sind. No-Tech-AT umfassen diesbezüglich Maßnahmen, in deren Rahmen keinerlei technische Geräte verwendet werden – etwa persönliche Assistenz, der

Einsatz von Gebärdensprache oder andere nicht-technologische Unterstützungsformen in der Unterstützten Kommunikation (Krstoski, 2019, S. 3).

Low-Tech-Hilfen bezeichnen wiederum einfache, nicht-elektronische Unterstützungsmitte, die ohne digitale Technik auskommen. Beispiele hierfür sind adaptierte Möbel wie höhenverstellbare Tische, rutschfeste Schreibtischunterlagen, vergrößerte Bücher, laminierte Kommunikationstafeln oder Stiftverdickungen zur besseren Greifbarkeit von Schreibgeräten (Thiele, 2016, S. 309; Fisseler, 2012, S. 88). Diese Unterstützungsmitte ermöglichen Schüler*innen mit körperlichen oder sensorischen Beeinträchtigungen eine aktive Teilhabe am schulischen Alltag: So erleichtern adaptierte Möbel das Sitzen und Arbeiten im Klassenraum, während Kommunikationstafeln nicht-sprechenden Kindern die Verständigung mit Lehrkräften und Mitschüler*innen ermöglichen. Vergrößerte Bücher verbessern den Zugang zu Lesematerialien bei Sehbeeinträchtigungen. Häufig sind diese Hilfen kostengünstig, leicht verfügbar und bei Bedarf individuell anpassbar. Aufgrund ihrer einfachen Handhabung und des geringen Wartungsaufwands können sie problemlos in den schulischen Alltag integriert werden (Fisseler, 2012, S. 88).

Im Vergleich dazu umfassen Mid-Tech-Hilfen elektronische Geräte mittlerer Komplexität, die zwar technikbasiert sind, sich jedoch durch eine einfache Handhabbarkeit auszeichnen. Hierbei handelt es sich typischerweise um elektronische Wörterbücher, Audiobooks, adaptierte Tastaturen oder einfache Kommunikationsgeräte. Weitere Beispiele sind Geräte mit statischem Display oder sogenannte »sprechende Tasten« (Thiele, 2016, S. 309; Krstoski, 2019, S. 3). Diese Technologien bedürfen zwar einer Strom- oder Batterieversorgung, bieten jedoch meist eine intuitive Bedienbarkeit und können individuell angepasst werden. Durch den Umstand, dass ihr Einsatz in der Regel keine spezialisierte Schulung bedingt, erweisen sie sich insbesondere im Bildungsbereich als vorteilhaft (Krstoski & Schulz, 2023, S. 3).

Im Bereich der High-Tech-Technologien finden sich fortschrittliche, häufig kostenintensive Lösungen. Sie zeichnen sich durch einen hohen Innovationsgrad und umfassende technische Möglichkeiten aus. Als konkrete Beispiele sind diesbezüglich Wortvorhersage-Software, komplexe Lernprogramme, statische und dynamische Kommunikationshilfen sowie

elektronische Rollstühle anzuführen (Thiele, 2016, S. 309). Ebenso gelten Geräte mit einem Mikroprozessor wie Aufnahmegeräte für Audio, Spezialtastaturen und -mäuse, Braillezeilen, Tablets und Computer als solche (Krstoski, 2019, S. 3). Diese Technologien ermöglichen eine differenzierte und individualisierte Unterstützung, sind jedoch hinsichtlich ihrer Anschaffung und Handhabung oftmals mit einem höheren Aufwand verbunden. Ihre Nutzung setzt zumeist eine gezielte Schulung sowie entsprechende infrastrukturelle Rahmenbedingungen voraus. Eine weitere Kategorie stellt der High-End-Bereich dar, in dem sich besonders innovative, jedoch noch nicht breit verfügbare oder marktreife Lösungen befinden. Diese Technologien sind typischerweise Gegenstand aktueller Forschung, insbesondere in der Medizintechnik. Ein prägnantes Beispiel sind sogenannte Brain-Computer-Interfaces, mit deren Hilfe Menschen allein durch Gedanken Kommunikationsgeräte steuern können. Ebenso sind Augensteuerungen durch Infrarotkameras diesem Bereich zuzuordnen. Thiele vertritt diesbezüglich jedoch, dass die technische Entwicklung so rasant voranschreitet, dass viele dieser High-End-Innovationen bald in den High-Tech-Bereich überführt werden könnten (Thiele, 2016, S. 309–310).

Diese technologisch differenzierte Systematik verdeutlicht nicht nur die Breite möglicher Unterstützungsmaßnahmen, vielmehr hat sie zugleich unmittelbare Implikationen für die schulische Praxis. Im schulischen Kontext erfüllen AT eine zentrale Funktion im inklusiven Unterricht: Sie ermöglichen Schüler*innen mit Beeinträchtigungen die gleichberechtigte Teilhabe am Bildungsgeschehen – sei es durch alternative Zugänge zu Lerninhalten, individualisierte Lernwege oder barrierefreie Kommunikationsformen (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36; Christ, 2020, 154–155). Besondere Bedeutung kommt hierbei digitalen und mobilen Technologien zu, da sie kostengünstig, gesellschaftlich akzeptiert und mithilfe von Apps flexibel anpassbar sind (Fisseler, 2020, S. 4). Sie bieten etwa Sprachausgabe, Vorlesefunktionen, automatische Übersetzungen oder adaptive Benutzeroberflächen, wodurch sie einen niederschwelligen Zugang zu Bildung eröffnen – nicht zuletzt für Schüler*innen mit Sinnes-, Sprach- oder kognitiven Beeinträchtigungen (Müller & Schiering, 2023, S. 873–874; Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 38).

Im Zusammenspiel mit KI entwickelt sich ein neues Feld ›intelligenter AT‹, die lernunterstützende Funktionen übernehmen und stärker

personalisierte, adaptive Hilfestellungen ermöglichen – etwa durch Spracherkennung, automatisierte Lernpfade oder digitale Scaffolding-Strategien (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36–39; Müller & Schiering, 2023, S. 874–875). Diese Entwicklungen stellen jedoch hohe Anforderungen an Datenschutz, IT-Sicherheit und ethische Standards, insbesondere im Hinblick auf sensible Gesundheits- oder Verhaltensdaten. Trotz technischer Möglichkeiten hängt der erfolgreiche Einsatz von AT in hohem Maße vom pädagogischen Rahmen, der institutionellen Unterstützung und der Kompetenz der Fachkräfte ab. Bei der Auswahl, Einführung und kontinuierlichen Begleitung der Nutzung von AT übernehmen Lehrpersonen eine Schlüsselrolle. Ange-sichts dessen fordern zahlreiche Beiträge eine stärkere Verankerung entsprechender Inhalte in der Lehrer*innenbildung sowie in der Schulentwicklung (Fisseler, 2012, S. 88–89; Capovilla & Gebhardt, 2016, S. 12–13; Bosse, 2019, S. 844–845).

Die Vielfalt von AT verdeutlicht, dass Unterstützungsmaßnahmen weit über die Kompensation motorischer Einschränkungen hinausgehen. Sie adressieren ebenso Einschränkungen im Bereich des Sehens, Hörens oder der kognitiven Verarbeitung. Zudem variiert die Nutzer*innengruppe stark hinsichtlich Alter, individuellen Fähigkeiten und sozialen Unterstützungssystemen (Thiele, 2016, S. 310). Für pädagogische Fachkräfte bedeutet dies, dass sie künftig mit einer großen Bandbreite teils sehr komplexer Technologien konfrontiert sein werden. Um eine inklusive Bildungslandschaft aktiv mitzustalten, ist die Auseinandersetzung mit den verschiedenen technologischen Möglichkeiten demnach unerlässlich (Capovilla & Gebhardt, 2016, S. 12–13; Müller & Schiweing, 2023, S. 875).

Diese Herausforderungen führen vor Augen, dass der Einsatz von Technologien im Bildungsbereich nicht ausschließlich eine technische, sondern zuvorderst eine pädagogische und organisationale Aufgabe ist. Insbesondere im Kontext inklusiver Bildung erfordert dies ein differenziertes Verständnis dafür, wie Technologien nicht nur funktional unterstützen, sondern gleichzeitig Lernprozesse auf gezielte Weise fördern können. An dieser Stelle setzen adaptive Technologien an, welche über die reine Unterstützung hinausgehen und auf die individuelle Gestaltung von Lernprozessen abziehen.

2.1.4 Adaptive Lernsysteme

Im Zuge der digitalen Transformation hat die Anwendung von KI im Bildungsbereich tiefgreifende Veränderungen angestoßen. Vor diesem Hintergrund sind adaptive Lernsysteme, die auf KI basieren, von zentraler Bedeutung, indem sie den Lernprozess personalisieren und auf die individuellen Bedürfnisse der Lernenden eingehen (Wom, 2023). Diese Systeme entwickeln maßgeschneiderte Lernpfade, indem sie kontinuierlich Daten zum Lernverhalten und -fortschritt erheben sowie analysieren und daraus Rückschlüsse auf die nächsten Lernschritte ableiten.

Die ›Adaptive Learning Technology Standards Initiative‹ (ALTSI) definiert adaptive Lernsysteme als Technologien, die auf Grundlage fortlaufender Datenanalysen die Lernumgebung so gestalten, dass für jede*n Lernende*n ein optimales Lernergebnis erreicht werden kann (Wom, 2023). Eine ähnliche Definition unterbreiten Paramythis und Loidl-Reisinger (2004, S. 181–182): Sie fassen adaptive Lernsysteme als Anwendungen auf, die Lernaktivitäten beobachten, interpretieren, Nutzerprofile erstellen und aktiv auf den Lernprozess einwirken – etwa durch individuell zugeschnittene Inhalte oder differenziertes Feedback (Weich et al., 2021, S. 26; Paramythis & Loidl-Reisinger, 2004, S. 181–182). Dem liegt die zentrale Annahme zugrunde, dass Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen, Lernstilen und Vorerfahrungen ins Bildungsgeschehen eintreten. Während herkömmliche Unterrichtsformen diesen Unterschieden zumeist nicht gerecht werden und infolgedessen mit einer Über- oder Unterforderung einhergehen können, setzen adaptive Systeme gezielt an der Heterogenität der Lernprozesse an: Sie reagieren flexibel auf den individuellen Lernverlauf, passen Inhalte und Aufgabenformate kontinuierlich an und bieten bei Bedarf gezielte Unterstützung an (Wom, 2023; De la Higuera & Iyer, 2024, S. 111). Diese Unterstützung reicht von der Bereitstellung ergänzender Aufgaben bei Schwierigkeiten bis hin zur Anpassung des Schwierigkeitsgrades.

Ein wesentlicher Mechanismus, welcher der Funktionsweise adaptiver Systeme zugrunde liegt, ist die Lernanalyse. Diese umfasst die Erhebung und Auswertung von Daten zum Lernverhalten, zum Arbeitsfortschritt sowie zu den Präferenzen der Lernenden (Wom, 2023). Basierend auf diesen Informationen sind adaptive Systeme imstande, Lerninhalte individuell

bereitzustellen, das Lerntempo anzupassen und differenziertes Feedback in Echtzeit zu generieren. Zahlreiche Steuerungsmechanismen folgen dabei häufig einem Regelkreisprinzip, wie es Kerres et al. (2023, S. 110-111) beschreiben: Hierbei erfassen Sensoren bestimmte Verhaltensindikatoren wie Fehleranzahl, Bearbeitungszeit oder Antwortmuster und vergleichen diese mit einem Modell idealer Performanz. Auf dieser Basis passen sogenannte Akteure die Lernumgebung durch gezielte Maßnahmen dynamisch an – etwa durch Auswahl neuer Aufgaben, Hinweise oder durch Veränderung des Schwierigkeitsgrads (Kerres et al., 2023, 110-111). Die Steuerung kann hierbei auf zwei Arten erfolgen: theoriebasiert, auf Grundlage vordefinierter didaktischer Modelle oder Kompetenzraster, oder datenbasiert, wie es bei KI-gestützten Systemen der Fall ist. Letztere identifizieren dabei Muster in der Interaktion – etwa die Abfolge aufgerufener Seiten, Verweildauer oder Bearbeitungsgeschwindigkeit – und leiten daraus ›ideale‹ Lernpfade ab, ohne ein explizites didaktisches Modell zugrunde zu legen (Kerres et al., 2023, S. 112; De la Higuera & Iyer, 2023, S. 120).

Insbesondere in Fächern wie Mathematik haben sich adaptive Systeme als besonders effektiv erwiesen, etwa in Form intelligenter Tutoratssysteme (Intelligent Tutoring Systems, ITS), die Lernenden gezielte Unterstützung bieten (De la Higuera & Iyer, 2024, S. 109-110). Adaptive Systeme verlassen dabei die strikt linear geführte Struktur einfacherer Lernprogramme, die feste Lernpfade vorgeben. Stattdessen passen sie den Lernpfad dynamisch an den aktuellen Lernstand der Lernenden an, indem sie kontinuierlich Daten sammeln, um Rückschlüsse auf die erreichte Kompetenz zu ermöglichen (Kerres et al., 2023, S. 111).

Die technische Weiterentwicklung im Bereich der KI hat dazu beigetragen, dass adaptive Systeme heute große Datenmengen in Echtzeit verarbeiten können. Dies ermöglicht eine hochgradig personalisierte Steuerung des Lernprozesses, die auf individuelle Stärken und Schwächen eingeht, Lernverläufe optimiert und die Effizienz des Lernens erhöht (Wom, 2023; Kerres et al., 2023, S. 111). Viele dieser Systeme verzichten dabei auf ein theoretisch fundiertes didaktisches Modell und stützen sich ausschließlich auf Verhaltensdaten, wie die Abfolge aufgerufener Seiten oder die Bearbeitungsgeschwindigkeit und deren statistische Auswertung. Auf dieser Grundlage werden optimale Lernpfade prognostiziert und dem*der Lernenden

entsprechende Inhalte bereitgestellt (Kerres et al., 2023, S. 111). Mithilfe dieser technologischen Möglichkeiten verändern adaptive Lernsysteme nicht nur die Art und Weise, wie Lerninhalte vermittelt werden, sondern zugleich die Rolle der Lernenden selbst. Sie fördern eine aktivere Auseinandersetzung mit dem eigenen Lernprozess, indem sie transparente Rückmeldungen über Lernfortschritt, Bearbeitungszeit oder Lösungsstrategien bereitstellen. Die kontinuierliche Anpassung des Lernprozesses steigert nicht nur die Effizienz, sondern zugleich die Motivation und das Selbstvertrauen der Lernenden, wie Studien belegen (Wom, 2023).

Über diese Effekte auf Motivation und Effizienz hinaus wird zunehmend das inklusive Potenzial adaptiver Lernsysteme hervorgehoben. So ermöglichen sie es, Lernprozesse stärker an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden anzupassen und auf diese Weise eine gleichberechtigte Teilhabe zu gewährleisten. Im Zuge dessen können sie dazu beitragen, Barrieren – seien es solche sprachlicher, kognitiver oder sozialer Natur – abzubauen und Lernumgebungen zu schaffen, in denen Diversität als Bereicherung aufgefasst wird. Im Wege der kontinuierlichen Anpassung von Lerninhalten und -methoden bieten adaptive Systeme die Chance, individuell auf den Lernfortschritt und die Herausforderungen der Schüler*innen einzugehen (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 240). Ein zentrales Merkmal dieser Systeme ist ihre Fähigkeit, personalisierte Lernangebote zu erstellen und den Lernfortschritt gezielt zu unterstützen. In inklusiven Bildungssettings sind solche Technologien besonders wertvoll, da sie es ermöglichen, unterschiedliche Lernvoraussetzungen zu berücksichtigen und allen Schüler*innen einen gerechten Zugang zu Lerninhalten zu bieten. Die flexiblen Anpassungen von Lernzeiten, -methoden und -inhalten resultieren letztlich in einer effektiveren Nutzung der Lernzeit und fördern die Individualisierung des Lernprozesses (Baumert et al., 2023, S. 37). Automatisiertes, digitalisiertes Feedback in adaptiven Lernsystemen ermöglicht es Lehrkräften, einen umfassenderen Überblick über den Lernfortschritt der Schüler*innen zu gewinnen. Dieses Feedback ermöglicht über eine größere Flexibilität hinaus zudem eine discrete Rückmeldung, die Stigmatisierung vorbeugt und die Vielfalt in der Lerngruppe anerkennt. Um eine pädagogische Beziehung zu fördern, ist es jedoch essenziell, dass automatisiertes Feedback durch soziale Prozesse in der Klasse sowie durch persönliche Rückmeldungen der Lehrkräfte ergänzt

wird. Lehrkräfte sollten diesbezüglich als Lernbegleiter*innen agieren, die den Lernprozess kontinuierlich unterstützen und den individuellen Lernfortschritt durch formative Rückmeldung begleiten. Durch eine Kombination aus digitalem und menschlichem Feedback kann eine tiefere Interaktion mit dem Lernprozess erreicht werden, welche sowohl die kognitiven als auch die emotionalen Bedürfnisse der Lernenden berücksichtigt (Baumert et al., 2023, S. 42–43).

Die Bereitstellung von Lernmaterialien in verschiedenen Formaten und Schwierigkeiten trägt ferner dazu bei, dass Stigmatisierungen vorgebeugt wird. Indem Schüler*innen Lerninhalte in visueller, auditiver oder videobasierter Form erhalten können, wird der Zugang zu den Inhalten für alle Lernenden erleichtert und eine stärkere Teilhabe ermöglicht (Baumert et al., 2023, S. 42). Auf diese Weise tragen adaptive Lernsysteme dazu bei, dass Vielfalt als selbstverständlicher Bestandteil des Lernprozesses wahrgenommen wird.

Letztlich tragen diese Systeme dazu bei, dass Lernende in die Lage versetzt werden, ihren Lernprozess selbst zu steuern und eigenverantwortlich voranzutreiben. Sie ermöglichen eine höhere Transparenz hinsichtlich des Lernfortschritts und bieten unmittelbares Feedback, was zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem eigenen Lernen führt (Lütje-Klose, 2023, S. 28). Im Wege dieser individualisierten Förderung können adaptive Lernsysteme einen wertvollen Beitrag zur Inklusion leisten, indem sie auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden eingehen und folglich eine gleichberechtigte Teilhabe am Bildungsgeschehen sicherstellen.

2.2 Überblick über aktuelle Forschung und Entwicklungen

Die Forschung zum schulischen Einsatz von KI hat in den letzten Jahren signifikant an Dynamik gewonnen und zeigt sich in hohem Maße vielschichtig und ambivalent. Eine systematische Bestandsaufnahme von Helm et al. (2024, S. 370) gliedert die Ergebnisse zahlreicher empirischer Studien in fünf zentrale Kategorien: Einstellungen, Nutzung, Herausforderungen und Bedenken, Lehren und Lernen sowie Zukunftserwartungen (Helm et al., 2024,

S. 370). Dabei offenbart sich ein deutlicher Kontrast zwischen der positiven Einschätzung von Expert*innen – etwa im Rahmen der Studie der Deutschen Telekom Stiftung (2021, S. 30), in der 74 % der Befragten den Einsatz von KI in der Schule befürworten – und der allgemeinen Skepsis in der Bevölkerung, in der laut PwC (2023) bis zu 64 % der Befragten in Österreich ein Verbot von KI-Tools wie ChatGPT fordern (PwC, 2023; Deutsche Telekom Stiftung, 2021, S. 30; Helm et al., 2024, S. 372). Vergleichbar sind die Ansichten deutscher Lehrkräfte, welche KI ambivalent bewerten: 61 % erkennen das Potenzial zur Bereicherung, sehen jedoch gleichzeitig damit verbundene Risiken (Philologenverband NRW, 2023; Helm et al., 2024, S. 373).

Tatsächlich ist der schulische Einsatz von KI noch wenig verbreitet. Zwar geben 44,3 % der Lehrkräfte laut öbv (2023) an, KI-Tools vor allem zur Unterrichtsvorbereitung zu nutzen (öbv, 2023; Helm et al., 2024, S. 374). Als hinderlich erweisen sich hier folgende Aspekte: mangelnde technische Ausstattung, fehlende Fortbildung sowie Unsicherheiten im rechtlichen Rahmen (Rednet, 2021).

Ein wachsendes Forschungsfeld befasst sich mit den Einsatzmöglichkeiten KI-gestützter Bildungstechnologien, die laut Blanc & Beudt (2024, S. 4–5) in sechs Kategorien unterteilt werden: Text- und materialgenerierende Anwendungen, intelligente Tutoring- und Empfehlungssysteme, prüfungsunterstützende Systeme, Learning Analytics & Educational Data Mining, bildungs- und unterrichtsorganisierende Systeme und Sprachtechnologien wie Text-to-Speech- und Speech-to-Text-Systeme. Besonders intelligente Tutoring-Systeme (ITS) gelten als vielversprechend, da sie personalisierte Rückmeldungen liefern und sich adaptiv an den Lernstand der Schüler*innen anpassen. Demgegenüber werden generative KI-Systeme wie ChatGPT hinsichtlich ihrer inhaltlichen Zuverlässigkeit kritisch betrachtet, da sie nicht auf kuratierten Daten basieren und zu sogenannten ›Halluzinationen‹ neigen (Blanc & Beudt, 2024, S. 5). Gleichzeitig zeigt sich ein erheblicher Orientierungsbedarf auf Seiten der Lehrkräfte. Die Studie von Blanc & Beudt (2024, S. 10) betont, dass viele pädagogische Fachkräfte den Einsatz von KI sowohl als entlastend als auch als überfordernd erleben. Die neue EU-KI-Verordnung (AI Act) verschärft zudem die Anforderungen an Transparenz und Datenschutz, insbesondere für den Einsatz von Hochrisikosystemen im Bildungsbereich (Europäische Kommission, 2024). Ein zentraler Aspekt in

der aktuellen Debatte ist die Vermittlung von Kompetenzen im Umgang mit KI – sowohl auf Seiten der Lehrkräfte als auch seitens der Lernenden. Neben der technischen Bedienung (»AI Literacy«) werden verstärkt Kompetenzen zur kritischen Reflexion, zum ethischen Umgang und zur datenschutzkonformen Nutzung eingefordert (Blanc & Beudt, 2024, S. 8–9). Jugendliche selbst stehen dem Einsatz von KI im Unterricht laut Vodafone Stiftung (2024, S. 6) mehrheitlich offen gegenüber: 73 % sehen darin eine Chance. Dennoch berichten lediglich 17 % von einer geregelten Nutzung an ihrer Schule, während 74 % KI-Tools privat verwenden – etwa zu Recherchezwecken oder zur Klärung von Verständnisfragen. Ein besonders hohes Potenzial sehen sie im Einsatz in MINT-Fächern und im Fremdsprachenunterricht (Vodafone Stiftung, 2024, S. 10–12).

Ein Beispiel für praxisnahe Forschung ist das nordrhein-westfälische Pilotprojekt KIMADU, das seit 2025 den Einsatz generativer KI-Tools im Mathe- und Deutschunterricht testet. Es dient der Erforschung individualisierter Lernpfade durch Large Language Models (LLMs) und deren didaktischer Integration. Die wissenschaftliche Begleitung durch die Universität Siegen soll sicherstellen, dass ethische, technische und pädagogische Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden (Schulministerium NRW, 2025).

Auch in der Lehrer*innenbildung finden sich neue Ansätze zur Verknüpfung von Inklusion und KI. Das Projekt DiLe (Digitale Lerngemeinschaften für Inklusion) setzt diesbezüglich auf eine digital gestützte, reflexionsorientierte Lernumgebung, um angehende Lehrkräfte für den Umgang mit Heterogenität und digitalen Medien zu sensibilisieren. Erste Evaluationsergebnisse zeigen eine verbesserte Kohärenzwahrnehmung zwischen Theorie und Praxis (Weber-Liel & Kracke, 2023, S. 12).

Ein weiteres zentrales Forschungsfeld betrifft adaptive Lernsysteme. Diese versprechen, Lerninhalte dynamisch an individuelle Bedürfnisse anzupassen. Eine Metaanalyse von Kulik & Fletcher (2016, S. 63) zeigt signifikante Lernzuwächse, etwa durch Systeme wie »Cognitive Tutor«. Jedoch relativieren neuere Studien wie Guo et al. (2021, S. 445) diese Effekte und weisen darauf hin, dass die Forschung zu adaptiven Systemen ihren Höhepunkt bereits überschritten hat und zunehmend stagniert. Kritisiert wird, dass

technologische Entwicklungen die pädagogische Umsetzung überholen (Kerres et al., 2023, S. 114–116). Gleichwohl lassen Studien von VanLehn (2011, S. 213) erkennen, dass adaptive Systeme – insbesondere im Falle eines kleinschrittigen, feedbackgestützten Vorgehens – Ergebnisse erzielen können, die mit individuellem Präsenzunterricht vergleichbar sind.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass KI-gestützte Technologien – sowohl im assistiven als auch im adaptiven Bereich – erhebliche Potenziale für die schulische Inklusion bieten. Jedoch erfordert ihr Einsatz eine fundierte didaktische Einbettung, klare rechtliche Rahmenbedingungen und gezielte Professionalisierungsmaßnahmen für pädagogische Fachkräfte. Wenngleich die Forschung diesbezüglich noch am Anfang steht, bietet sie dennoch wichtige Impulse für die Gestaltung inklusiver Bildung in einer zunehmend digitalisierten Gesellschaft.

3 KI-Technologien zur Förderung von Inklusion

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen zu Inklusion, AT und adaptiven Lernsystemen werden im folgenden Kapitel konkrete KI-gestützte Technologien vorgestellt, die im schulischen Kontext zur Förderung von Inklusion beitragen können. Der Fokus liegt hierbei auf Anwendungen, die dazu beitragen, individuelle Lernprozesse zu unterstützen, Barrieren abzubauen und Teilhabechancen zu erhöhen – insbesondere für Schüler*innen mit Behinderungen oder unterschiedlichen Lernvoraussetzungen.

Die Auswahl der in diesem Kapitel dargestellten Technologien erfolgte mit dem Ziel, ein breites Spektrum assistiver und adaptiver KI-Anwendungen für den schulischen Kontext abzubilden. Berücksichtigt wurden dabei sowohl international etablierte Marktführer als auch im deutschsprachigen Raum relevante Systeme. Zudem unterscheiden sich die ausgewählten Beispiele in ihrer Funktionalität (z. B. Unterstützung bei Sinnes- oder motorischen Beeinträchtigungen einerseits, adaptive Lernsysteme zur Individualisierung des Unterrichts andererseits), sodass die Vielfalt möglicher Einsatzbereiche sichtbar wird.

3.1 Assistive Technologien

3.1.1 Unterstützung bei Hörschädigung: Ava

Die nachfolgende Darstellung der App Ava basiert auf einer Kombination aus empirisch fundierten Praxisberichten, Herstellerangaben und einer technikethischen Reflexion anhand verschiedener Behinderungsmodelle. Wissenschaftliche Langzeitstudien zur schulischen Wirksamkeit liegen bislang nur begrenzt vor. Wie bei vergleichbaren Technologien ermöglicht die vorliegende Datenlage eine indikatorische Einschätzung des inklusiven Potenzials, lässt jedoch keine verallgemeinerbaren Aussagen zur Wirksamkeit im schulischen Kontext zu. Gleichwohl liegen mit der Fallstudie zum Santa Monica Malibu Unified School District (SMMUSD) sowie mit

kontextualisierten Analysen (Haug, 2024; Lee, 2025) praxisnahe Einsichten vor, die eine systematische Bewertung der Funktionalität, Alltagstauglichkeit und theoretischen Anschlussfähigkeit ermöglichen.

Die App Ava wurde speziell für gehörlose und schwerhörige Menschen entwickelt und nutzt KI zur Echtzeit-Untertitelung von Gesprächen in vielfältigen Kontexten – von Klassenzimmern über Gruppenarbeiten bis hin zu Freizeitaktivitäten (Ava, o. J. (a); SMMUSD & Ava, o. J., S. 5). Ava ermöglicht damit eine gleichberechtigte Teilhabe an Gesprächen, sei es im privaten oder institutionellen Kontext, und fördert soziale Integration (Lee, 2025). Ziel ist es, kommunikative Teilhabe in Echtzeit zu ermöglichen, unabhängig davon, ob eine Gebärdensprachdolmetschung zur Verfügung steht (Lee, 2025). Die Ava-App ist auf iOS, Android sowie webbasiert verfügbar und kann sowohl im schulischen Präsenzunterricht als auch im digitalen Fernunterricht flexibel eingesetzt werden (SMMUSD & Ava, o. J., S. 3-5). Im schulischen Alltag bietet Ava eine große Bandbreite an Anwendungsmöglichkeiten. So kann die App etwa im Präsenzunterricht genutzt werden, indem die Lehrkraft ein Bluetooth-Mikrofon trägt, das mit dem Gerät der Schüler*innen gekoppelt ist. Die gesprochene Sprache wird in Echtzeit transkribiert und auf dem Bildschirm des mobilen Endgeräts angezeigt. Hierbei ist Ava mit einer Vielzahl gängiger Mikrofone, Headsets oder Hörgeräte kompatibel und kann flexibel an unterschiedliche Unterrichtssituationen angepasst werden. Besonders in Gruppensituationen, etwa bei Projektarbeiten oder Diskussionsrunden, erweist sich Ava als hilfreich: Jede beteiligte Person kann ein eigenes Gerät nutzen, wobei die App gesprochene Beiträge visuell unterscheidbar, etwa durch Farbcodes, anzeigt. Dies erleichtert es hörgeschädigten Schüler*innen, Gesprächsverläufe zu verfolgen und aktiv teilzunehmen (Ava, o. J. (b)).

Auch im Fernunterricht stellt Ava eine Lösung dar. Über die Funktion ›Ava Closed Captions‹ können Online-Unterrichtssituationen automatisch untertitelt werden. Die Anwendung läuft entweder über eine Web-App oder kann als Desktopanwendung genutzt werden (Ava, o. J. (b)). Damit ist es möglich, Audioinhalte aus Videokonferenzen direkt auf dem Bildschirm zu transkribieren – ein bedeutsames Merkmal für barrierefreies digitales Lernen. Die App unterstützt zudem spontane Konversationen, etwa in der Pause oder beim Austausch mit Gleichaltrigen (Ava, o. J. (b)). Durch Funktionen wie die

automatische Sprechererkennung oder die Möglichkeit zur Text-to-Speech-Ausgabe (z. B. für nonverbale Nutzer*innen) wird Ava zu einem alltagstauglichen Begleiter, der nicht nur die schulische, sondern ebenso die soziale Teilhabe verbessert (Ava, o.J. (b); SMMUSD & Ava, o. J., S. 7).

Ein weiterer wesentlicher Vorteil besteht in der permanenten Verfügbarkeit der Untertitelungsfunktion – unabhängig von Unterrichtszeiten. So können Schüler*innen etwa auch beim Lesen von Arbeitsanweisungen, beim Besuch von Schulveranstaltungen oder im Austausch mit Lehrkräften spontan auf die App zurückgreifen. Lehrkräfte profitieren wiederum davon, dass sie keine zusätzlichen Vorkehrungen treffen müssen: Ava erfordert keine besondere Schulung und läuft diskret im Hintergrund (Ava, o.J. (b)).

Ein zentraler Aspekt beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme im Bildungsreich ist die Datensicherheit. Ava legt dabei besonderen Wert auf den Schutz der Privatsphäre der Nutzer*innen und geht laut Eigenaussage über gängige Branchenstandards hinaus (Ava, o.J. (c)). Die gesamte Sprach- und Konversationsverarbeitung erfolgt über eine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung, wobei die Daten auf zertifizierten Servern von Amazon Web Services (AWS) gespeichert werden. Das System erfüllt die Anforderungen der HIPAA-Richtlinien (Health Insurance Portability and Accountability Act) und wird regelmäßig von sicherheitskritischen Institutionen wie Banken auditiert (Ava, o.J. (c)). Des Weiteren speichert die App keine vollständigen Gesprächsinhalte im Klartext, vielmehr arbeitet sie mit fragmentierten, anonymisierten Audioelementen, die ausschließlich zur Verbesserung der Spracherkennung genutzt werden. Diesbezüglich wird ausdrücklich betont, dass das Unternehmen keine Speicherungen gesagter Inhalte vornimmt, sondern lediglich solcher, welche die Art und Weise, wie Personen sprechen, betreffen (Ava, o.J. (c)). Sofern Nutzer*innen sich für die Transkriptspeicherung entscheiden, erfolgt diese ausschließlich in Textform ohne Audio. Sie ist jederzeit lösbar und kann nicht als rechtsgültiger Nachweis verwendet werden. Ergänzend dazu ist Ava vollständig konform mit der Datenschutz-Grundverordnung (GDPR) (Ava, o.J. (a)) sowie den US-amerikanischen Bildungs- und Jugendschutzstandards FERPA (Family Educational Rights and Privacy Act) und COPPA (Children's Online Privacy Protection Act) (SMMUSD & Ava, o. J., S. 6). Diese Konformität ist insbesondere im schulischen Kontext von Relevanz, da sie die rechtlich abgesicherte Verarbeitung sensibler Daten

gewährleistet. Vor diesem Hintergrund basiert das Geschäftsmodell der App nicht auf Werbung oder Datenverwertung, sondern auf einem sozialen Finanzierungsansatz: Durch kostenpflichtige Abonnements institutioneller Nutzer*innen werden kostenlose Basiskontingente für Einzelpersonen quersubventioniert. Ava betont damit seine Unabhängigkeit von kommerziellen Interessen und verfolgt nach eigenen Angaben ein nachhaltiges, gemeinwohlorientiertes Zugänglichkeitsmodell (Ava, o.J. (c)).

Allerdings stößt die automatische Spracherkennung in bestimmten Kontexten – etwa bei komplexer Fachsprache, undeutlicher Aussprache oder Dialekten – an ihre Grenzen (Ava, o.J. (b)). Um auch in solchen Situationen eine hohe Transkriptionsqualität sicherzustellen, bietet die App die Funktion Ava Scribe an. Dabei handelt es sich um einen hybriden Live-Untertitelungsdienst, der die Leistungsfähigkeit von KI mit der Präzision menschlicher Intelligenz kombiniert. Professionelle Transkriptor*innen (»Scribes«) korrigieren die KI-generierten Untertitel in Echtzeit, sodass eine Untertitelungsgenauigkeit von bis zu 99 % erreicht wird (Ava Team, 2025).

Ein besonders hervorzuhebender Anwendungsfall ist jener des Santa Monica Malibu Unified School District (SMMUSD). Dort wurde Ava erfolgreich als Alternative zu traditionellen CART-Diensten eingeführt, die zuvor mit einem Kostenaufwand einhergingen und gleichzeitig von mangelnder Flexibilität sowie einer stigmatisierenden Wirkung gekennzeichnet waren (SMMUSD & Ava, o.J., S. 4). Die Evaluation im Rahmen eines Schulversuchs zeigte positive Auswirkungen auf Beteiligung, Lernerfolg und Selbstwirksamkeitserleben der Schüler*innen (SMMUSD & Ava, o.J., S. 5–6). Besonders betont wird die niedrigschwellige Zugänglichkeit – Scribe-Sitzungen können ohne Administrationsaufwand bis zu sechs Stunden im Voraus gebucht werden. Darüber hinaus lässt die Anwendung sich auf verschiedensten Geräten nutzen (SMMUSD & Ava, o.J., S. 6).

Wie Lee (2025) herausarbeitet, lässt sich die App anhand dreier etablierter Behinderungsmodelle analysieren – dem sozialen, dem medizinischen und dem ökonomischen Modell: Aus der Perspektive des sozialen Modells, das Behinderung nicht als individuelles Defizit, sondern als Folge gesellschaftlich bedingter Barrieren versteht, zeigt Ava ein hohes inklusives Potenzial. So ermöglicht die App gehörlosen und schwerhörigen Schüler*innen eine

unmittelbare Teilnahme an alltäglichen Kommunikationssituationen – im Unterricht ebenso wie in informellen Kontexten wie Gruppenarbeiten oder Pausengesprächen. Indem Ava eine Gesprächsteilnahme auch ohne Gebärdensprachdolmetscher oder andere aufwendige Hilfssysteme erlaubt, werden strukturelle Ausschlussmechanismen reduziert und die soziale Integration gestärkt (Lee, 2025). Im medizinischen Modell, das Behinderung als individuelles Defizit interpretiert, erscheint Ava als kompensatorisches Hilfsmittel, das die Hörbeeinträchtigung technologisch ausgleicht. Dieser Sichtweise wohnt jedoch die Gefahr inne, strukturelle Barrieren zu übersehen, da die Verantwortung auf das Individuum verlagert wird. Ava kann in dieser Lesart lediglich Symptome mildern, dagegen keine gesellschaftlichen oder bildungspolitischen Ursachen beseitigen (Lee, 2025). Auch das ökonomische Modell von Behinderung, das die finanziellen Belastungen durch notwendige Hilfsmittel in den Fokus rückt, eröffnet eine kritische Perspektive auf Ava. Zwar stellt die App eine kostenlose Basisversion zur Verfügung, jedoch sind zentrale Funktionen wie die Mehrsprechererkennung ausschließlich im Rahmen eines kostenpflichtigen Premium-Abonnements nutzbar. Diese Monetarisierungsstrategie geht mit dem Risiko einher, dass wirtschaftlich benachteiligte Schüler*innen oder Bildungseinrichtungen mit begrenzten Ressourcen von der vollen Nutzung ausgeschlossen werden. Damit gerät Ava potenziell in Widerspruch zu ihrem eigenen Anspruch auf universelle Barrierefreiheit und erzeugt eine sozial selektive Zugangshürde (Lee, 2025).

Die Entwicklung von Ava ist eng mit der Biografie des Gründers Thibault Duchemin verbunden, der in Frankreich als einziger hörendes Familienmitglied einer gehörlosen Familie aufwuchs (Haug, 2024). Die persönlichen Erfahrungen, insbesondere die schulischen Ausgrenzungserfahrungen seiner Schwester Pauline, inspirierten ihn zur Entwicklung einer Lösung, die barrierefreie Kommunikation auch ohne Dolmetscher*innen ermöglicht. In Kooperation mit der UC Berkeley und gefördert durch Programme wie den Big Ideas Contest entwickelte er gemeinsam mit Pieter Doevedans und Skinner Cheng Ava als Kombination aus KI und menschlicher Live-Korrektur (Haug, 2024). Heute kommt Ava nicht nur in Bildungseinrichtungen zum Einsatz, vielmehr findet sie zugleich in Unternehmen und im Gesundheitsbereich Verwendung. Duchemin versteht Ava diesbezüglich explizit nicht nur

als Technologie, sondern als soziales Unternehmen mit gesellschaftlichem Auftrag. Im firmeneigenen ›Manifest für umfassende Barrierefreiheit‹ wird hervorgehoben, dass echte Inklusion nur durch ein Zusammenspiel technischer, struktureller und sozialer Komponenten möglich sei (Haug, 2024). Langfristiges Ziel ist die globale Verbreitung der App – auch in Ländern mit eingeschränktem Zugang zu barrierefreier Kommunikation, etwa durch die Ausbildung lokaler Transkriptor*innen (Haug, 2024).

Ava veranschaulicht das Potenzial KI-gestützter Technologien zur Förderung inklusiver Bildung im Bereich Hörbeeinträchtigung. Die App überzeugt durch ihre technologische Präzision, ihre intuitive Bedienbarkeit und ihre flexible Einsatzmöglichkeit im schulischen Alltag. Insbesondere die Fallstudie des SMMUSD belegt konkrete Fortschritte hinsichtlich Teilhabemöglichkeiten, schulischer Integration und Lernerfolg. Gleichzeitig sind die systemischen Herausforderungen nicht zu übersehen, etwa im Hinblick auf Kostenstrukturen, Datenschutz und technische Infrastruktur, die einer flächendeckenden schulischen Implementierung im Weg stehen können. Wissenschaftlich besteht weiterer Forschungsbedarf – insbesondere im Hinblick auf didaktische Integration, Langzeitwirkungen und inklusive Medienbildung.

3.1.2 Unterstützung bei Sehbehinderung: OrCam MyEye 2

Die nachfolgende Darstellung der OrCam MyEye 2 basiert auf einer Kombination aus empirischen Fallbeispielen, schulpraktischen Erfahrungsberichten sowie herstellerseitigen technischen Spezifikationen. Während systematische Langzeitstudien zur schulischen Wirksamkeit bislang weitgehend fehlen, ermöglicht die vorliegende Evidenz eine erste indikatorische Einschätzung des Potenzials dieser Technologie zur Förderung inklusiver Bildung. Insbesondere die schulische Fallstudie an der St. Vincent's School im englischen Liverpool (OrCam Staff, 2022) sowie das internationale Inklusionsprojekt auf den Philippinen (OrCam Staff, 2019) liefern praxisnahe Einblicke in Einsatzmöglichkeiten, Alltagstauglichkeit und subjektiv wahrgenommene Wirkung der OrCam MyEye im schulischen Kontext.

Die OrCam MyEye 2 ist ein tragbares, KI-gestütztes Assistenzsystem, das speziell für blinde und sehbehinderte Menschen entwickelt wurde (OrCam Staff, 2022). Es handelt sich um ein kleines, leichtes Gerät, das magnetisch an nahezu allen gängigen Brillengestellen befestigt werden kann (KI-Assist, 2021). Durch ihre kompakte Bauweise (ca. $7,6 \times 2,1 \times 1,5$ cm, 22,5 g) und einfache Handhabung erweist sich die OrCam als ein alltagstauglicher Begleiter in Schule, Beruf und Freizeit (BSVW, o. J.). Die Akkulaufzeit beträgt laut Hersteller bis zu drei Tage, sodass ebenso ein ganztägiger Schuleinsatz problemlos möglich ist (KI-Assist, 2021). Das System kombiniert eine Kamera- und Sprachausgabeeinheit und nutzt optische Zeichenerkennung (OCR) (Ryan, 2022) sowie Gesichtserkennung, um visuelle Informationen aus der Umgebung in gesprochene Sprache umzuwandeln (OrCam Staff, 2022; BSVW, o. J.). Der Lesemodus kann entweder automatisch oder durch eine gezielte Geste, etwa durch das Zeigen mit dem Finger auf den Text, aktiviert werden. Die Sprachausgabe erfolgt diskret und in Echtzeit, sodass sich die Geräte ebenfalls in öffentlichen oder schulischen Situationen einsetzen lassen (BSVW, o. J.).

Die OrCam unterstützt Menschen mit Sehbehinderung in einer Vielzahl alltäglicher Situationen – vom Lesen von Dokumenten, Medikamentenbeipackzetteln und Speisekarten bis zur Navigation durch die Erkennung von Produkten, Geldscheinen oder vertrauten Gesichtern (OrCam, o.J.; BSVW, o.J.). Die OrCam MyEye verfügt zudem über Funktionen wie eine integrierte Gesichtserkennung, mit deren Hilfe die bekannten Personen – etwa Mitschüler*innen oder Lehrkräfte – beim Näherkommen identifiziert und namentlich genannt werden können. Diese Funktion stärkt insbesondere in schulischen und sozialen Kontexten die Orientierung und Interaktion der Nutzer*innen (BSVW, o.J.). Besonders hervorzuheben ist, dass die OrCam MyEye 2 vollständig offline funktioniert. Alle Daten werden lokal verarbeitet, was aus datenschutzrechtlicher Sicht insbesondere im schulischen Kontext relevant ist. Die Ausgabe der Informationen erfolgt diskret über einen integrierten Lautsprecher oder via Bluetooth über Kopfhörer (KI-Assist, 2021).

Die schulische Bedeutung der OrCam wird unter anderem durch die Fallstudie an der St. Vincent's School in Liverpool deutlich. Sie zählt zu den führenden Bildungseinrichtungen für Kinder mit Sehbehinderungen im Vereinigten Königreich. Im Rahmen ihres schülerzentrierten Ansatzes

verfolgt die Schule das Ziel, Schüler*innen mit Sinnesbeeinträchtigungen zu mehr Unabhängigkeit, Teilhabe und Selbstverantwortung zu befähigen. Zu diesem Zweck kommen moderne unterstützende Technologien, insbesondere die OrCam MyEye, zum Einsatz (OrCam Staff, 2022). Das Gerät wird dort sowohl von Schüler*innen als auch von Mitarbeitenden im schulischen Alltag genutzt, um visuelle Informationen wie Texte, Etiketten und Gesichter zu erfassen und über ein Audiosignal wiederzugeben. Es unterstützt die Lernenden bei der Informationsrecherche, der Verarbeitung von Lerninhalten sowie der alltäglichen Lebensführung.

Zwei exemplarische Erfahrungsberichte illustrieren das Potenzial der Technologie besonders eindrücklich (OrCam Staff, 2022). Die Lernassistentin Louise McCausland, selbst von der degenerativen Augenerkrankung Retinitis pigmentosa betroffen, beschreibt die OrCam als entscheidend für ihren schulischen und privaten Alltag. Sie nutzt das Gerät, um Texte in der Schulbibliothek zu analysieren, geeignete Bücher für die Übertragung in Braille oder Großdruck auszuwählen und sich eigenständig Literaturinhalte zu erschließen. Im privaten Bereich erlaubt ihr die OrCam, ihrer Tochter wieder vorzulesen – eine Fähigkeit, die sie ohne das Gerät verloren hätte. Sie betont, dass die OrCam ihr ein Gefühl von Normalität und Autonomie zurückgegeben habe (OrCam Staff, 2022).

Ein weiteres Beispiel ist Jack, ein 19-jähriger Schüler mit septo-optischer Dysplasie, einer seltenen Störung, die zur Unterentwicklung des Sehnervs führt. Während er im Unterricht mit Großdruckmaterialien unterstützt wird, war seine Teilhabe außerhalb der Schule in hohem Maße eingeschränkt. Alltägliche Aufgaben wie das Lesen von Schildern im Supermarkt oder das Vorlesen für seine Schwester waren für ihn kaum möglich. Durch die Nutzung der OrCam MyEye hat Jack spürbar an Selbstständigkeit, Selbstwirksamkeit und sozialer Teilhabe gewonnen. Er kann nun jedes Buch lesen – unabhängig von der Schriftgröße – und sieht sich besser auf seine Zukunft vorbereitet. Langfristig verfolgt er das Ziel, ein inklusives Computerspiel für Menschen mit Sehbehinderung zu entwickeln (OrCam Staff, 2022). Der Schulleiter Dr. John Patterson hebt hervor, dass unterstützende Technologien wie die OrCam MyEye zentrale Bausteine auf dem Weg zu einer gleichberechtigten schulischen Bildung sind. Sie befähigen die Schüler*innen dazu, ihr

Potenzial zu entfalten, und eröffnen neue Chancen zur gleichberechtigten Teilnahme am schulischen sowie gesellschaftlichen Leben (OrCam Staff, 2022).

Zugleich wird in internationaler Hinsicht das Potenzial der OrCam MyEye zur inklusiven Bildung sichtbar. Im Jahr 2019 unterstützten die St. Joseph Foundation und die Aboitiz Foundation ein groß angelegtes Inklusionsprojekt auf den Philippinen, in dessen Rahmen insgesamt 25 OrCam MyEye 2-Geräte an sechs verschiedene Einrichtungen für Menschen mit Sehbehinderung gespendet wurden. Ziel der Initiative war es, Schüler*innen und Lehrkräfte mit Sehbeeinträchtigung durch innovative Technologie in ihrer Unabhängigkeit, Bildungsteilhabe und sozialen Integration zu fördern (OrCam Staff, 2019). Zu den geförderten Institutionen gehörten unter anderem die Philippine National School for the Blind (PNSB), die Northern Luzon School for the Visually Impaired, die Organisation ATRIEV (Adaptive Technology for Rehabilitation, Integration, and Empowerment of the Visually Impaired) sowie weitere Bildungseinrichtungen und gemeindebasierte Programme. Die symbolische Übergabe der Geräte erfolgte im Rahmen einer offiziellen Veranstaltung mit zahlreichen Partnern, Stiftungsvertreter*innen und Begünstigten (OrCam Staff, 2019). Die OrCam MyEye 2 wird in der Quelle als die derzeit fortschrittlichste tragbare Assistenztechnologie für sehbehinderte und blinde Menschen beschrieben. Sie ermöglicht es den Nutzer*innen, Texte zu lesen, Gesichter zu erkennen und Objekte zu identifizieren, wodurch insbesondere im schulischen Kontext neue Teilhabemöglichkeiten geschaffen werden. Schüler*innen, die zuvor im hohen Maße auf Unterstützung angewiesen waren, können mithilfe der OrCam nun eigenständig Schulbücher lesen, sich besser im Klassenraum orientieren und aktiv am Unterrichtsgeschehen teilnehmen (OrCam Staff, 2019). Der Geschäftsführer der Organisation ATRIEV, Antonio D. Llanes Jr., hebt hervor, dass das Gerät nicht nur Schüler*innen zugutekommt; vielmehr hilft es darüber hinaus blinden Trainer*innen dabei, ihre gemeindebasierten Schulungen in abgelegenen Gebieten durchzuführen. Die Geräte erweitern mithin nicht nur individuelle Handlungsspielräume, sondern zugleich das Wirkungsspektrum inklusiver Bildungsangebote (OrCam Staff, 2019). Auch Corazon Salvador, Direktorin der Philippine National School for the Blind, unterstreicht in ihren Ausführungen die Bedeutsamkeit der Technologie: Mithilfe der OrCam

MyEye sei es erstmals möglich, dass sehbehinderte Schüler*innen Seite an Seite mit sehenden Kindern lernen können. Die Technologie werde gezielt eingesetzt, um eigenständiges Lernen, Orientierung und soziale Integration zu ermöglichen (OrCam Staff, 2019).

Die Wirksamkeit der OrCam spiegelt sich zudem in individuellen Erfahrungsberichten wider. Der Nutzer Gabriel Ryan schildert, wie ihm das Gerät insbesondere im Alltag – etwa beim Einkaufen – einen eigenständigeren Umgang mit Produkten und Preisen ermöglicht hat. Funktionen wie der »Smart Reading«-Modus und die Sprachsteuerung erleichtern den Zugriff auf relevante Informationen. Trotz kleiner technischer Einschränkungen wie Akkulaufzeit oder gelegentlichem Nachjustieren der Sensorik betont Ryan die hohe alltagspraktische Relevanz der OrCam (Ryan, 2022).

Finanziell stellt die OrCam mit einem Gerätepreis von rund 5.000 € eine hohe Investition dar, wird in Deutschland jedoch als medizinisches Hilfsmittel anerkannt und kann unter bestimmten Voraussetzungen von der gesetzlichen Krankenversicherung übernommen werden (KI-Assist, 2021).

Insgesamt stellt die OrCam MyEye ein hochfunktionales, intuitives und datenschutzkonformes Assistenzsystem dar, das insbesondere im schulischen Kontext Potenziale zur Förderung von Selbstständigkeit, Inklusion und Bildungsteilhabe sehbeeinträchtigter Schüler*innen aufzeigt. Gleichzeitig verweisen aktuelle Projekte und Erfahrungsberichte auf die Notwendigkeit weiterer empirischer Forschung, insbesondere zur langfristigen Wirksamkeit und zur didaktischen Integration im Unterricht. Die OrCam kann folglich als ein vielversprechendes Beispiel für den sinnvollen Einsatz von KI-gestützter Assistenztechnologie im inklusiven Bildungssystem betrachtet werden – vorausgesetzt, es werden geeignete strukturelle, finanzielle und pädagogische Rahmenbedingungen geschaffen.

3.1.3 Unterstützung bei körperlich-motorischen Beeinträchtigungen: Predictable 7

Die Beschreibung und Bewertung der App Predictable im vorliegenden Kapitel stützt sich primär auf Herstellerangaben, das offizielle Benutzerhandbuch sowie praxisorientierte Erfahrungsberichte. Eine systematische

wissenschaftliche Evaluation des Einsatzes der App im schulischen Kontext liegt gegenwärtig nicht vor. Aus forschungspraktischer Perspektive stellt dies eine erhebliche Einschränkung dar: Die vorliegenden Informationen ermöglichen lediglich eine indikatorische Einschätzung des Anwendungspotenzials und lassen keine generalisierbaren Aussagen über die Wirksamkeit oder didaktische Anschlussfähigkeit der App im schulischen Kontext zu. Gerade im Hinblick auf evidenzbasierte Bildungsforschung besteht hier ein deutlicher Bedarf an systematischen empirischen Untersuchungen, etwa in Form von Fallstudien, Unterrichtsbeobachtungen oder Akzeptanzanalysen. Dennoch liefern die vorliegenden Materialien Einblicke in die praktische Nutzung und das Anwendungspotenzial der Technologie in inklusiven Bildungskontexten. So finden sich auf der Website des Anbieters Therapy Box umfangreiche Informationen zu Funktionsweise, Zielgruppen und Anwendungsbereichen der App, einschließlich didaktischer Szenarien für den Schulalltag (Therapy Box, o. J.). Auch im deutschsprachigen Raum gewinnt Predictable zunehmend an Bekanntheit und wird vermehrt empfohlen, etwa durch die Aktion Mensch. In ihrer App-Datenbank für barrierefreie Kommunikation wird Predictable Deutsch als unterstützende Kommunikationshilfe für Menschen ohne verständliche Lautsprache vorgestellt. Hervorgehoben wird die Möglichkeit, Texte über eine Bildschirmtastatur einzugeben, die mittels KI-gestützter Wortvorhersage und gespeicherter Satzbausteine effizient in Sprache umgesetzt werden. Zusätzlich wird auf die barrierefreie Bedienung, beispielsweise über Taster oder Kopfsteuerung, hingewiesen. Die App wird hierbei als umfangreiche Lösung eingeordnet, während für Nutzer*innen mit geringerem Unterstützungsbedarf einfachere Alternativen wie Assistive Express German vorgeschlagen werden (Aktion Mensch).

Ergänzt wird die Darstellung durch dokumentierte Fallbeispiele, etwa durch einen von Carrie Elliot (2021) verfassten Erfahrungsbericht auf der Website der Northwest Augmentative Communication Society (NWACS), der den Einsatz der App bei einem Schüler mit kommunikativen Einschränkungen in der Highschool beschreibt. Ein weiteres eindrückliches Beispiel liefert ein von Apple Inc. veröffentlichter Erfahrungsbericht, in dem eine Nutzerin mit Motoneuronerkrankung schildert, wie sie durch Voice Banking und den Einsatz

von Predictable ihre stimmliche Identität bewahren und weiterhin selbstbestimmt kommunizieren kann.

In Ermangelung empirischer Studien basiert die Darstellung somit auf indikatorischer Evidenz aus der pädagogischen Praxis. Diese ist im Kontext inklusiver Medienforschung nicht unüblich und liefert – trotz begrenzter Verallgemeinerbarkeit – konkrete Hinweise auf die Funktionalität und pädagogische Anschlussfähigkeit der Technologie.

Ein Beispiel für eine KI-basierte assistive Technologie zur Unterstützung von Schüler*innen mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen ist die App Predictable 7, die im Jahr 2024 in ihrer aktuellen Version veröffentlicht wurde. Dabei handelt es sich um ein Text-zu-Sprache-System, das mithilfe prädiktiver Wort- und Satzvorschläge die schriftliche Kommunikation erleichtert und automatisiert in Sprache umwandelt. Die App ist für Nutzer*innen konzipiert, die nicht oder nur eingeschränkt verbal kommunizieren können – etwa infolge von Zerebralparese, Motoneuron-Krankheit (MND), Amyotropher Lateralsklerose (ALS), Autismus, Schlaganfall- oder Hirnverletzungen sowie Kopf- und Halskrebs oder anderen neuromotorischen Störungen (Therapy Box, o. J.). Predictable verwendet maschinelles Lernen, um sich dem individuellen Sprachverhalten der Nutzer*innen anzupassen: Häufig genutzte Wörter und Sätze werden bevorzugt vorgeschlagen, sodass sich mit zunehmender Nutzung ein personalisiertes Sprachprofil entwickelt (Therapy Box, o. J.). Die App ist modular aufgebaut und lässt sich über vielfältige Eingabemethoden bedienen, was sie insbesondere für Menschen mit motorischen Einschränkungen prädestiniert.

Ein zentrales Merkmal von Predictable ist die Möglichkeit, personalisierte synthetische Stimmen über externe Voice-Banking-Dienste zu integrieren. Diese Technologie ermöglicht es Menschen, ihre eigene Stimme digital zu konservieren, was zum Erhalt der individuellen Identität in der Kommunikation beitragen kann (Therapy Box, 2024, S. 14).

Das Unternehmen ElevenLabs ist ein exemplarischer Anbieter im Bereich Voice Banking. ElevenLabs ist eine KI-basierte Text-to-Speech-Plattform (TTS), die mithilfe von Deep-Learning-Verfahren synthetische Stimmen generiert. Die Technologie von ElevenLabs ist darauf ausgerichtet, Sprachmerkmale wie Rhythmus, Intonation und Ausdruck möglichst natürlich

abzubilden. Die Sprachsynthese von ElevenLabs wurde mit dem Ziel entwickelt, eine hohe Audioqualität und flexible Anpassungsmöglichkeiten bereitzustellen. Diese Eigenschaften können die individuelle Verständlichkeit und Nutzbarkeit von Kommunikationshilfen wie Predictable unterstützen, insbesondere im Kontext sprachlicher Einschränkungen (Galvin, 2024; Therapy Box, 2024, S. 15–17). Darüber hinaus bietet ElevenLabs in Zusammenarbeit mit Therapy Box ein gezieltes Förderprogramm an: Menschen mit neurodegenerativen Erkrankungen wie ALS, Mundkrebs oder Multisystematrophie (MSA) können über dieses Programm kostenlosen Zugang zu einer personalisierten synthetischen Stimme erhalten. Die digitalisierte Stimme lässt sich direkt in Predictable integrieren, wodurch betroffene Personen trotz vollständigem Sprachverlust ihre ursprüngliche stimmliche Identität in die Kommunikation einbringen können (Galvin, 2024; Therapy Box, 2024, S. 15). Über ElevenLabs hinaus gibt ebenso andere Dienste wie Acapela, Model-Talker, SpeakUnique und The Voice Keeper, die vergleichbare Voice-Banking-Optionen anbieten. Dabei unterscheidet sich die Qualität je nach Anzahl und Qualität der aufgenommenen Sätze, den verwendeten Algorithmen sowie den Möglichkeiten zur individuellen Anpassung (Therapy Box, 2024, S. 14–20). Die Nutzung dieser Dienste setzt in der Regel eine externe Registrierung und das Hochladen eigener Sprachdaten auf der jeweiligen Plattform voraus. Erst nach erfolgreicher Erstellung kann die Stimme mit Predictable verknüpft werden – meist über API-Schlüssel oder Benutzerkonten (Therapy Box, 2024, S. 15–16).

Die Bedienung von Predictable ist vielseitig und passt sich den motorischen Fähigkeiten der Nutzer*innen an. Neben der Standardsteuerung durch unmittelbare Bildschirmberührungen sind ferner Bildschirmtipp (Screen Tap), Schaltersteuerung (Switch Access), Kopfsteuerung (Head Tracking) sowie Augenverfolgung (Eye-Tracking) implementiert.

Screen Tap ist eine barrierefreie Methode, die für Benutzer entwickelt wurde, welche aufgrund von Koordinations- oder Muskelkraftproblemen Schwierigkeiten haben, Schaltflächen direkt auszuwählen. Dabei werden die Elemente auf dem Bildschirm durch ein Scanmuster hervorgehoben. Nutzer*innen können durch einfaches Tippen auf den Bildschirm das gewünschte Element auswählen. Für die Bedienung stehen zwei Modi zur Verfügung: Im automatischen Modus bewegt sich das Scanmuster

kontinuierlich mit einer individuell einstellbaren Scangeschwindigkeit über den Bildschirm. Im manuellen Modus wählen die Nutzer*innen wiederum zwei Seiten des Bildschirms – eine zur Vorwärtsbewegung des Scans und eine zur Bestätigung der Auswahl. Diese Konfiguration ermöglicht eine flexible und ergonomische Anpassung an individuelle Bewegungsmuster und motorische Möglichkeiten (Therapy Box, 2024, S. 27).

Eine weitere Alternative für Personen mit stark eingeschränkter Feinmotorik stellt die Schaltersteuerung (Switch Access) dar. Sie ist eine barrierefreie Eingabemethode, die für Personen entwickelt wurde, welche aufgrund motorischer Einschränkungen Schwierigkeiten beim unmittelbaren Auswählen von Tasten haben. Mithilfe von einem oder zwei externen Bluetooth-Schaltern lassen sich Bildschirmaktionen steuern. Hierbei werden die Elemente durch ein Scanmuster hervorgehoben. Im automatischen Modus genügt ein Schalter, um das aktuell hervorgehobene Element auszuwählen; im manuellen Modus werden zwei Schalter verwendet – einer zum Vorwärtsscannen, der andere zur Auswahl (Therapy Box, 2024, S. 28). Sowohl bei Screen Tap als auch bei Switch Access können Scanverhalten, Scangeschwindigkeit, Farben und Kontraste individuell angepasst werden, um die Interaktion so effizient und zugänglich wie möglich zu gestalten (Therapy Box, 2024, S. 28–29).

Die Kopfsteuerung (Head Tracking) ist eine barrierefreie Eingabemethode, die ausschließlich auf iOS-Geräten verfügbar ist, welche über ein integriertes Gesichtserkennungssystem verfügen (z. B. iPad ab der 7. Generation). Die App nutzt die Frontkamera zur Erkennung des Gesichts, wobei in der Regel die Bewegung der Nase als Orientierungspunkt für die Cursorbewegung dient. Nutzer*innen können die Empfindlichkeit des Cursors individuell anpassen – je höher die eingestellte Sensitivität, desto kleiner die erforderliche Kopfbewegung für eine Bildschirminteraktion. Darüber hinaus ist eine Kalibrierung über ein gespeichertes Bild der Kopfposition möglich, um die Genauigkeit weiter zu verbessern. Auf diese Weise ermöglicht Head Tracking eine berührungslose Steuerung der App für Menschen mit schwersten motorischen Einschränkungen (Therapy Box, 2024, S. 30).

Schließlich bietet Predictable mit der Augenverfolgung (Eye-Tracking) eine hochentwickelte, vollständig berührungslose Steuerung, die sich insbesondere für Menschen mit schwerster körperlicher Beeinträchtigung eignet.

Externe Eye Tracker erfassen diesbezüglich die Blickbewegungen und setzen diese in Bildschirmaktionen um. Diese Funktion erfordert ein kompatibles Gerät, zumeist ein iPad Pro, und ermöglicht insbesondere Menschen mit schwerer körperlicher Einschränkung eine präzise und unabhängige Kommunikation (Therapy Box, 2024, S. 33).

Predictable bietet darüber hinaus eine breite Auswahl an anpassbaren Benutzeroberflächen, die auf unterschiedliche kognitive, visuelle oder motorische Bedürfnisse zugeschnitten sind. Neben standardisierten Layouts stehen sechs integrierte Tastatuptionen zur Verfügung: QWERTZ, ABC, Hochfrequenz-Tastatur, Schnelltastatur, Native Tastatur und Alphabetentafel. Diese sind auf verschiedene Nutzerbedürfnisse abgestimmt – etwa alphabetisches Lernen (ABC), indem die Buchstaben in klassischer Reihenfolge angeordnet sind; ideal für Nutzer*innen, die mit alphabetischer Sortierung besser zureckkommen. Die Schnelltastatur ermöglicht eine vereinfachte Gruppeneingabe, bei der Buchstaben in Blöcken dargestellt werden, was das Zielen und Auswählen insbesondere für motorisch eingeschränkte Personen erleichtert. Die Hochfrequenz-Tastatur hingegen orientiert sich an der Nutzungshäufigkeit einzelner Buchstaben, um ein besonders effizientes Schreiben zu ermöglichen. Ergänzend steht eine Handschriftfunktion zur Verfügung, bei der Wörter mit dem Finger oder einem Stift unmittelbar in ein Eingabefeld geschrieben werden können – eine intuitive Methode, die dem Schreiben auf Papier ähnelt. Für noch mehr Flexibilität unterstützt Predictable den Einsatz externer Bluetooth-Tastaturen, die insbesondere für Nutzer*innen mit Schreibroutine an physischen Tastaturen eine komfortable Eingabeoption darstellen (Therapy Box, 2024, S. 45-47). Die visuelle Oberfläche kann zudem durch kontrastreiche Farben, vergrößerte Schrift und vereinfachte Rastersysteme angepasst werden. Des Weiteren ist eine kindgerechte Version mit bunten Symbolen integriert (Therapy Box, 2024, 52-53).

Für mehrsprachige Klassenzimmer oder mehrsprachige Nutzer*innen bietet Predictable eine Multi-Language-Funktion. Neben der parallelen Nutzung zweier Sprachen kann zwischen unterschiedlichen Stimmen und Tastatur-Layouts gewechselt werden. Zugleich unterstützt die Wortvorhersage mehrere Sprachen – je nach Einstellung offline oder cloudbasiert. Über vordefinierte Funktionswahltasten kann während des Schreibens nahtlos

zwischen Sprachsystemen gewechselt werden, was sich insbesondere in inklusiven, sprachheterogenen Bildungsumgebungen als ein großer Vorteil erweist (Therapy Box, 2024, S. 60–62).

Die App ermöglicht ferner eine sichere Verwaltung personenbezogener Daten. Nutzer*innen können zwischen Offline- und Cloud-Modus wählen. Letzterer erlaubt eine geräteübergreifende Synchronisierung, während der Offline-Modus sämtliche Daten lokal speichert und bei Abmeldung löscht. Ein integrierter Privatmodus verhindert das Speichern von Texteingaben, was aus datenschutzrechtlicher Perspektive besonders im schulischen Kontext relevant ist (Therapy Box, 2024, S. 6, 11).

Predictable wird nicht nur als technisches Hilfsmittel eingesetzt, sondern ebenfalls als Unterstützung für die kommunikative Teilhabe im schulischen und sozialen Umfeld. Die App bietet die Möglichkeit, schnell und zielgerichtet mit Lehrpersonen, Mitschüler*innen und Betreuungspersonal zu kommunizieren – sei es über Alltagskommunikation, Unterrichtsbeteiligung oder die soziale Interaktion in der Pause. Über Schnittstellen lassen sich zudem E-Mails, Textnachrichten oder Beiträge in sozialen Netzwerken verfassen. Darüber hinaus kann die App in FaceTime-Gespräche oder Telefonanrufe eingebunden werden. Der integrierte ›Floor-Hold-Modus‹ informiert Gesprächspartner*innen darüber, dass eine längere Nachricht vorbereitet wird, infolgedessen eine strukturierte Kommunikation unterstützt werden kann (Therapy Box, 2024, S. 35–36).

Wie elementar die Möglichkeit ist, mit der eigenen Stimme zu kommunizieren, zeigt der Fall von Penny Waters, bei der im Jahr 2017 eine Motoneuronerkrankung diagnostiziert wurde. Sie nutzte das Voice Banking von ModelTalker, um ihre Stimme zu speichern, und nutzt Predictable seither als primäres Kommunikationsmittel – ausgestattet mit ihrer individuell generierten Stimme. Für Penny Waters bedeutete dieser Schritt nicht nur einen Zugewinn an funktionaler Kommunikationsfähigkeit, sondern zugleich eine Rückgewinnung von Identität und Selbstwirksamkeit. In einem von Apple veröffentlichten Erfahrungsbericht betont sie, wie sehr Predictable ihr geholfen hat, trotz Fortschreiten der Erkrankung ihre Stimme im sozialen Umfeld hörbar zu machen – sowohl für Familie und Freunde als auch für sich selbst (Apple Inc.). Zwar liefert dieses Fallbeispiel wichtige Hinweise auf

subjektive Nutzenaspekte und psychologische Wirkungen, dennoch handelt es sich um einen individuellen Erfahrungsbericht ohne empirische Validierung. Aus Forschungsperspektive ist die Aussagekraft solcher Einzelberichte begrenzt, wenngleich sie wichtige Impulse für Hypothesenbildungen und künftige Evaluationsstudien liefern können. Auch der von Carrie Elliot (2021) verfasste Erfahrungsbericht für die Northwest Augmentative Communication Society (NWACS) verweist auf das Potenzial von Predictable im schulischen Umfeld: So konnte ein Schüler mit kommunikativen Einschränkungen, der gelegentlich, jedoch nicht immer sprach und Schwierigkeiten hatte, sich flüssig an Gesprächen zu beteiligen, mithilfe der App aktiv am Unterricht teilnehmen.

Predictable veranschaulicht, wie sich KI-gestützter assistiver Technologien bedient werden kann, um die kommunikative Teilhabe von Menschen mit körperlich-motorischen Beeinträchtigungen im schulischen Kontext zu unterstützen. Solche Technologien eröffnen individuelle Kommunikationswege, stärken die Autonomie der Nutzer*innen und ermöglichen eine aktive Teilhabe am schulischen Leben. Dabei überzeugen sowohl die technische Anpassungsfähigkeit als auch das didaktische Potenzial durch ihre hohe Relevanz für eine inklusive schulische Praxis. Gleichzeitig sind jedoch Einschränkungen und Zugangshürden zu berücksichtigen, welche die Nutzung von Predictable im schulischen Kontext begrenzen können. So ist die App kostenpflichtig, was insbesondere für einkommensschwache Familien oder Bildungseinrichtungen eine finanzielle Hürde darstellen kann. Hinzu kommt, dass Predictable 7 derzeit ausschließlich auf Geräten mit aktuellen Betriebssystemen verfügbar ist – etwa auf iPads und iPhones mit iOS 15 oder höher bzw. auf Android-Tablets und -Smartphones ab Version 12 (Therapy Box, 2024, S. 3-4). Einige zentrale Funktionen, wie beispielsweise die Augenverfolgung (Eye-Tracking), sind zudem ausschließlich auf bestimmten Apple-Geräten wie dem iPad Pro mit iOS 17 oder auf iPads ab der 7. Generation nutzbar. Dagegen wird Eye-Tracking auf Android-Geräten bislang nicht unterstützt (Therapy Box, 2024, S. 30). Diese technischen Voraussetzungen schränken die Nutzbarkeit für viele potenzielle Anwender*innen erheblich ein – insbesondere im schulischen Bereich, in dem häufig veraltete Geräte im Einsatz sind oder keine individuelle Ausstattung möglich ist.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Integration personalisierter synthetischer Stimmen über externe Voice-Banking-Dienste. Predictable arbeitet mit mehreren Anbietern zusammen – darunter ElevenLabs, Acapela, ModelTalker, SpeakUnique und The Voice Keeper –, deren Stimmen sich in die App einbinden lassen (Therapy Box, 2024, S. 14–20). Für die Nutzung ist jedoch eine separate Registrierung bei den jeweiligen Diensten erforderlich, teils einschließlich der Erstellung eigener Sprachaufnahmen. Die technische und organisatorische Komplexität kann insbesondere für jüngere Nutzer*innen oder schulische Kontexte eine Herausforderung darstellen. Die Auswahl geeigneter Anbieter sowie die Qualität der erzeugten Stimmen hängen zudem in hohem Maße von individuellen Voraussetzungen und den jeweiligen Plattformen ab. Inklusion durch Technik kann mithin nur gelingen, wenn nicht nur die Funktionalität der Systeme überzeugt, sondern zugleich praktikable Zugänge, medienpädagogische Unterstützung sowie strukturelle Voraussetzungen wie Geräteverfügbarkeit, Schulbudgets und barrierefreie Infrastruktur Berücksichtigung finden. Um das tatsächliche Potenzial von Predictable im schulischen Kontext beurteilen zu können, sind aus wissenschaftlicher Perspektive weitere empirische Untersuchungen vonnöten. Zentrale Forschungsfragen betreffen etwa die Wirkung der App auf die kommunikative Teilhabe im Unterricht, ihre didaktische Integration durch Lehrkräfte sowie mögliche Barrieren bei der Anwendung. Hierzu könnten Interviews mit Nutzer*innen oder Pilotprojekte im schulischen Umfeld wertvolle Erkenntnisse liefern.

3.2 Adaptive Lernsysteme

3.2.1 HyperMind

Das Projekt ›HyperMind‹ zielt darauf ab, ein dynamisch-adaptives Schulbuch für den Physikunterricht zu entwickeln, welches die Lernenden individuell unterstützt. Im Zuge dessen kommt eine Kombination aus Eye-Tracking-Technologie, biometrischer Datenerfassung und KI zum Einsatz, um den Lernfortschritt zu beobachten und personalisierte Lerninhalte bereitzustellen. Dies erlaubt eine hochgradige Anpassung an den Wissensstand, das

Lerntempo und die Bedürfnisse der Schüler*innen, infolgedessen eine inklusionsorientierte Förderung ermöglicht wird (Heisel et al., o. J.; Schraml, 2019). HyperMind wird als eine der fortschrittlichsten Formen adaptiver Lernsysteme erachtet und verspricht, herkömmliche, lehrerzentrierte Unterrichtsmethoden zu ergänzen oder sogar zu ersetzen (Hamisch & Kuschel, 2022, S. 110–111).

3.2.1.1 Einsatzbereiche und Funktionen

HyperMind wurde insbesondere für den Physikunterricht entwickelt, kann jedoch theoretisch in verschiedenen Fächern Anwendung finden. Die Software läuft auf Tablets und Desktop-Rechnern und bietet eine dynamisch-adaptive Lernumgebung. Durch den Einsatz von KI werden die Interessen und der Wissensstand der Lernenden analysiert, sodass die Inhalte des Schulbuchs entsprechend angepasst werden. Eine Kernfunktion des Systems ist die Erfassung biometrischer Daten über Eye-Tracking, Puls- und Temperaturmessungen, die Auskunft darüber geben, in welchem Ausmaß ein*e Schüler*in in ein Thema vertieft ist oder ob Verständnisschwierigkeiten auftreten (Heisel et al., o. J.; Schraml, 2019). Ergänzt wird das Eye-Tracking durch die Sprach- und Gestenerkennung sowie die Verwendung von Augmented Reality (AR), um das Lernen interaktiver zu gestalten. Zudem können biometrische Daten, wie etwa der Puls des*der Lernenden, mit einer Smartwatch erfasst werden. Dies ermöglicht die Messung von Stresslevels und der Arbeitsbelastung, infolgedessen Inhalte und Lernfortschritt noch individueller angepasst werden können (Schraml, 2019). Neben den Eye-Tracking-Sensoren erlaubt HyperMind es, anhand dieser zusätzlichen Daten eine umfassendere Analyse des Lernverhaltens vorzunehmen. Beispielsweise erkennt das System, wenn Lernende wiederholt auf bestimmte Wörter schauen oder länger an Aufgaben verweilen, was Hinweise auf besondere Interessen oder Verständnisschwierigkeiten gibt. Diese Erkenntnisse ermöglichen es Lehrkräften wiederum, gezielte Handlungsempfehlungen zu erhalten, um die Schüler*innen besser zu unterstützen (Schraml, 2019).

Die Software HyperMind besteht aus mehreren Komponenten, die aufeinander abgestimmt das Ziel verfolgen, individuelles Lernen durch KI und sensorbasierte Analyse zu fördern. Eine zentrale Funktion stellt der

HyperMind Reader dar, der multimediale Lerninhalte basierend auf den Sensordaten der Schüler*innen bereitstellt. Videos illustrieren Bildinhalte, Graphen und Tabellen werden schrittweise aufgebaut und Formeln werden verständlich erklärt. Diese adaptive Komposition ermöglicht ein tiefgehendes, individualisiertes Lernen. Der Reader analysiert dabei unter anderem die visuelle Aufmerksamkeit der Lernenden, indem er die Blickposition sowie den Verlauf verfolgt und gezielt auf längere Fixationen oder häufiges Überfliegen bestimmter Textstellen reagiert (N. F., 2019; Heisel et al., o. J.). Zusätzlich kommt der HyperMind Analyzer zum Einsatz, der die erfassten Sensordaten sowohl auf individueller als auch auf Gruppenebene analysiert. Lehrkräfte erhalten auf diese Weise datengestützte Einblicke in Lernverläufe, können Schwierigkeiten frühzeitig erkennen und gezielt personalisierte Fördermaßnahmen ableiten – ohne dass es im Zuge dessen zu einer übermäßigen Arbeitsbelastung kommt (N. F., 2019; Heisel et al., o. J.). Eine weitere Komponente des Systems stellt der HyperMind Builder dar – eine speziell für Lehrkräfte entwickelte Software, mit der eigene Lernseiten erstellt und an individuelle Unterrichtseinheiten angepasst werden können (N. F., 2019; Heisel et al., o. J.). Texte können dabei per Editor oder Copy-and-Paste eingefügt werden, während Bilder, Videos und andere Repräsentationen per Drag-and-Drop hinzugefügt werden können. Die Verknüpfung zwischen den einzelnen Inhalten und den Reaktionen des Systems erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI), resultierend in einer einfachen Handhabung auch ohne Programmierkenntnisse. Der HyperMind Builder erlaubt es Lehrkräften folglich, interaktive, anpassbare Materialien selbstständig zu gestalten, wodurch das Potenzial des adaptiven Systems über die vorgefertigten Inhalte hinaus erweitert wird (N. F., 2019; Heisel et al., o. J.).

Diese Art von adaptivem Lernsystem bietet eine personalisierte Lernumgebung, die es den Schüler*innen ermöglicht, in ihrem eigenen Tempo und nach ihren individuellen Interessen zu lernen. Im Gegensatz zum traditionellen Frontalunterricht wird hierbei die Rolle der Lehrperson dahingehend verändert, dass sie eher beratend und unterstützend agiert, während die KI das Lehrbuch dynamisch an die Bedürfnisse der Lernenden anpasst. Laut Hamisch und Kruschel (2022) bleibt die soziale Interaktion zwischen Lehrperson und Schüler*innen ein zentrales Element, sodass die Lehrkraft weiterhin eine wichtige Rolle in der Lernbegleitung übernimmt.

3.2.1.2 Empirische Studien und Evaluationen

Die Entwicklung und Implementierung des adaptiven Lernsystems HyperMind wurde von mehreren empirischen Studien begleitet, die sowohl im schulischen als auch im universitären Kontext durchgeführt wurden. Zielsetzung dieser Studien war es, die Funktionalität und Wirksamkeit des Systems im realen Einsatz zu überprüfen, kognitive Zustände der Lernenden zu erfassen und die Nutzbarkeit einzelner Komponenten wie des HyperMind Builders zu evaluieren. Die folgenden Untersuchungen fanden in Deutschland in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und verschiedenen Bildungseinrichtungen statt (N. F., 2019; Schraml, 2019). Sie liefern wertvolle Erkenntnisse darüber, inwiefern HyperMind Lernverhalten analysieren, Lernstände diagnostizieren und adaptive Maßnahmen gezielt umsetzen kann.

Ein besonders innovativer Aspekt zeigt sich in der Studie von Ishimaru et al. (2016), in deren Rahmen die Aufmerksamkeitsverläufe von Schüler*innen beim Lesen physikalischer Lernmaterialien durch Eye-Tracking analysiert wurden. Die Teilnehmerzahl umfasste acht Schüler*innen der 6. Klasse eines deutschen Gymnasiums (etwa 12 Jahre alt). Diese bearbeiteten ein speziell gestaltetes Dokument, das sowohl Texte mit physikalischen Definitionen als auch Aufgaben enthielt, wobei die Blickverläufe in zwei Phasen analysiert wurden: der ›Lesephase‹ und der ›Lösungsphase‹. Im Rahmen der Studie kamen zwei verschiedene mobile Eye-Tracking-Brillen zum Einsatz: die Tobii Pro Glasses 2, welche bei fünf Teilnehmer*innen verwendet wurde, sowie die SMI Eye Tracking Glasses 2, die bei den übrigen drei Teilnehmenden genutzt wurde. Beide Modelle ermöglichen es, das Blickverhalten der Schüler*innen in realen Lernsituationen zu erfassen, wobei die Tobii-Brille mit einer Abtastrate von 100 Hz und die SMI-Brille mit 60 Hz arbeiteten. Die Kalibrierung erfolgte je nach Modell über ein Ein- bzw. Drei-Punkt-Verfahren (Ishimaru et al., 2016, S. 1043–1044). Die erhobenen Daten wurden mithilfe von SIFT-Algorithmen und Fixations-Sakkaden-Erkennung ausgewertet (Ishimaru et al., 2016, S. 1043–1044). Hierbei stellten sich deutliche Unterschiede zwischen den Kompetenzstufen der Lernenden heraus. Die Forschenden klassifizierten die Teilnehmenden anhand ihrer Punktzahlen in Anfänger-, Mittelstufen- und Experten-Gruppen. Ein

zentrales Ergebnis war, dass Anfänger*innen deutlich mehr Zeit für den Anwendungsteil aufwendeten, während Expertinnen einen stärkeren Fokus auf Definitionen legten. Lernende mit mittlerem Kompetenzniveau bewegten sich kognitiv dazwischen, wobei sie sowohl Definitionen als auch Anwendungen gezielt nutzten (Ishimaru et al., 2016, S. 1044). Zur Veranschaulichung dieser Unterschiede wurden Heatmaps erstellt, die farblich markierten, welche Textabschnitte besonders intensiv betrachtet wurden. Diese Visualisierungen machten deutlich, dass sich das Aufmerksamkeitsverhalten systematisch entlang der Kompetenzniveaus unterschied. Während sich bei Expert*innen klar fokussierte Bereiche, wie z.B. Definitionen, erkennen ließen, zeigten Neulinge eher breit gestreute Blickmuster mit längeren Verweilzeiten bei grafischen und anwendungsbezogenen Inhalten (Ishimaru et al., 2016, S. 1044–1045, Abb. 5–6). Besonders relevant für adaptive Lernsysteme wie HyperMind ist der Befund, dass das Aufmerksamkeitsverhalten klare Rückschlüsse auf das Kompetenzniveau zulässt. Ein solches System kann diese Muster nutzen, um Lernpfade dynamisch anzupassen – etwa indem Neulingen verstärkt erklärende Beispiele und Visualisierungen angeboten werden, während Expert*innen vertiefende Definitionen erhalten. Damit wird ein zentrales Ziel adaptiver Systeme erfüllt: die gezielte Bereitstellung differenzierter Lerninhalte auf Basis objektiv messbarer kognitiver Indikatoren.

Die Interpretation solcher Blickverläufe erfordert jedoch eine präzise technische Umsetzung – ein Aspekt, der insbesondere bei der Wahl geeigneter Eye-Tracking-Systeme berücksichtigt werden muss. Hierbei spielt zugleich die Wahl der technischen Geräte eine entscheidende Rolle: Während mobile Eye-Tracking-Brillen den Vorteil bieten, Blickverläufe nicht nur auf Bildschirmen, sondern zugleich im physischen Raum zu erfassen, stellten sich im schulischen Einsatz ebenso methodische Herausforderungen heraus: Gerade bei jüngeren Schüler*innen kam es vereinzelt dazu, dass sie die Brillen unbewusst berührten. Dies kann die Kalibrierung beeinträchtigen und die Genauigkeit der aufgezeichneten Daten verringern. Aus diesem Grund weisen die Autor*innen darauf hin, dass für jüngere Proband*innen unter Umständen der Einsatz von Remote-Eye-Trackern vorteilhafter sein kann. Diese Geräte sind fest an einem Bildschirm montiert und erfassen die Blickbewegungen berührungslos. Sie reduzieren die Gefahr von Kalibrierungsfehlern

und eignen sich besonders für Fälle, in denen der Blickfokus ohnehin auf Bildschirmmaterialien liegt. Demnach ergibt sich ein methodischer Zielkonflikt zwischen Realitätsnähe durch mobile Systeme und Datengenauigkeit durch stationäre Geräte – ein Aspekt, welcher bei der Planung künftiger Studien zu berücksichtigen ist (Ishimaru et al., 2016, S. 1044).

Darüber hinaus führten Ishimaru et al. (2017) ein kontrolliertes Experiment mit zwölf Schüler*innen der 6. Klasse eines Gymnasiums (im Alter von etwa 11 bis 12 Jahren) durch, bei dem physikalische Lernmaterialien bearbeitet wurden (Ishimaru et al., 2017, S. 34). Ziel der Studie war es, kognitive Zustände wie Interesse, Verständnis und Arbeitsbelastung mithilfe einer Kombination aus Eye-Tracking-Technologie und einer Thermalkamera (FLIR One) zu erfassen. Die Lernenden arbeiteten mit einem didaktisch aufbereiteten Text- und Aufgabenblatt zum Thema »Grundlegende Phänomene in Akustik und Pendel« und wurden währenddessen kontinuierlich beobachtet. Die Inhalte wurden auf einem Bildschirm präsentiert, wobei der Text auf der linken und die Aufgaben auf der rechten Seite angezeigt wurden. Die Schüler*innen durften einen Taschenrechner verwenden; Blickbewegungen darauf wurden bei der Analyse ausgeschlossen (Ishimaru et al., 2017, S. 32–34). In technischer Hinsicht bestand der Aufbau aus einem 60 Hz-Eye-Tracker (SMI RED), der neben einem Standardmonitor platziert war, sowie einer Wärmebildkamera (FLIR One für iOS), welche die Gesichtsregion der Lernenden erfasste. Die Eye-Tracking-Daten ermöglichen Aussagen über Aufmerksamkeit und Blickverläufe, während die thermografischen Messungen (insbesondere der Nasentemperatur) Hinweise auf die kognitive Belastung lieferten (Ishimaru et al., 2017, S. 34–36). Zur Validierung der physiologischen Messdaten wurden ergänzend Selbsteinschätzungs-Fragebögen genutzt, in denen die Schüler*innen beispielsweise angaben, wie sehr ihnen der Text gefiel oder wie herausfordernd sie die Aufgaben empfanden (Ishimaru et al., 2017, S. 34). Die gesammelten Daten wurden anschließend korreliert, um Zusammenhänge zwischen physiologischen Parametern und subjektiven Einschätzungen zu identifizieren. Die Ergebnisse offenbarten signifikante Korrelationen zwischen den Sensorwerten und den subjektiv erfassten kognitiven Zuständen. So korrelierte ein erhöhter Pupillendurchmesser mit einem gesteigerten Interesse am Lernmaterial, etwa bei der Aussage »Ich mag den Inhalt des Lehrbuchs« ($r=0,70$, $p=0,01$) sowie »Ich

löse gerne Physikaufgaben« ($r = 0,60$, $p = 0,03$). Demgegenüber deutete eine sinkende Nasentemperatur auf eine zunehmende kognitive Belastung hin – insbesondere bei Aussagen wie »Es war schwierig, die richtigen Informationen zu finden« ($r = -0,80$, $p < 0,01$). Ein weiterer Indikator für das kognitive Verständnis war die Analyse von Sakkadenlängen. Kürzere Sakkaden, also schnellere Blickbewegungen zwischen Fixationen, zeigten eine signifikante Korrelation mit einem höheren Aufgabenbewusstsein und einem besseren Verständnis (etwa bei der Aussage »Ich wusste, was ich antworten musste«: $r = -0,70$, $p = 0,02$) (Ishimaru et al., 2017, S. 35). Diese Ergebnisse unterstreichen eindeutig, dass sich implizite kognitive Zustände – wie Interesse, Überforderung oder Sicherheit – zuverlässig über sensorische Parameter erfassen lassen. Für adaptive Lernsysteme wie HyperMind ist dies hochrelevant: Die Integration solcher Echtzeitdaten ermöglicht eine differenzierte Diagnose von Lernständen und erlaubt es, Lerninhalte situativ anzupassen, noch bevor explizite Fehlermeldungen oder Rückfragen auftreten. Dadurch kann eine präventive und individualisierte Lernunterstützung realisiert werden, die über klassische Formen der Lerndiagnostik hinausgeht.

Ein drittes Beispiel liefern Ishimaru et al. (2018), die in einer Evaluation mit zehn Studierenden im Alter von 20–29 Jahren den HyperMind Builder testeten – eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) zur Erstellung intelligenter interaktiver Dokumente, die ohne Programmierkenntnisse bedient werden kann (Ishimaru et al., 2018, S. 357–359). Ziel war es, Lehrmaterialien so zu gestalten, dass sie dynamisch auf das Leseverhalten reagieren – etwa durch die Einblendung zusätzlicher Informationen bei längerer Fixierung bestimmter Textstellen. Die Studienteilnehmenden erhielten zunächst eine Einführung in das System. Anschließend wurden ihnen vorbereitete Beispieltexte, unterstützende Materialien (z. B. Bilder und Videos) sowie textbezogene Multiple-Choice-Fragen zur Messung des Textverständnisses zur Verfügung gestellt. Ihre Aufgaben bestanden darin, (1) ein eigenes interaktives Dokument mit dem HyperMind Builder zu erstellen, (2) ein Dokument eines anderen Teilnehmenden zu lesen und (3) anschließend Multiple-Choice-Fragen zum Textverständnis zu beantworten. Im Schnitt fügten die Teilnehmenden $5,4 \pm 2,1$ unterstützende Elemente wie Bilder oder Videos per Drag-and-Drop in ihre Dokumente ein – das heißt, durchschnittlich 5,4 Medienobjekte, wobei die Standardabweichung bei 2,1 lag. Folglich fiel die

Anzahl der eingefügten Materialien individuell recht unterschiedlich aus (Ishimaru et al., 2018, S. 359). Zur Evaluation kamen standardisierte Fragebögen (NASA-TLX) und offene Fragen zum Einsatz. Die Ergebnisse ließen eine hohe Benutzerfreundlichkeit und intuitive Bedienbarkeit erkennen, was durch Aussagen wie ›die Nutzung war unkompliziert und einfach‹ oder ›wirklich intuitiv und nützlich‹ bestätigt wurde (Ishimaru et al., 2018, S. 359). Jedoch wurde die Erstellung interaktiver Dokumente zugleich als kognitiv fordernd empfunden. Diesbezüglich bemängelten die Teilnehmenden teilweise den Aufwand bei der Gestaltung sowie eine gewisse mentale Beanspruchung (›mental demand‹ war der stärkste Belastungsfaktor laut NASA-TLX). Dennoch galt die Schnittstelle insgesamt als niedrigschwellige und leistungsfähige Lösung für die Individualisierung digitaler Lernmaterialien (Ishimaru et al., 2018, S. 359). Die Ergebnisse dieser Pilotstudie führen deutlich vor Augen, dass Systeme wie der HyperMind Builder das Potenzial haben, Lehrkräfte ohne technische Vorkenntnisse in die Lage zu versetzen, adaptives und multimodales Lernmaterial selbst zu gestalten – ein wichtiger Beitrag zur Gestaltung inklusiver, personalisierter Lernumgebungen im digitalen Bildungskontext.

Ein weiteres Beispiel für die schulische Anwendung von HyperMind liefert eine Pilotstudie an einem Gymnasium in Rheinland-Pfalz, die vertiefte Einblicke in das Lernverhalten unterschiedlicher Altersgruppen ermöglichte. Insgesamt nahmen 42 Schüler*innen an der Untersuchung teil, darunter 16 Lernende aus der 8. Klasse (Durchschnittsalter: $13,4 \pm 0,6$ Jahre) sowie 26 aus der 10. Klasse (Durchschnittsalter: $15,3 \pm 0,9$ Jahre). Ziel der Studie war es, die Reaktionen der Schüler*innen auf adaptive Lernmaterialien zu analysieren und Rückschlüsse auf ihre kognitiven Strategien und die Benutzerfreundlichkeit des Systems zu ziehen. Besonders hervorzuheben sind die Unterschiede im Aufmerksamkeitsverhalten: Während Neulinge häufig den gesamten Text betrachteten, richteten erfahrenere Lernende ihre Aufmerksamkeit gezielt auf spezifische Elemente wie Tabellen oder Formeln. Diese differenzierten Muster wurden mithilfe von Sensoranalysen sichtbar und lieferten wertvolle Hinweise für die Weiterentwicklung des Systems (Heisel et al., o. J.). Auch Lehrkräfte profitieren von der detaillierten Analyse der Lernfortschritte, welche durch die Sensordaten ermöglicht wird. Diese Daten helfen, gezielt auf Lernprobleme einzugehen und personalisierte

Lernangebote zu gestalten, ohne dass dies eine übermäßige Arbeitsbelastung für die Lehrkräfte zur Folge hat (N. F., 2019). Mit dem HyperMind Builder können Lehrkräfte zudem auf einfache Weise eigene Lerninhalte erstellen, indem sie Texte und multimediale Elemente per Drag-and-Drop kombinieren. Dies ermöglicht es, das System flexibel an die Anforderungen des Unterrichts anzupassen (N. F., 2019; Heisel et al., o. J.).

Insgesamt wird HyperMind als ein vielversprechendes System erachtet, das die Potenziale der KI effektiv in das Bildungssystem integriert und gleichzeitig auf die individuellen Bedürfnisse der Schüler*innen eingeht.

3.2.2 Area9 Lyceum Rhapsode

Area9 Rhapsode ist ein KI-gestütztes, adaptives Lernsystem, welches der Ermöglichung individualisierter Lernprozesse dienen soll. Es passt sich in Echtzeit an das Lernverhalten der Nutzer*innen an, indem es kontinuierlich Daten über deren Antworten, Lernfortschritte und Selbsteinschätzungen sammelt. Auf dieser Grundlage entstehen personalisierte Lernpfade, die sowohl das Vorwissen als auch die kognitiven und metakognitiven Bedürfnisse der Lernenden berücksichtigen (Deutscher Bildungsserver, 2023; Kuhn, 2021). Das System basiert auf kognitionswissenschaftlicher Forschung und verwendet komplexe Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Ziel ist es, digitales Lernen so effizient und interaktiv zu gestalten, dass es dem Prinzip einer individuellen Tutorbetreuung möglichst nahekommt. Lernende erhalten nicht nur unmittelbares Feedback, sondern bewerten bei jeder Aufgabe zudem ihr eigenes Vertrauen in die gegebene Antwort, was dem System eine zusätzliche Ebene zur Erfassung des Lernstandes bietet (Thieme, 2019; Ly, 2024).

3.2.2.1 Einsatzbereiche und Funktionen

Area9 Rhapsode findet als intelligentes tutoriertes System (ITS) in verschiedenen Bildungskontexten Verwendung, um adaptives Lernen umzusetzen, Lehrkräfte zu entlasten und gleichzeitig ein gemeinsames Kompetenzniveau innerhalb der Lerngruppe zu erreichen (Kuhn, 2021). Die Plattform analysiert kontinuierlich das Lernverhalten der Schüler*innen, indem sie Daten zur Bearbeitungsgeschwindigkeit, Fehlerquote und zur

wahrgenommenen Sicherheit im Umgang mit den Lerninhalten erhebt. Anhand dieser Daten passt das System das Lernniveau, die Aufgabenreihenfolge und die angebotenen Hilfen dynamisch an (Deutscher Bildungsserver, 2023). Eine zentrale Funktion besteht in der Diagnose von Kompetenzlücken: Sobald das System erkennt, dass ein*e Schüler*in in einem bestimmten Themenfeld Schwierigkeiten hat, werden individualisierte Unterstützungsmaßnahmen wie Erklärvideos, Tutorials oder vertiefende Übungen angeboten. Gleichzeitig kann das System Aufgaben überspringen, wenn ein Lernziel bereits sicher beherrscht wird, infolgedessen unnötige Wiederholungen vermieden werden und der Lernprozess effizienter gestaltet wird (Kuhn, 2021).

Bereits im Jahr 2021 wurde Area9 Rhapsode im Auftrag der Kultusministerkonferenz in einem Pilotprojekt an sechs Schulen in Sachsen und drei Schulen in Mecklenburg-Vorpommern eingesetzt, darunter Grund-, Oberschulen, Gymnasien sowie berufliche Schulen (Reelfs, 2021). In der Praxis zeigte sich, dass das System nicht nur eine differenzierte Lernstoffaufbereitung bietet, sondern darüber hinaus eine selbstständige Erarbeitung von Lerninhalten fördert. Der Lernprozess wird dabei in individualisierten Schleifen organisiert, wobei die Schüler*innen kontinuierlich Feedback erhalten und über ihre Selbsteinschätzung aktiv in die Steuerung ihres Lernweges eingebunden werden (Kuhn, 2021).

Didaktisch weist Area9 Parallelen zum Konzept des >Flipped Classroom< auf: Lerninhalte werden zunächst individuell erarbeitet, bevor sie im Unterricht vertieft werden. Dies ermöglicht Lehrkräften, ihre Unterstützung gezielt dort einzusetzen, wo sie am dringendsten benötigt wird – insbesondere bei Schüler*innen mit erhöhtem Förderbedarf. Im Sinne der inklusiven Pädagogik eröffnet dies neue Potenziale, da heterogene Lernvoraussetzungen gezielter adressiert werden können (Kuhn, 2021).

Gleichzeitig wurde im Rahmen der Erprobung auf Herausforderungen hingewiesen. So bemängelten Lehrkräfte etwa die aufwendige Auswertung der Lernverläufe sowie eine teilweise altersunangemessene Sprache der Plattform. Ebenso wurde das Feedbacksystem, welches die Schüler*innen nach jeder Aufgabe zur Selbsteinschätzung auffordert, von einigen Lernenden als störend empfunden (Kuhn, 2021). Hinzu kommen rechtliche und technische

Fragen: Der sächsische Datenschutzbeauftragte äußerte erhebliche Bedenken bezüglich der Datenspeicherung auf ausländischen Servern. Für eine zukünftige Nutzung wird folglich eine Umstellung auf deutsche Server gefordert (Kuhn, 2021).

Dennoch bewerteten sowohl Lehrkräfte als auch Bildungspolitiker*innen das System im Pilotprojekt mehrheitlich positiv. Die Kultusministerkonferenz prüft derzeit eine bundesweite Implementierung. Voraussetzung dafür ist jedoch neben der Klärung datenschutzrechtlicher Aspekte zugleich eine curriculare Anpassung der Inhalte und ein gezieltes Fortbildungsangebot für Lehrkräfte (Kuhn, 2021).

3.2.2.2 Empirische Studien und Evaluationen

Area9 wurde im Rahmen von Pilotprojekten an mehreren Schulen in Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern getestet. Hierbei galt es, die Praxistauglichkeit des Systems zu überprüfen und festzustellen, ob es die Lernprozesse tatsächlich effizienter gestalten kann. In den Testphasen wurde Area9 in verschiedenen Schulformen und Klassenstufen erprobt, darunter in einer 9. Klasse im Fach Geografie und in einer 6. Klasse im Fach Mathematik. In beiden Fällen mussten die Schüler*innen die Lerninhalte selbstständig erarbeiten und durchliefen im Zuge dessen verschiedene Lernschleifen, die vom System automatisch gesteuert wurden (Kuhn, 2021). Die Lehrkräfte an den Piloten Schulen äußerten sich überwiegend positiv zu den Ergebnissen. Besonders hervorgehoben wurde die Möglichkeit, den Lernprozess zu differenzieren und die Schüler*innen auf ihrem individuellen Lernweg zu begleiten. Das System bot den Schüler*innen nach jeder Aufgabe sofortiges Feedback zu ihren Ergebnissen, was ihnen half, ihre Schwächen schnell zu erkennen und zu verbessern. Für die Lehrkräfte stellte sich dieses Feedback als hilfreich heraus, um den Lernstand der einzelnen Schüler*innen nachzuvollziehen und ihre Unterstützung gezielter anzubieten (Kuhn, 2021).

Gleichwohl wurden einige Herausforderungen identifiziert. So berichteten die Lehrer*innen, dass die Auswertung der Lernfortschritte sich teilweise als aufwändig erweise und die Sprache des Systems nicht durchgehend altersgerecht für jüngere Schüler*innen formuliert sei. Ferner würde es einige

Schüler*innen stören, dass sie nach jeder Aufgabe gefragt wurden, ob sie sich bei der Lösung sicher gefühlt hatten. Dies sei als repetitiv und ermüdend empfunden worden (Kuhn, 2021). Trotz dessen sieht das sächsische Kultusministerium Potenzial im Einsatz von Area9, da das System die Schüler*innen individuell betreut und Lehrkräfte entlastet. Aktuell wird die Pilotphase in Zusammenarbeit mit Hochschulen evaluiert, und es ist geplant, eine Entscheidung über den flächendeckenden Einsatz von Area9 im Rahmen des Digitalpakts Schule zu treffen (Kuhn, 2021).

Ein weiteres besonders aufschlussreiches Beispiel für den schulischen Einsatz der adaptiven Lernplattform Area9 Lyceum Rhapsode stellt die Studie »Adaptive learning in bionics – transforming science education« von Honke und Becker-Genschow (2025) dar, die an zwei Gymnasien in Nordrhein-Westfalen durchgeführt wurde. Im Fokus der empirischen Untersuchung stand die Evaluation der Wirksamkeit der digitalen Plattform im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I. Untersucht wurde diesbezüglich die Anwendung im Themenbereich Bionik – einem interdisziplinären Unterrichtsfeld innerhalb der MINT-Fächer (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 1–2). Insgesamt nahmen 56 Schüler*innen der 6. Jahrgangsstufe an der Studie teil, darunter 28 männliche und 21 weibliche Teilnehmende; sieben gaben ihr Geschlecht nicht an. Der Altersdurchschnitt lag überwiegend bei 11 Jahren (43 Schüler*innen), mit den restlichen Teilnehmenden über einem Lebensalter von 12 Jahren (13 Schüler*innen). Alle 56 Schüler*innen absolvierten einen Vortest zur Erhebung des Vorwissens, 50 davon nahmen zudem am Nachtest teil, wodurch ein valider Vergleich der Lernentwicklung ermöglicht wurde. Die Studie folgte einem quantitativen, experimentellen Design, bei dem die Schüler*innen drei thematisch zusammenhängende, bionikorientierte Module – »Eisbär«, »Wärmeübertragung« sowie »Temperatur und Wärme« – bearbeiteten. Diese wurden über die digitale Lernplattform Area9 Lyceum Rhapsode bereitgestellt und vollständig in den regulären naturwissenschaftlichen Unterricht integriert. Während der Bearbeitung der Module nutzten die Schüler*innen iPads der achten Generation und bearbeiteten die adaptiven Lerninhalte unmittelbar auf der Plattform (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 3). Dabei wurden sowohl subjektive als auch objektive Daten erhoben: Fragebögen erfassten Einstellungen zu digitalen Medien, emotionales Erleben sowie wahrgenommene

Benutzerfreundlichkeit; standardisierte Leistungstests vor und nach dem Lernmodul dienten der Messung des kognitiven Lernzuwachses. Die vier zentralen Forschungsfragen (RQ1–RQ4) bezogen sich auf die Einstellungen der Schüler*innen zu digitalen Lernumgebungen, deren emotionale Reaktionen, die kognitive Aktivierung und das situative Interesse sowie die Lernwirksamkeit der Plattform (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 2).

Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Verbesserung der fachlichen Kompetenzen durch die Nutzung der Plattform: Der durchschnittliche Lernzuwachs betrug 21 % zwischen Vor- und Nachtest. Insbesondere im Modul ›Eisbär‹ war der Lernfortschritt mit einem Wissenszuwachs von 41 % besonders deutlich, gefolgt von ›Wärmeübertragung‹ mit 23 % und ›Temperatur und Wärme‹ mit 13 % Wissenszuwachs (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 12). Diese Befunde legen nahe, dass die adaptiven Module insbesondere in Fällen effektiv sind, in denen sie kontextnah und anschaulich aufbereitet sind – wie im Fall der Bionik-Themen. Darüber hinaus berichteten 98 % der Schüler*innen, dass sie digitale Medien als motivierend empfanden. 81 % bevorzugten eine hybride Lernform, mithin eine Kombination aus traditionellen Unterrichtsmethoden und digitalen Medien (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 1). Diese Ergebnisse bestätigen, dass adaptive Lernumgebungen besonders dann als gewinnbringend wahrgenommen werden, wenn sie in ein didaktisches Gesamtkonzept eingebettet sind.

Des Weiteren wurden die emotionalen Reaktionen der Schüler*innen detailliert untersucht. Diesbezüglich offenbarten 62 % der Lernenden, während der Bearbeitung der Module positive Emotionen wie Interesse, Freude oder Zufriedenheit empfunden zu haben. Demgegenüber berichteten 38 % über Unsicherheiten, die in erster Linie mit der Navigation und der neuen Lernsituation verbunden waren (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 9). Diese gemischten Erfahrungen unterstreichen die Bedeutung einer sensiblen technischen und didaktischen Implementierung adaptiver Systeme, um die Nutzbarkeit für alle Lernenden sicherzustellen.

Die Studie hebt zudem hervor, dass Area9 das Potenzial innewohnt, kognitive Aktivierung und situatives Interesse gezielt zu fördern (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 19). Die Lernplattform unterstützt individuelle Lernprozesse, indem sie es den Schüler*innen ermöglicht, Inhalte in ihrem eigenen

Lerntempo zu bearbeiten und verschiedene Unterstützungsangebote wahrzunehmen. Die modulare Struktur der Lernumgebung trägt dazu bei, dass die Lernenden aktiv mit dem Material interagieren, mit positiven Auswirkungen auf die Motivation und die Tiefe der Auseinandersetzung mit den Inhalten. Die Kombination aus Selbststeuerung, digitalem Format und unmittelbarer Aufgabenbearbeitung wurde von vielen Teilnehmer*innen als lernförderlich erlebt (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 11-12).

Trotz der insgesamt positiven Evaluation verweisen die Autor*innen auf einige Einschränkungen der Studie. So weist das Forschungsteam auf die begrenzte Stichprobengröße und den lokalen Fokus der Untersuchung hin, infolgedessen die Generalisierbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt sei. Ebenso wurden technische Herausforderungen, etwa in Bezug auf die Gerätekompatibilität und eine intuitive Nutzbarkeit der Plattform, als mögliche Hürden benannt. Angesichts dessen betonen die Autor*innen die Notwendigkeit größerer, interkulturell angelegter Studien sowie technischer Optimierungen, um die Einsatzmöglichkeiten adaptiver Systeme wie Area9 Lyceum Rhapsode im schulischen Alltag weiter zu verbessern (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 18).

Insgesamt belegt die Studie eindrucksvoll das Potenzial adaptiver Lernplattformen wie Area9 im schulischen Kontext. Sie zeigt, dass solche Systeme nicht nur zur kognitiven Förderung beitragen, sondern überdies motivationale und emotionale Aspekte des Lernens positiv beeinflussen können. Zugleich verdeutlicht sie, dass eine sorgfältige didaktische Einbettung und technische Optimierung zentrale Gelingensbedingungen für die erfolgreiche Integration in den schulischen Alltag darstellen. Die Autor*innen plädieren folglich für weiterführende Untersuchungen mit größeren, heterogeneren Stichproben sowie für interkulturelle Vergleichsstudien, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen und adaptive Systeme langfristig in der schulischen Bildung zu verankern (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 1-12).

3.2.3 Bettermarks

Das System ›bettermarks‹ ist ein KI-gestütztes, adaptives Lernsystem für Mathematik, das speziell für den Einsatz im Unterricht der Jahrgangsstufen

4 bis 12/13 konzipiert wurde (bettermarks, o. J. (a)). Die Plattform wurde 2008 von Arndt Kwiatkowski, Marianne Voigt und Christophe Speroni gegründet und hat ihren Sitz in Berlin (bettermarks, o. J. (b)). Als eines der führenden adaptiven Lernsysteme im deutschsprachigen Raum wird bettermarks sowohl für individuelle Übungsphasen als auch zur Unterstützung des Präsenzunterrichts eingesetzt (bettermarks, o. J. (a)).

Das System bietet personalisiertes Feedback, das sich an den individuellen Eingaben der Lernenden orientiert. Ziel ist es, Schüler*innen beim selbstständigen Arbeiten im eigenen Tempo zu unterstützen, Wissenslücken gezielt zu schließen und eine fundierte Vorbereitung auf Leistungskontrollen zu ermöglichen (bettermarks, 2024). Die Übungen können flexibel auf verschiedenen Endgeräten – Tablets, Computern oder Smartphones – bearbeitet werden. Die Lernenden erhalten dabei automatisierte Rückmeldungen, die unmittelbar auf ihre Bearbeitungen reagieren und ihnen Hilfestellungen sowie Lösungsvorschläge bieten (bettermarks, o. J. (c)).

Nach Angaben des Anbieters kommt bettermarks derweil in über zehn Ländern zum Einsatz, darunter Deutschland, die Niederlande, Uruguay und Südafrika. Allein im Schuljahr 2020/21 nutzten mehr als 400.000 Schüler*innen in Deutschland die Plattform, im Zuge dessen über 144 Millionen Aufgaben bearbeitet wurden (bettermarks, o. J. (c)). In mehreren Bundesländern steht bettermarks im Rahmen von Landeslizenzen kostenlos zur Verfügung. Diese ermöglichen den Einsatz im Unterricht sowie zur häuslichen Nachbereitung ohne zusätzliche Kosten (bettermarks, 2024).

Die Relevanz des Systems wird ferner durch externe Studien betont: Laut der Deutschen Telekom Stiftung gilt bettermarks als ein besonders praxisnahes Beispiel für den Einsatz künstlicher Intelligenz zur Förderung von individualisiertem Lernen im schulischen Kontext. Das System analysiere die Eingaben der Lernenden, gebe automatisiertes Feedback und ermögliche Lehrkräften detaillierte Einblicke in den Lernfortschritt, sodass individuelle Lernbedarfe gezielt adressiert werden können (Deutsche Telekom Stiftung, 2023, S. 35).

Für Lehrkräfte bietet das System darüber hinaus eine datenbasierte Lernstandsanalyse mit individueller Fehlerdiagnostik, wodurch eine gezielte

Förderung auf Grundlage automatisierter Auswertungen möglich wird (bettermarks, o. J. (a)).

3.2.3.1 Einsatzbereiche und Funktion

Das adaptive Lernsystem bettermarks zählt zu den etabliertesten intelligenten tutorierten Systemen (ITS) im deutschsprachigen Raum und findet insbesondere im Mathematikunterricht an allgemeinbildenden Schulen Verwendung. Es kommt laut Angaben der Anbieter an über 800 Schulen zum Einsatz und ist zudem im Rahmen mathematischer Wettbewerbe wie dem ›Känguru-Wettbewerb‹ integriert (Weich et al., 2021, S. 26–27). Bettermarks liegt die Zielsetzung zugrunde, durch eine Kombination aus automatisierter Diagnose, adaptiver Übungssteuerung und intelligentem Feedback individualisierte Lernprozesse zu ermöglichen und die Rolle der Lehrkraft gezielt zu unterstützen (Weich et al., 2021, S. 26–27; bettermarks, o. J. (a); Körber-Stiftung, 2020, 15:18–16:17).

Im Mittelpunkt des Systems steht die algorithmische Analyse von Schüler*innenantworten, auf deren Basis sogenannte ›Wissenslücken‹ identifiziert und mit geeigneten Übungseinheiten adressiert werden (Weich et al., 2021, S. 27). Diese adaptiven Lernwege basieren auf einem Lernzielnetz, einer graphenartigen Struktur, die über 2.400 Lernziele, etwa 10.000 Aufgabentypen und über 200.000 Aufgaben umfasst. Dieses Netzwerk verknüpft fachliche und didaktische Wissensstrukturen miteinander und erlaubt es dem System, Lernpfade zu gestalten, die sowohl inhaltlich als auch methodisch auf den individuellen Lernstand abgestimmt sind (Speroni, 2020a; Weich et al., 2021, S. 32).

Bettermarks ist auf zwei Ebenen der Adaptivität tätig: Die sogenannte Mikro-Adaptivität ist auf eine adaptive Unterstützung innerhalb einzelner Aufgaben ausgerichtet. Das System analysiert in Echtzeit die Eingaben der Schüler*innen, erkennt typische Fehlermuster und reagiert mit elaboriertem Feedback, das gezielte Hinweise, Hilfestellungen oder Schritt-für-Schritt-Erklärungen enthält. Insgesamt umfasst das System über 25.700 Feedbacktexte auf Ebene einzelner Aufgabenschritte sowie 2.800 Feedbacks, die auf spezifischen Fehlerdiagnosen basieren. Sollte eine Aufgabe nicht gelöst werden können, bietet das System eine vollständige

Musterlösung mit den konkreten Aufgabenwerten, um Sackgassen vorzubeugen und selbstreguliertes Lernen zu ermöglichen (Speroni, 2020a).

Im Vergleich dazu bezieht die Makro-Adaptivität sich auf die adaptive Steuerung des Lernpfades. Das System erkennt anhand der Bearbeitungen Wissenslücken und schlägt geeignete Übungen vor, auch wenn die zugrunde liegende Problematik auf Inhalte aus früheren Klassenstufen zurückgeht. Bettermarks verfolgt diesbezüglich ein tiefenorientiertes Verständnis von Adaptivität: Hierbei wird nicht das Ziel verfolgt, Schüler*innen schnell in neue Themen einzuführen, vielmehr soll vorhandenes Wissen über gezielte Wiederholung und differenzierte Aufgabenformate gefestigt und ausgebaut werden. Zu diesem Zweck werden Übungen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden (z. B. geführt vs. offen, konkret vs. abstrakt) angeboten, die automatisch an die individuellen Lernstände angepasst werden (Speroni, 2020a).

Ein zentrales Element des didaktischen Konzeptes bildet der iterative Lernprozess, bei dem Schüler*innen durch wiederholtes Üben, Fehleranalysen und gezielte Rückmeldung zu einem tieferen Verständnis mathematischer Zusammenhänge angeleitet werden (Speroni, 2020a). Fehler gelten hierbei nicht als kreative Lernanlässe im konstruktivistischen Sinn, sondern primär als Defizite, die systematisch behoben werden sollen. Lernhandlungen folgen häufig einer IF/THEN/ELSE-Logik: Wenn (IF) die Lösung einer Aufgabe richtig ist, dann (THEN) führt das System die Lernenden zur nächsten Aufgabe oder zum nächsten Lernziel; wenn nicht (ELSE), wird auf Grundlage des Feedbacks eine Wiederholung oder Hilfestellung angeboten. Diese Struktur erinnert stark an die algorithmische Funktionsweise klassischer Software und verdeutlicht die enge Verbindung zwischen mathematischer und informatischer Praxis (Weich et al., 2021, S. 34–37; Speroni, 2020a).

Ein Alleinstellungsmerkmal von bettermarks ist die große Vielfalt an intelligenten Interaktionswerkzeugen: Über 100 verschiedene Eingabetools erlauben es, mathematische Aufgaben nicht nur durch Auswahl, sondern ferner durch Konstruktionen, Eingaben von Formeln, Zeichnungen oder Baumdiagrammen zu lösen. Dies erweitert die Ausdrucksmöglichkeiten der Lernenden und erlaubt dem System zugleich, tiefergehende Fehleranalysen durchzuführen (Speroni, 2020a). Zudem umfasst das System eine große

inhaltliche Breite: Für die Jahrgangsstufe 5 eines Gymnasiums in Bayern sind beispielsweise über 280 Lernziele mit etwa 14.000 Aufgaben hinterlegt, verteilt auf 1.400 Aufgabentypen. Durch diese Aufgabenvielfalt können sowohl Wiederholungen als auch Binnendifferenzierung auf individuelle Leistungsniveaus erfolgen, ohne dass reines Auswendiglernen möglich ist – denn Aufgabenwerte werden bei jedem Versuch variiert (Speroni, 2020 (a)). Diese Aufgaben sind didaktisch in vier aufeinander aufbauenden Phasen strukturiert: (1) Vorwissen, (2) Übung, (3) Bearbeitung von Wissenslücken und (4) Test. Durch diese Phasengliederung wird ein tiefenorientiertes Lernen gefördert, das sowohl diagnostisch als auch übungszentriert funktioniert (Speroni, 2020a). Lehrkräfte erhalten über ein Dashboard umfassenden Einblick in den Lernfortschritt ihrer Klassen. Sie können Aufgaben differenziert zuweisen, Bearbeitungsstände überwachen und erhalten automatisierte Empfehlungen zur individuellen Förderung. Das System übernimmt demnach Aufgaben der Diagnose, Differenzierung und Rückmeldung, die zuvor ausschließlich in der Verantwortung der Lehrkraft lagen (Weich et al., 2021, S. 39 ff.). Dies kann insbesondere in heterogenen Lerngruppen entlastend wirken und individualisiertes Lernen ermöglichen.

Darüber hinaus bietet bettermarks vorgefertigte Unterrichtseinheiten, interaktive Tafelbilder sowie Aufgaben für alle Phasen des Unterrichts: vom Einstieg über die Erarbeitung bis hin zur Sicherung, Vertiefung und Überprüfung (bettermarks, o. J. (a)). Auf diese Weise kann bettermarks sowohl im Präsenzunterricht als auch im selbstgesteuerten Lernen (z. B. Hausaufgaben oder Fernunterricht) eingesetzt werden (Körber-Stiftung, 2020, 15:18–19:30).

Zur Förderung der Lernmotivation integriert bettermarks überdies Elemente der Gamification wie Sterne oder Münzen, die für korrekt bearbeitete Aufgaben vergeben werden. Diese sollen insbesondere zur Wiederholung motivieren und eine positive Einstellung zum Umgang mit Fehlern fördern (Speroni, 2020a).

Trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ist bettermarks nicht frei von Kritik. So weisen Weich et al. (2021, S. 42–44) darauf hin, dass die im System eingeschriebenen Logiken eine behavioristische Vorstellung von Lernen transportieren: Lernende werden auf die Rolle von Subjekten reduziert,

deren Aufgabe es ist, sich den Anforderungen des Systems anzupassen. Aspekte wie kreative Irritation, pädagogische Aushandlungsprozesse oder soziales Lernen bleiben dagegen weitgehend außen vor. Das System folgt damit einem solutionistischen Paradigma, das Lernen auf die Optimierung quantifizierbarer Outputs reduziert.

Insgesamt kann bettermarks als ein technisch hochentwickeltes, auf mathematische Lernprozesse spezialisiertes ITS erachtet werden, das durch differenzierte Aufgabenformate, intelligente Feedbackmechanismen und ein umfassendes Diagnosesystem individuelle Förderung ermöglicht. Es bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Regelunterricht, beim Üben zu Hause und in diagnostischen Kontexten. Gleichzeitig zeigt die wissenschaftliche Analyse, dass solche Systeme in ihrer didaktischen Reichweite begrenzt sind, wenn sie ausschließlich auf datenbasierte Optimierung und formalisiertes Lernen setzen. Eine zukunftsweisende Entwicklung müsste bettermarks demzufolge stärker mit partizipativen, kreativitätsfördernden und sozio-emotionalen Lernkonzepten verknüpfen.

3.2.3.2 Empirische Studien und Evaluationen

Die Wirksamkeit intelligenter tutorierter Systeme im schulischen Kontext, insbesondere in den MINT-Fächern, wurde in einer vielbeachteten Metastudie der Technischen Universität München im Auftrag der Kultusministerkonferenz (KMK) umfassend untersucht. Diese Analyse von 80 Einzelstudien hat hervorgebracht, dass digitale Lernsysteme mit adaptiven Eigenschaften – sogenannte intelligente Tutorensysteme – unter allen digitalen Lernmedien die größten positiven Effekte auf die Lernleistung erzielen (Speroni, 2020b; Becker, 2017). Im deutschsprachigen Raum wird in diesem Zusammenhang insbesondere das System bettermarks als ein besonders leistungsfähiges Beispiel im Fach Mathematik hervorgehoben.

Eine der frühesten und umfassendsten Evaluationen des Systems erfolgte im Jahr 2009 durch das ZNL Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen unter der Leitung von Prof. Dr. Manfred Spitzer. Ziel der Studie war es, sowohl die Wirksamkeit als auch die Akzeptanz von bettermarks empirisch zu überprüfen. Insgesamt nahmen über 1.000 Schüler*innen aus 34 Pilotenschulen in sechs Bundesländern teil. Dabei wurden sogenannte

Interventionsklassen, die mit bettermarks arbeiteten, mit Werteklassen verglichen, die das System wiederum nicht verwendete. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich von Mitte September bis Ende Dezember 2009, je nach Schularzt mit variierender Interventionsdauer zwischen zwei und fünf Wochen (Evanschitzky et al., 2010, S. 1). Die Ergebnisse belegen einen signifikant positiven Effekt auf die mathematische Leistungsentwicklung: Schüler*innen, die mit bettermarks arbeiteten, erzielten im Leistungstest signifikant bessere Ergebnisse als jene in den Kontrollklassen. Besonders deutlich war der Leistungszuwachs bei drei spezifischen Teilgruppen: Erstens bei männlichen Schülern, bei denen ein größerer Lernerfolg gemessen wurde – womöglich bedingt durch eine höhere computerbezogene Vorerfahrung; zweitens bei Lernenden mit hohem arithmetischem Vorwissen, die in der relativ kurzen Interventionszeit in besonders hohem Maße von den Übungsformaten profitieren konnten; drittens bei Schüler*innen aus Klassen mit besonders aktiven Lehrkräften, die das System regelmäßig einsetzten, gezielt Übungsserien bereitstellten und dadurch die Nutzung effektiv in den Unterricht integrierten. Letzteres Ergebnis unterstreicht die zentrale Rolle der Lehrkraft bei der erfolgreichen Integration digitaler Lernsysteme: Die Intensität und Qualität der Nutzung durch die Lehrperson hatten einen messbaren Einfluss auf den Lernerfolg der Schüler*innen (Evanschitzky et al., 2010, S. 2).

Im Hinblick auf die Akzeptanz des Systems zeigten sich sowohl Schüler*innen als auch Lehrkräfte überwiegend positiv gestimmt. Erstgenannte schätzten vor allem die sofortige Rückmeldung bei Aufgabenlösungen sowie die Möglichkeit, im eigenen Tempo zu arbeiten. Zudem hoben sie die verständlichen Erklärungen und unterstützenden Hilfetexte positiv hervor, die ihnen bei Bedarf zur Verfügung standen. Gleichzeitig nutzten viele die Gelegenheit, konkrete Verbesserungsvorschläge einzureichen, etwa im Hinblick auf technische Erweiterungen oder die Gestaltung der Benutzeroberfläche. Auch die Rückmeldungen der Lehrkräfte waren weitgehend zustimmend. So gaben die meisten an, lediglich eine bis zwei Stunden Einarbeitszeit für sich selbst und rund eine Unterrichtsstunde für die Schüler zu bedürfen. Während der Interventionsphase kam bettermarks überwiegend für die Hausaufgabenbearbeitung zum Einsatz – nahezu alle beteiligten Lehrkräfte nutzten das System mindestens zweimal pro Woche.

Als besonders hilfreich empfanden sie die Funktion zur automatisierten Aufgabengenerierung, die es ihnen ermöglichte, Aufgaben individuell und passgenau bereitzustellen. Lehrkräfte sahen darin nicht nur ein Mittel zur differenzierten Förderung, sondern zugleich eine Unterstützung bei der Darstellung von Lernfortschritten, was insbesondere für diagnostische Zwecke von Nutzen war. Insgesamt wurde das System von vier von fünf Lehrkräften als effektives Mittel zur Vor- und Nachbereitung des Mathematikunterrichts empfohlen. Neun von zehn vertraten die Auffassung, dass digitale Lernsysteme wie bettermarks zukünftig als reguläre Lehrmaterialien in Schule und Nachmittagsförderung eingebunden werden sollten (Evanschitzky et al., 2010, S. 2).

Die Studienautor*innen kommen zu dem Schluss, dass die positiven Wirkungen des Systems insbesondere auf die erhöhte Individualisierung mathematischer Lernprozesse zurückzuführen sind. Gleichzeitig wird betont, dass der Effekt nicht automatisch eintritt, sondern maßgeblich von der aktiven Nutzung durch Lehrkräfte und den individuellen Voraussetzungen der Lernenden beeinflusst wird. Die Studie liefert somit nicht nur einen quantitativen Nachweis der Wirksamkeit, sondern darüber hinaus qualitative Einblicke in Gelingensbedingungen und Nutzungskontexte digitaler Lernsysteme im Mathematikunterricht (Evanschitzky et al., 2010, S. 2).

Im Rahmen einer international vergleichenden Studie wurde bettermarks zudem wissenschaftlich mit anderen digitalen Mathematiklernplattformen verglichen. Die unter dem Titel Eva-CBTM (Evaluation of Computer Based Training Programs for Mathematics) am Institut für Didaktik der Mathematik und Informatik der Universität Münster durchgeführte Untersuchung analysierte insgesamt 60 Plattformen (15 davon im Detail), darunter deutsch- und englischsprachige Systeme. Untersucht wurden unter anderem die Kriterien Interaktivität, Feedbackqualität, Fehlersensibilität und didaktische Struktur. In allen Teilkategorien konnte bettermarks überzeugen und belegte in der Gesamtwertung den ersten Platz. Besonders positiv hervorgehoben wurden das differenzierte Bewertungssystem, die adaptive Unterstützung in verschiedenen Bearbeitungsphasen sowie die hohe Eingabeflexibilität. Im Gegensatz zu vielen anderen Systemen reagiert bettermarks nicht nur auf Endergebnisse, vielmehr analysiert es ebenfalls

Zwischenschritte, erkennt typische Fehlerbilder (z. B. bei Rechenwegen im Bruchrechnen) und bietet entsprechend passende Hilfen an (Stein, o.J., S. 4–5).

Ein weiteres Beispiel für die positive Wirkung des Systems stammt aus dem schulischen Alltag: Im Rahmen des Intel® Education Alliance-Programms setzte das Europagymnasium Richard von Weizsäcker in Thale (Sachsen-Anhalt) verschiedene digitale Lernangebote ein, darunter bettermarks. In dieser praxisnahen Fallstudie zeigte sich, dass die Schüler*innen, die mit bettermarks arbeiteten, im Durchschnitt um eine ganze Note besser abschnitten als ihre Mitschüler*innen, die nicht an dem Programm teilnahmen. Zusätzlich wurde berichtet, dass der Einsatz des Systems zu einer spürbaren Entlastung der Lehrkräfte führte, da die automatisierten Rückmeldungen und Korrekturen mit Zeitersparnissen einhergingen sowie gezielte Fördermaßnahmen erleichterten (Intel Education Alliance, 2013, S. 6–7).

Die genannten empirischen Befunde werden ergänzt durch Einschätzungen führender Bildungsforscher. So betont Prof. Dr. Olaf Köller (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, IPN) die Bedeutung intelligenter tutorierter Systeme für die individuelle Förderung im Mathematikunterricht. Bettermarks erkenne nicht nur spezifische Fehler, vielmehr sei es überdies imstande, auf zugrunde liegende Fehlvorstellungen zu reagieren und entsprechende Lernhilfen bereitzustellen. Darüber hinaus ermögliche das System eine automatisierte Rückmeldung nicht nur an die Lernenden, sondern zugleich an die Lehrkräfte – ein wesentlicher Vorteil gegenüber traditionellen Lernformaten (Speroni, 2020 (b); Ebbinghaus, 2020).

Neben der wissenschaftlich begleiteten Evaluation liegen zudem qualitative Einblicke aus der Unterrichtspraxis vor, die den nachhaltigen Nutzen von bettermarks im schulischen Alltag unterstreichen. So berichtet Constanze Kaiser, Mathematiklehrerin an der Reinhold-Burger-Schule in Berlin, über ihre langjährigen Erfahrungen mit dem System. Sie nutzt das System seit 2015 kontinuierlich im Mathematikunterricht und hebt insbesondere die Möglichkeiten zur individuellen Förderung sowie zur qualitativen Rückmeldung hervor. Nach eigenen Angaben ermöglicht ihr bettermarks mit vergleichsweise geringem Aufwand eine »in höchstem Maße differenzierte« Aufgabenverteilung, verbunden mit einer automatisierten Auswertung und

Diagnose der Schülerleistungen. Eine solche Rückmeldung wäre im analogen Unterricht ‚niemals leistbar‘ gewesen und stelle insbesondere für Hausaufgaben eine deutliche qualitative Verbesserung dar (Kaiser, 2021). Fernerhin hebt sie die hohe didaktische Qualität der im System integrierten Hilfetexte und Erklärungen hervor: Lernende erhalten bei Bedarf nicht nur Tipps zur Bearbeitung, vielmehr – sofern erforderlich – ebenfalls einen vollständigen Lösungsweg. Diese Rückmeldungen seien nicht nur hilfreich, sondern förderten zugleich Lesekompetenz und Selbstständigkeit. Insbesondere im Vergleich mit Schulbüchern oder klassischen Arbeitsheften sieht sie hierin einen entscheidenden Mehrwert, zumal die Textgestaltung bewusst variiere und dadurch auf Prüfungssituationen oder Lehrerwechsel vorbereiten könne (ebd.).

Des Weiteren wird die individualisierte Aufgabenverteilung hervorgehoben: Wissenslücken können gezielt adressiert werden, ohne dass Lehrkräfte umfangreiches Zusatzmaterial erstellen müssen. Besonders in Zeiten des Fernunterrichts sei dies ein entscheidender Vorteil. Lernstandserhebungen, differenzierte Gruppenaufgaben und die Möglichkeit, freiwillige Übungsformate zur Prüfungsvorbereitung bereitzustellen, gehören für Frau Kaiser zum etablierten Repertoire. Für Lehrkräfte sei dabei besonders entlastend, dass Aufgaben automatisiert korrigiert werden und sich durch die Kooperation mit Kolleg*innen gemeinsame Aufgabenpools aufbauen lassen (Kaiser, 2021).

In ähnlicher Weise bestätigen internationale Studien die Wirksamkeit von bettermarks im schulischen Kontext. In Uruguay wird das System beispielsweise landesweit im Mathematikunterricht eingesetzt. Im Auftrag des Bildungsministeriums wurde zwischen 2014 und 2016 eine dreijährige Langzeitstudie durchgeführt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Schüler*innen, die regelmäßig mit bettermarks arbeiteten, im Durchschnitt 10 % bessere Lernergebnisse erzielten als ihre Mitschüler*innen ohne Systemnutzung. Besonders stark fiel der Effekt bei Kindern aus sozial benachteiligten Milieus aus: In dieser Gruppe lag der Leistungszuwachs bei bis zu 30 % (bettermarks, o.J. (d)).

Darüber hinaus liegen aus den Niederlanden Datenanalysen zur Nutzung von bettermarks vor. Dort arbeiten Schüler*innen im Schnitt über 90

Minuten pro Woche mit dem System. Eine Auswertung ergab, dass Lernende, die das System intensiv nutzten (mehr als 10 Übungen pro Thema), im Vergleich zu jenen mit geringerer Nutzung (weniger als 3 Übungen pro Thema), im Schnitt 12 % bessere Leistungen erzielten – bei einer Signifikanz von 99,8 %. Gleichzeitig konnte eine Reduktion des leistungsbezogenen Gefälles innerhalb der Klassen festgestellt werden – ein Hinweis auf das Potenzial zur Förderung von Bildungsgerechtigkeit (bettermarks, o.J. (d)).

Resümierend ist den genannten Studien zu entnehmen, dass bettermarks wirksam zur individuellen Förderung im Mathematikunterricht beiträgt. Insbesondere im Falle intensiver Nutzung durch Lehrkräfte und Lernende entfaltet das System sein Potenzial zur Leistungssteigerung. Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass bettermarks ebenso zur Förderung von Bildungsgerechtigkeit und damit zur inklusiven Schulentwicklung beitragen kann.

4 Chancen und Herausforderungen für die Inklusion durch KI-Technologien

Die Integration assistiver und adaptiver Systeme auf Basis von KI in den schulischen Kontext birgt einerseits ein erhebliches Potenzial für Bildungsinnovationen und andererseits verschiedene Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. In einem zunehmend diversifizierten Bildungssystem bietet der Einsatz solcher Technologien die Möglichkeit, auf die individuellen Bedürfnisse jedes Schülers bzw. jeder Schülerin einzugehen und Barrieren für eine inklusive Bildung abzubauen. Intelligente Algorithmen adaptiver Lernsysteme ermöglichen beispielsweise die dynamische Anpassung des Lehrmaterials an das Tempo und den spezifischen Lernstil der Lernenden, infolgedessen nicht nur das individuelle Lernen gefördert, sondern ebenso die Chancengleichheit verbessert werden kann (Heisel et al., o. J.; Schraml, 2019). Ergänzend dazu unterstützen assistive KI-Technologien – wie etwa automatische Sprachausgabe, Live-Untertitelung oder visuelle Texterkennung (Müller & Schiering, 2023, S. 873–874; Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 38) – Schüler*innen mit Sinnes- oder körperlich-motorischen Beeinträchtigungen dabei, alltägliche und schulische Aufgaben selbstständig zu bewältigen und aktiv am Unterricht teilzuhaben.

Jedoch stehen diesen besonderen Möglichkeiten zugleich bedeutende Herausforderungen gegenüber, die sowohl technischer als auch ethischer Natur sind. Technische Grenzen, wie die Datengenauigkeit, Systemkomplexität oder eingeschränkte Kontextsensitivität, sowie didaktische Fragen hinsichtlich der pädagogischen Integration erfordern eine sorgfältige Analyse und Anpassung. Zudem wirft der Einsatz solcher Technologien Fragen des Datenschutzes und der ethischen Verantwortung auf, welche von zentraler Bedeutung für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Implementierung sind.

Diese Balance zwischen Potenzialen und Herausforderungen wird im folgenden Kapitel näher untersucht, um ein umfassendes Verständnis der Vorteile und Grenzen KI-gestützter Technologien im schulischen Bereich zu entwickeln.

4.1 Potenziale der Technologien für inklusive Bildung

Der Einsatz KI-gestützter Technologien im schulischen Kontext eröffnet vielfältige Potenziale für eine inklusivere Bildung. So können sowohl adaptive Lernsysteme als auch assistive Technologien dazu beitragen, strukturelle, didaktische und kommunikative Barrieren abzubauen und die Teilhabe von Schüler*innen mit unterschiedlichen Unterstützungsbedarfen zu stärken.

Adaptive Lernsysteme wie bettermarks, HyperMind oder Area9 Rhapsode ermöglichen eine individualisierte Gestaltung von Lernprozessen, indem sie Inhalte, Aufgabenformate und Rückmeldungen automatisch an den Lernstand, das Lerntempo und die kognitiven Strategien einzelner Schüler*innen anpassen. Hierfür stützen sie sich auf kontinuierliche Datenanalysen, um Lernwege dynamisch anzupassen und gezielte Hilfestellungen zu geben (Heisel et al., o.J.; Schraml, 2019; Kuhn, 2021). Insbesondere für lernschwächere oder heterogen zusammengesetzte Lerngruppen bietet dies die Gelegenheit, das Unterrichtsniveau zu differenzieren, Über- oder Unterforderung zu vermeiden und Lernmotivation zu fördern. Überdies ist Studien zu entnehmen, dass adaptive Systeme das Selbstwirksamkeitserleben und die Selbststeuerung im Lernprozess positiv beeinflussen können (Honke & Becker-Genschow, 2025, S. 11–12).

Ein entscheidender Vorteil adaptiver Lernsysteme besteht in ihrer Fähigkeit zur Personalisierung. Im Wege von kontinuierlichem Monitoring und Feedback können Schüler*innen mit besonderen Bedürfnissen individuell gefördert werden. Dies entlastet zugleich Lehrkräfte, die ihre pädagogischen Ressourcen gezielter einsetzen können (Lütje-Klose, 2023, S. 28; Benkö & Waltl, 2024, S. 18). Die dynamische Anpassung an Stärken und Schwächen unterstützt folglich eine lernwirksame Differenzierung und kann dazu beitragen, Bildungsgerechtigkeit zu fördern (Benkö & Waltl, 2024, S. 18).

Weiteres Potenzial besteht in der Möglichkeit, Lernchancen für marginalisierte Gruppen zu erhöhen. Für Schüler*innen mit Sinnesbeeinträchtigungen oder motorischen Einschränkungen bieten Technologien wie Text-to-Speech, Spracherkennungssoftware und 3D-Gebärdensprache-Avatare neue Möglichkeiten zur Teilhabe am Unterricht. Diese Technologien

ermöglichen eine barrierefreie Kommunikation und eine individuelle Anpassung der Lernmaterialien an die spezifischen Bedürfnisse der Lernenden. Darüber hinaus kann KI die Sprachbarriere für Schüler*innen mit Migrationshintergrund überwinden, indem sie automatisierte Übersetzungsdienele bereitstellt und auf diese Weise den Lernprozess erleichtert (Hamisch et al., 2023).

Zusätzlich tragen adaptive Systeme dazu bei, eine objektivere und gerechtere Bewertung der Lernleistungen zu ermöglichen. Da diese Systeme nicht von Vorurteilen beeinflusst werden, können sie eine neutrale Lernumgebung schaffen, in der Schüler*innen allein aufgrund ihrer Leistungen beurteilt werden. Gleichwohl gilt es, ebenfalls hier auf mögliche Verzerrungen in den Algorithmen, die systemische Vorurteile reproduzieren könnten, Acht zu geben (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 241).

Fernerhin ermöglichen assistive KI-Technologien eine unmittelbare Unterstützung für Schüler*innen mit sensorischen, kognitiven oder körperlich-motorischen Beeinträchtigungen. So unterstützt etwa die App Ava durch automatische Live-Untertitelung hörgeschädigte Schüler*innen beim Verstehen von Unterrichtsgesprächen, Vorträgen oder Gruppenarbeiten (Ava, o.J. (a); Haug, 2024). OrCam MyEye wiederum bietet sehbehinderten Lernenden über eine kompakte Brillenkamera die Möglichkeit, Texte vorzulesen, Gesichter zu erkennen und sich im Schulumfeld besser zu orientieren (OrCam Staff, 2022; BSVW, o.J.). Auch Predictable 7, eine Sprachgenerierungs-App für nicht-sprechende Menschen, ermöglicht eine barrierefreie Kommunikation und erhöht damit die aktive Teilnahme im schulischen und sozialen Raum (Therapy Box, 2024).

Neben der direkten Unterstützung individueller Teilhabe eröffnen diese Technologien neue Chancen der Selbstbestimmung, der sozialen Inklusion und der aktiven Mitgestaltung des Lernprozesses. Indem Schüler*innen ihre Umwelt selbstständig erschließen, Informationen ohne fremde Hilfe verarbeiten oder sich verbal mitteilen können, entsteht ein inklusives Lernumfeld, das auf Gleichberechtigung und Autonomie ausgerichtet ist (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36).

Insgesamt erweisen sich assistive und adaptive KI-Technologien als vielversprechende Werkzeuge auf dem Weg zu einer inklusiven Schule. Sie

ermöglichen nicht nur individuelle Förderung, sondern stärken darüber hinaus zentrale Prinzipien der Inklusion wie Barrierefreiheit, Partizipation und Chancengerechtigkeit – vorausgesetzt, sie werden verantwortungsvoll, didaktisch durchdacht und unter Berücksichtigung ethischer sowie datenschutzrechtlicher Aspekte implementiert.

4.2 Pädagogische, technische und organisatorische Herausforderungen

Trotz der vielfältigen Potenziale, die KI-gestützte Technologien für eine inklusive Bildung eröffnen, stellt ihre Integration in den schulischen Alltag Lehrkräfte, Bildungseinrichtungen und Träger vor eine Reihe komplexer Herausforderungen. Diese betreffen insbesondere pädagogische, technische und organisatorische Rahmenbedingungen, die es für eine nachhaltige und chancengerechte Nutzung zu berücksichtigen gilt.

Eine der größten technischen Hürden stellt der flächendeckende Aufbau einer geeigneten Infrastruktur dar, welche sowohl die Verfügbarkeit (availability) als auch die Zugänglichkeit (accessibility) gewährleistet (Lütje-Klose, 2023, S. 19). Viele Schulen verfügen nicht über die notwendige technische Ausstattung, um adaptive und assistive Lernsysteme flächendeckend zu implementieren und langfristig zu betreiben. Bestandteil dessen sind nicht nur die Bereitstellung von Geräten wie Computern oder Tablets, sondern gleichermaßen die Schaffung stabiler Internetverbindungen und die Wartung der Systeme (Lütje-Klose, 2023, S. 19–20). Um allen Lernenden einen gleichberechtigten Zugang zu ermöglichen, ist es zudem von maßgeblicher Bedeutung, dass die verwendeten Systeme und Lernplattformen barrierefrei gestaltet werden. Dies ist vor dem Hintergrund der UN-Behindertenrechtskonvention (UN-BRK) von besonderer Wichtigkeit, da sichergestellt werden muss, dass Schüler*innen mit körperlichen oder kognitiven Einschränkungen ohne zusätzliche Barrieren am Unterricht teilnehmen können. Die Barrierefreiheit bezieht sich hierbei sowohl auf die technische Ausstattung als auch auf die Gestaltung der Lernmaterialien (Lütje-Klose, 2023, S. 28).

Ebenso ist der Einsatz assistiver Technologien nicht frei von technischen Hürden. Viele Systeme sind nicht universell einsetzbar und erfordern eine individuelle Anpassung oder spezielle Peripheriegeräte (Ava, o. J. (b); Therapy Box, 2024, S. 14). Die Gerätekompatibilität stellt eine zentrale Schwierigkeit dar, da bestimmte Funktionen – wie etwa Eye-Tracking bei Predictable – exklusiv auf aktuellen Apple-Geräten verfügbar sind (Therapy Box, 2024, S. 30). Auf Android-Geräten wird Eye-Tracking hingegen bislang nicht unterstützt (Therapy Box, 2024, S. 30). Diese technischen Voraussetzungen schränken die Nutzbarkeit für zahlreiche potenzielle Anwender*innen erheblich ein – insbesondere im schulischen Bereich, in dem häufig veraltete Geräte im Einsatz sind oder keine individuelle Ausstattung möglich ist. Hinzu kommt die Notwendigkeit separater Registrierungen oder der Erstellung persönlicher Sprachdaten (Therapy Box, 2024, S. 15–16), was insbesondere für jüngere Nutzer*innen oder im schulischen Alltag eine technische und organisatorische Hürde darstellen kann. Inklusion durch Technik kann mithin nur gelingen, wenn praktikable Zugänge, kompatible Geräte und unterstützende Strukturen gewährleistet sind.

Des Weiteren stellen die Kosten für die Einführung und den Betrieb adaptiver und assistiver Technologien eine erhebliche Herausforderung dar. Insbesondere für Schulen in finanziell benachteiligten Regionen kann es eine Erschwernis sein, die notwendigen Investitionen zu tätigen. Neben der Anschaffung von Geräten müssen ebenfalls fortlaufende Kosten für die Instandhaltung der Technologie, Updates und die Schulung der Lehrkräfte berücksichtigt werden. Diese finanzielle Belastung kann die nachhaltige Implementierung solcher Systeme behindern und zur Konsequenz haben, dass gerade die Schulen, die am meisten von diesen Systemen profitieren könnten, keine ausreichende Finanzierung erhalten (Wom, 2023). Folglich ist es entscheidend, dass Bildungsinstitutionen und Regierungen gemeinsam Lösungen entwickeln, um diese Hürden zu überwinden und eine gerechte Bildung für alle Schüler*innen zu gewährleisten. Ein weiteres technisches Hindernis besteht in der Qualität der verwendeten Algorithmen. Adaptive Systeme erfordern hochwertige Inhalte, welche an die spezifischen Bedürfnisse der Schüler*innen angepasst sind. Demnach gilt es, sicherzustellen, dass die bereitgestellten Inhalte von hoher Qualität sind und den Lernzielen entsprechen. Die ständige Aktualisierung und

Anpassung dieser Inhalte ist jedoch eine Herausforderung, da sie eine kontinuierliche Pflege und Investitionen erfordert (Wom, 2023).

Neben den technischen gibt es zugleich didaktische Herausforderungen. So erfordert der Einsatz adaptiver Lernsysteme ein Umdenken in der Unterrichtsgestaltung. Lehrkräfte müssen nicht nur technologische Kompetenzen erwerben, sondern überdies in der Lage sein, diese Systeme in den Unterricht zu integrieren, ohne dass die persönliche Interaktion mit den Schüler*innen verloren geht. Die Gefahr besteht darin, dass durch den vermehrten Einsatz technischer Hilfsmittel die zwischenmenschliche Komponente des Unterrichts in den Hintergrund gerät, was den Erwerb sozialer Kompetenzen wie Teamarbeit und Kommunikation beeinträchtigen kann (Hamisch et al., 2023; Wom, 2023). Darüber hinaus ist es notwendig, dass adaptive Systeme mit bewährten didaktischen Konzepten verknüpft werden, um einen sinnvolleren Einsatz zu gewährleisten. Dies betrifft nicht nur die Gestaltung von Lerninhalten, sondern gleichfalls die Unterstützung der Lehrkräfte bei der individuellen Förderung der Schüler*innen. Um eine ganzheitliche Lernumgebung zu schaffen, sollten adaptive Systeme insofern als Ergänzung und nicht als Ersatz für die Lehrperson erachtet werden (Hamisch et al., 2023).

Nicht zuletzt sind ebenso normative und kulturelle Hürden zu beachten. Die Vorstellung, dass technologische Systeme pädagogische Beziehungen ergänzen oder teilweise ersetzen könnten, stößt auf berechtigte Kritik und muss im Rahmen inklusiver Bildungsprozesse sensibel diskutiert werden. Lehrkräfte bedürfen nicht nur technischer Schulung, sondern zugleich Unterstützung im Umgang mit pädagogischen und ethischen Fragestellungen, die durch den Einsatz von KI aufgeworfen werden (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 245).

Diese Herausforderungen verdeutlichen, dass der Einsatz von Technologien im Bildungsbereich nicht allein eine technische, sondern insbesondere eine pädagogische und organisationale Aufgabe ist. Gerade im Kontext inklusiver Bildung erfordert dies ein differenziertes Verständnis dafür, wie Technologien nicht nur funktional unterstützen, sondern darüber hinaus Lernprozesse gezielt fördern können. An dieser Stelle setzen adaptive Technologien an, welche über die reine Unterstützung hinausgehen und auf die

individuelle Gestaltung von Lernprozessen abzielen. Trotz technischer Möglichkeiten hängt der erfolgreiche Einsatz assistiver Technologien maßgeblich vom pädagogischen Rahmen, der institutionellen Unterstützung und der Kompetenz der Fachkräfte ab. Lehrpersonen übernehmen eine Schlüsselrolle bei der Auswahl, Einführung und kontinuierlichen Begleitung der Nutzung von assistiven Technologien. Deshalb fordern zahlreiche Beiträge eine stärkere Verankerung entsprechender Inhalte in der Lehrer*innenbildung sowie in der Schulentwicklung (Fisseler, 2012, S. 88–89; Capovilla & Gebhardt, 2016, S. 12–13; Bosse, 2019, S. 844–845). Gleichzeitig werden systemische Herausforderungen sichtbar, etwa im Hinblick auf Kostenstrukturen, Datenschutz und technische Infrastruktur, die einer flächendeckenden schulischen Implementierung im Weg stehen können. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung, die pädagogische Prinzipien mit technischer Machbarkeit und organisatorischer Umsetzbarkeit verbindet, kann der transformative Anspruch KI-gestützter Systeme im Sinne einer inklusiven Bildung eingelöst werden.

4.3 Datenschutz und ethische Aspekte

Die Einführung adaptiver und assistiver Technologien, insbesondere solcher, die auf KI basieren, geht nicht nur mit Vorteilen in der Personalisierung des Lernens einher, vielmehr wirft dies bedeutende Herausforderungen im Bereich Datenschutz und Ethik auf.

Eine zentrale Problematik KI-gestützter Technologien liegt im potenziellen Verstoß gegen Bestimmungen in Verbindung mit Privatsphäre und Datenschutz. Systeme wie Area9 Rhapsode, HyperMind oder Bettermarks sammeln und analysieren umfassende Daten über Schüler*innen, die Gefahr beinhaltend, dass sensible persönliche Informationen in ›die falschen Hände‹ geraten. Studien zufolge sind viele adaptive Lernsysteme nicht ausreichend auf Datenschutzmaßnahmen vorbereitet und die Privatsphäre der Lernenden nicht genügend geschützt (Wom, 2023). Solche Datenschutzverletzungen können nicht nur die individuellen Rechte der Lernenden gefährden, sondern ferner ein generelles Misstrauen gegenüber der Nutzung solcher Technologien hervorrufen.

Auch bei assistiven Technologien sind datenschutzrechtliche und ethische Herausforderungen nicht zu übersehen. Die App Predictable 7 erfordert zur Nutzung beispielsweise eine Registrierung bei Drittanbietern und kann optional mit individuellen Sprachdaten (Voice Banking) personalisiert werden (Therapy Box, 2024, S. 15–16). Gerade im schulischen Kontext stellt dies eine erhebliche Hürde dar, da Kinder und Jugendliche im besonderen Maße schutzbedürftig sind und häufig nicht selbst über die Weitergabe ihrer Daten entscheiden können. Ähnliche Problematiken zeigen sich bei der Nutzung der App Ava, die gesprochene Sprache in Echtzeit verschriftlicht (Ava, o. J. (b)). Zwar ermöglicht dies hörgeschädigten Schüler*innen eine barrierefreie Kommunikation, doch erfolgt im Zuge dessen eine Verarbeitung großer Mengen gesprochener Sprache – häufig auch von unbeteiligten Dritten wie Lehrkräften oder Mitschüler*innen. Die Nutzung in Klassenzimmern erfordert folglich nicht nur technische Vorehrungen, sondern darüber hinaus informierte Einwilligungen und klare Regelungen zur Speicherung, Weitergabe und Löschung der Transkripte. OrCam MyEye nimmt keine dauerhafte Speicherung von personenbezogenen Daten vor, da die Verarbeitung der aufgenommenen Informationen primär lokal auf dem Gerät erfolgt (Orcam, 2023). Bei Nutzung zusätzlicher Funktionen wie der App oder cloudbasierter Sicherungen können jedoch pseudonymisierte Daten – etwa Nutzungsstatistiken, Bilder oder Sprachaufnahmen – zu Diagnose- und Entwicklungs- zwecken übertragen werden (Orcam, 2023). Wenngleich diese Daten nicht direkt identifizierend sind, werfen insbesondere die automatische Texterkennung und Gesichtserkennung ethische Fragen auf: Wer darf erkannt werden? In welchen Kontexten ist diese Funktion zulässig? Und wie wird mit Fehlklassifikationen oder nicht intendierten Aufnahmen umgegangen? Insbesondere im inklusiven Schulumfeld bedarf es hier klarer rechtlicher und pädagogischer Rahmenbedingungen, um Datenschutz, Persönlichkeitsrechte und pädagogische Verantwortung in Einklang zu bringen.

Als weiterer kritischer Aspekt sind die möglichen Verzerrungen in den Lernalgorithmen dieser Systeme zu nennen. KI basiert oftmals auf historischen Daten, die möglicherweise systematische Vorurteile und Diskriminierungen widerspiegeln. Beispielsweise haben Studien zutage geführt, dass adaptive Lernsysteme dazu neigen, bestimmte Gruppen von Schüler*innen, wie Mädchen oder ethnische Minderheiten, zu benachteiligen. Enthalten die

zugrunde liegenden Daten Vorurteile, werden diese wiederum durch die Algorithmen reproduziert und verstärkt (Wom, 2023). Folglich ist es essenziell, diese Verzerrungen zu identifizieren und geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um faire Lernbedingungen für alle Schüler*innen zu gewährleisten. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass KI-Systeme – insbesondere generative Modelle – auf großen Datenmengen basieren, die ihrerseits häufig gesellschaftliche Wertungen und strukturelle Vorurteile enthalten. Da jede Datensammlung eine spezifische Sichtweise auf die Wirklichkeit transportiert, besteht die Gefahr, dass KI-Systeme diese impliziten Verzerrungen übernehmen und reproduzieren. Eine objektive, neutrale Darstellung von Realität durch KI ist damit faktisch nicht möglich – vielmehr stellt sich die grundlegende ethische Frage, wer die Kontrolle über die algorithmischen Perspektiven innehat. Ob diese allein bei den Unternehmen liegt oder ob es einer breiteren gesellschaftlichen Beteiligung bedarf, bleibt trotz gegenwärtig intensiver Diskussionen weitgehend ungeklärt. Nicht zuletzt im Bildungsbereich kommt der kritischen Reflexion dieser Gestaltungsfragen eine besondere Relevanz zu, da hier Lernende mit bestimmten Weltbildern konfrontiert werden, die durch KI-Technologien vermittelt werden können (Heißenberger, 2024, S. 165).

Die ethischen Herausforderungen im Kontext adaptiver und assistiver Technologien sind ebenfalls von großer Bedeutung. Die Europäische Kommission hat Leitlinien entwickelt, die Grundsätze wie menschliche Kontrolle, Transparenz, Fairness, Datenschutz und Rechenschaftspflicht betonen (Europäische Kommission, 2022). Diese Prinzipien sind von hoher Maßgabe, um das Vertrauen in KI-Technologien zu fördern und zu gewährleisten, dass die Rechte der Lernenden respektiert werden. Besonders hervorzuheben ist die Notwendigkeit von Transparenz in der Entscheidungsfindung von KI-Systemen. Oftmals sind die Mechanismen, die den Entscheidungen dieser Systeme zugrunde liegen, nicht nachvollziehbar, was die Akzeptanz und das Vertrauen in diese Technologien erheblich beeinträchtigen kann (Heinrich et al., 2022).

Ein weiteres ethisches Dilemma ergibt sich aus der Verwendung von KI für diagnostische Zwecke. Hierbei ist es wesentlich, dass die pädagogische Verantwortung nicht vollständig an die Programme delegiert wird. Um fehlerhaften Diagnosen vorzubeugen, sollten diagnostische Outputs stets

sorgfältig geprüft werden. Wenngleich KI-Systeme eine wertvolle Unterstützung bieten können, sollte dennoch der menschliche Faktor im Lernprozess nicht vernachlässigt werden. Robert Kruschel (2023) hebt hervor, dass KI-Tools zwar individualisierte Lernwege eröffnen können, jedoch die Gefahr besteht, dass soziale Interaktionen zwischen Schüler*innen vernachlässigt werden. Um das inklusive Lernen zu fördern, bedarf es eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen individualisiertem und kooperativem Lernen (Hamisch et al., 2023).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Nutzung adaptiver und assistiver KI-Technologien im Bildungskontext sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich bringt. Datenschutz, Bias in Algorithmen, ethische Richtlinien und die Aufrechterhaltung sozialer Interaktionen stellen diesbezüglich zentrale Themen dar, die es bei der Entwicklung und Implementierung solcher Systeme zu berücksichtigen gilt. Nur durch einen verantwortungsvollen Umgang mit diesen Aspekten kann die Integration von KI im Bildungswesen erfolgreich gestaltet werden.

5 Fazit

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war die Frage, inwiefern KI-gestützte Technologien zur Förderung von Inklusion im schulischen Kontext beitragen können. Diese Technologien bieten innovative Ansätze, um den individuellen Lernbedürfnissen von Schüler*innen gerecht zu werden und eine inklusive Bildung zu fördern. Die Anpassungsfähigkeit adaptiver Lernpfade sowie die kompensatorische Unterstützung durch assistive Tools ermöglichen es, Barrieren abzubauen und marginalisierte Gruppen gezielt zu unterstützen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass die Einführung solcher Technologien mit erheblichen Herausforderungen verbunden ist, insbesondere im Hinblick auf Datenschutz, ethische Fragen, technische Infrastruktur und pädagogische Verantwortung.

Im Hinblick auf assistive Technologien hat die Analyse ergeben, dass Anwendungen wie Ava, OrCam MyEye und Predictable 7 dazu beitragen können, funktionale Beeinträchtigungen im Bereich des Hörens, Sehens und der körperlich-motorischen Fähigkeit auszugleichen. Ava ermöglicht durch automatische Live-Untertitelung eine gleichberechtigte Teilhabe hörgehindriger Lernender am Unterricht (Ava, o.J.(b)), während OrCam MyEye sehbehinderten Schüler*innen durch Texterkennung und Objekterkennung visuelle Zugänge eröffnet (OrCam, 2023). Predictable 7 wiederum bietet nicht-sprechenden Personen eine anpassbare sprachbasierte Kommunikationshilfe (Therapy Box, 2024, S. 15–16).

Gleichzeitig sind im Zusammenhang mit diesen Technologien erhebliche datenschutzrechtliche, ethische und praktische Herausforderungen zu vernehmen. So werden bei der Nutzung häufig sensible oder biometrische Daten verarbeitet, deren Schutz ein hohes Maß an Regulierung und Transparenz erfordert (Heißenberger, 2024, S. 165–166; Orcam, 2023). Zudem stellen finanzielle und personelle Ressourcen sowie der notwendige Schulungsbedarf für Lehrkräfte zentrale Hürden dar (Müller & Schiweing, 2023, S. 875). Ein wesentlicher Befund ist überdies das Fehlen empirischer Studien zur schulischen Wirksamkeit dieser Systeme. Anders als bei adaptiven Lernplattformen liegen für viele assistive KI-Anwendungen bislang

kaum systematische Evaluationen im Bildungskontext vor, was die Einschätzung ihres tatsächlichen Mehrwerts erschwert.

Der Auswahl der analysierten Technologien lag ein exemplarischer Zugang zugrunde, der darauf abzielte, verschiedene Förderbereiche mit Blick auf körperlich-motorische, auditive und visuelle Beeinträchtigungen differenziert zu beleuchten. Die untersuchten Tools wurden bewusst so gewählt, dass sie jeweils typische Bedarfe dieser Gruppen adressieren. Dadurch sollte die Bandbreite möglicher Unterstützung im inklusiven Schulkontext aufgezeigt werden – stets mit Fokus auf Technologien, die unmittelbar auf der Ebene der Lernenden wirken und ihre Teilhabemöglichkeiten im Bildungsprozess konkret verbessern.

Auch hinsichtlich der adaptiven Lernsysteme hat die Arbeit verdeutlicht, dass KI-basierte Plattformen wie HyperMind, Area9 und Bettermarks das Potenzial besitzen, Lernprozesse zu personalisieren und eine differenzierte Förderung zu ermöglichen (Benkö & Waltl, 2024, S. 18). Die Analyse von Systemen wie HyperMind, Area 9 und Bettermarks hat erkennen lassen, dass diese insbesondere im Bereich der Differenzierung und Förderung von Lernenden mit besonderen Bedürfnissen einen wesentlichen Mehrwert bieten (Gabriel et al., 2023, S. 54). Durch die Bereitstellung von Echtzeit-Feedback und maßgeschneiderten Lerninhalten kann das Lernen gezielter, flexibler und effektiver gestaltet werden (Lütje-Klose, 2023, S. 28; De la Higuera & Iyer, 2024, S. 109–110; Ballem et al., 2023). Darüber hinaus können adaptive Lernsysteme laut Forschungsergebnissen dazu beitragen, Bildungsbarrieren abzubauen, indem sie vielfältige Lernzugänge bieten, die den unterschiedlichen Fähigkeiten und Voraussetzungen der Schüler*innen gerecht werden. Sie machen es möglich, die Heterogenität in inklusiven Klassenzimmern produktiv zu nutzen und den Lernenden eine gleichberechtigte Teilnahme am Bildungsprozess zu unterbreiten (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 240; Benkö & Waltl, 2024, S. 18). Gleichwohl ist nicht zu übersehen, dass auch diese Technologien nicht frei von Herausforderungen sind. Als zentrale Probleme sind diesbezüglich technische Hürden, wie die unzureichende Infrastruktur an vielen Schulen, sowie die hohen Kosten für die Anschaffung und Wartung der Systeme zu nennen (Wom, 2023; Lütje-Klose, 2023, S. 28). Überdies werfen adaptive Lernsysteme ethische und datenschutzrechtliche Bedenken auf. Die Erhebung und Analyse großer Mengen

personenbezogener Daten birgt insoweit Risiken für die Privatsphäre der Schüler*innen. Zudem bestehen Sorgen über den potenziellen Missbrauch dieser Daten (Wom, 2023). Ein weiteres Problemfeld sind Verzerrungen in den Algorithmen, die systematische Ungerechtigkeiten verstärken könnten, sofern sie nicht kritisch überprüft werden (Deutscher Ethikrat, 2023, S. 241).

Für die zukünftige Entwicklung assistiver und adaptiver KI-Technologien ist es entscheidend, die identifizierten Herausforderungen gezielt anzugehen, um ihr volles Potenzial auszuschöpfen. Zunächst ist es notwendig, den Zugang zu diesen Technologien in allen Bildungseinrichtungen sicherzustellen. Dies erfordert den Ausbau der technischen Infrastruktur, insbesondere in strukturschwachen Regionen, sowie die finanzielle Unterstützung von Schulen, die über begrenzte Mittel verfügen (Schulz & Schmid-Meier, 2024, S. 36; Lütje-Klose, 2023, S. 28). Die Einführung solcher Systeme sollte überdies flächendeckend erfolgen, damit alle Lernenden von den Möglichkeiten der Individualisierung und Inklusion profitieren können.

Darüber hinaus müssen Datenschutzbestimmungen gestärkt und klare Richtlinien für den Umgang mit sensiblen Daten entwickelt werden. Dies ist von maßgeblicher Bedeutung, um das Vertrauen in die Nutzung dieser Technologien zu stärken und Missbrauch vorzubeugen (Heißenberger, 2024, S. 166). Neben technischen Maßnahmen ist die kontinuierliche Schulung von Lehrkräften wesentlich, um sicherzustellen, dass sie assistive und adaptive Technologien effektiv und pädagogisch sinnvoll in den Unterricht integrieren können (Hamisch et al., 2023; Wom, 2023). Nur durch eine enge Verzahnung von Technologie und Didaktik kann der Lernprozess nachhaltig verbessert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Vermeidung von Bias in den zugrunde liegenden Algorithmen. Entwickler*innen und Bildungsexpert*innen müssen mithin sichergehen, dass diese Systeme fair und inklusiv gestaltet sind und keine Benachteiligung bestimmter Gruppen reproduzieren (Wom, 2023). Diesbezüglich könnten ethische Prüfungen und eine kritische Auseinandersetzung mit den verwendeten Datensätzen von Hilfe sein, um eine gerechte Bildung für alle zu gewährleisten.

Zukünftig könnten Partnerschaften zwischen Bildungsinstitutionen, Technologieentwickler*innen und staatlichen Einrichtungen dazu beitragen,

innovative Lösungen zu entwickeln, die den technischen, didaktischen und ethischen Anforderungen gleichermaßen gerecht werden.

Schlussfolgernd bieten assistive und adaptive Technologien ein enormes Potenzial, den Unterricht inklusiver und effektiver zu gestalten, vorausgesetzt, die Entwicklung und Implementierung dieser Technologien erfolgt verantwortungsvoll und auf die Bedürfnisse der Lernenden ausgerichtet.

6 Literaturverzeichnis

- AAATE (2019). Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe. Flyer. https://aaate.net/wp-content/uploads/sites/12/2020/01/AAATE_flyer-2019-1.pdf
- Aktion Mensch. Überblick assistiver Technologien. Digitale Tools für den Einsatz in der inklusiven Bildung. <https://www.aktion-mensch.de/inklusion/bildung/impulse/digital-inklusive-bildung/barrierefreie-bildung-mit-assistiver-technologie/ueberblick-assistive-technologien>
- Apple Inc. Giving voice to the voiceless: How Predictable is giving the power of communication to those who need it. <https://apps.apple.com/gb/story/id1462262000>
- Ava o. J. (a). Ava für K12 Bildung. <https://de.ava.me/organization-edu-k12>
- Ava o. J. (b). Ava in der Bildung. <https://help.ava.me/de/articles/3779654-ava-in-der-bildung>
- Ava o. J. (c). Wie garantiert Ava den Datenschutz und die Sicherheit meiner Daten? Ihre Privatsphäre und Sicherheit stehen an erster Stelle! <https://help.ava.me/de/articles/1215157-wie-garantiert-ava-den-daten-schutz-und-die-sicherheit-meiner-daten>
- Ava Team (2025, 27. Januar). Ava Scribe: A Revolutionary Live Caption Service. <https://www.ava.me/blog/ava-scribe-a-revolutionary-live-caption-service>
- Bauckhage, C., Hübner, W., Hug, R., Paaß, G. & Rüping, S. (2021). Grundlagen des Maschinellen Lernens. In G. Görz, U. Schmid & T. Braun (Hrsg.), Handbuch der Künstlichen Intelligenz (S. 429–507). Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Becker, K. (2017, 12. Dezember). Große Metastudie zur Wirkung digitaler Medien in der Schule. Erfolgreicher Unterricht ist digital – aber nicht ausschließlich. TUM. <https://www.tum.de/aktuelles/alle-meldungen/pressemitteilungen/details/34369#:~:text=Große%20Metastudie%20zur%20Wirkung%20digitaler,Unterricht%20digitale%20Medien%20eingesetzt%20werden>
- Benkő, P. & Waltl, S. (2024). Künstliche Intelligenz im Bildungsbereich: Ist KI eine Chance oder ein Jobkiller?. *#schuleverantworten*, 4(1), 17–24. <https://doi.org/10.53349/schuleverantworten.2024.i1.a416>
- bettermarks (o. J. (a)). Das adaptive Lernsystem für Mathematik. <https://de.bettermarks.com>

- bettermarks (o. J. (b)). Our goal is to improve math education worldwide.
<https://us.bettermarks.com/about-us/>
- bettermarks (o. J. (c)). Ausland Archive – bettermarks Deutschland.
<https://de.bettermarks.com/country/ausland/>
- bettermarks (o. J. (d)). Lernerfolg durch wissenschaftliche Evidenz – Weitere Studien. <https://de.bettermarks.com/wirkung/>
- bettermarks (2021). Lernen mit neuen Medien. https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/2021/12/bettermarks-Feedback-Fr.-Kaiser_2021.pdf
- bettermarks (2024). Informationen zur Nutzung der digitalen Lernplattform bettermarks im Mathematikunterricht. <https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/2024/10/Elterninfo.pdf>
- Blanc, B. & Beudt, S. (2024). KI für die schulische Bildung: Potenziale für Lernende, Lehrende und Verwaltung. [bildung.digital](https://www.bildung.digital/sites/default/files/inline-files/Expertise_KI%20in%20der%20Schulbildung_final.pdf).
https://www.bildung.digital/sites/default/files/inline-files/Expertise_KI%20in%20der%20Schulbildung_final.pdf.
- Blinden- und Sehbehindertenverein Westfalen e. V. (BSVW) (o. J.). OrCam MyReader 2.0 und OrCam MyEye 2.0. <https://www.bsvw.org/orcam-myreader-2.0-und-orcam-myeye-2.0.html>
- Bosse, I. (2019). Schulische Teilhabe durch Medien und assistive Technologien. In G. Quenzel & K. Hurrelmann (Hrsg.), Handbuch Bildungsarmut (S. 827–852). Wiesbaden: Springer VS.
- Bosse, I. & Feichtinger, M. (2022). Menschen mit körperlichen und motorischen Beeinträchtigungen. In E.-W. Luthe, S.V. Müller & I. Schiering (Hrsg.), Assistive Technologien im Sozial- und Gesundheitssektor (S. 177–202). Wiesbaden: Springer VS.
- Capovilla, D. & Gebhardt, M. (2016). Assistive Technologien für Menschen mit Sehschädigungen im inklusiven Unterricht. Zeitschrift für Heilpädagogik, 67(1), 4–15. <https://doi.org/10.5283/epub.43894>
- Christ, K. (2020). Schulische Teilhabe durch assistive Technologien. In A. Schumacher & E. Adelt (Hrsg.), Lern- und Entwicklungsplanung in der Praxis. Lernprozesse begleiten und individuell gestalten (S. 153–185). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- De la Higuera, C. & Iyer, J. (2024). KI für Lehrkräfte: ein offenes Lehrbuch. <https://aiopentext.itd.cnr.it/aifurlehrer/chapter/adaptive-learning-systems/>
- Deutsche UNESCO-Kommission e. V. (2012). Bildungsregionen auf dem Weg. Inklusive Bildung in Aachen, Wiesbaden, Hamburg und Oberspreewald-Lausitz. Bonn: Deutsche UNESCO-Kommission.

- Deutsche Telekom Stiftung (2021, Juni). KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz. Telekom Stiftung. <https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/files/media/publications/KI%20Bildung%20Schlussbericht.pdf>
- Deutsche Telekom Stiftung (2023, November). Schule und KI – Ein praxisorientierter Leitfaden. Telekom Stiftung. <https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/files/Leitfaden-Schule-und-KI.pdf>
- Deutscher Ethikrat (2023). Mensch und Maschine – Herausforderungen durch Künstliche Intelligenz. Berlin: Deutscher Ethikrat.
- Deutscher Bildungsserver (2023, 23. August). Adaptives Lernen mit Area9 Rhapsode. https://www.bildungsserver.de/onlineressource.html?onlineressourcen_id=64455
- Die Bundesregierung (2018, November). Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/997532/1550276/3f7d3c41c6e05695741273e78b8039f2/2018-11-15-ki-strategie-data.pdf>
- Die UN-Behindertenrechtskonvention (UN-BRK) (2009, 26. März). Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen. https://www.institut-fuer-menschenrechte.de/fileadmin/Redaktion/PDF/DB_Menschenrechtsschutz/CRPD/CRPD_Konvention_und_Fakultativprotokoll.pdf
- Ebbinghaus, U. (2020, 23. Juni). MINT-SCHWÄCHE IN SCHULEN. Ist Lernsoftware besser als ein schlechter Mathelehrer? https://www.faz.net/aktuell/karriere-hochschule/klassenzimmer/mint-schwaechen-in-schulen-bringt-corona-die-mathe-software-voran-16828246.html#pageIndex_2
- Elliot, C. (2021, 22. Mai). App Review: Predictable by Therapy Box. <https://nwacs.info/blog/2021/1/app-review-predictable-by-therapy-box>
- Europäische Kommission (2024, 13. Juni). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>

- Evanschitzky, P., Scharnagl, S. & Hille, K. (2010, 16. Februar). Evaluation des bettermarks-Systems. In bettermarks (Hrsg.), Studien (Zusammenfassungen) (S. 1–2). Archiv abgerufen am 23. September 2025 von https://web.archive.org/web/20240712041033/https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/sites/1/bettermarks_Studien_gesamt.pdf (Originalquelle zuletzt abgerufen am 24. April 2025; derzeit nicht verfügbar)
- Fisseler, B. (2012). Assistive und Unterstützende Technologien in Förderschule und inklusivem Unterricht. In I. Bosse (Hrsg.), Medienbildung im Zeitalter der Inklusion (S. 87–90). Düsseldorf: Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen (LfM).
- Fisseler, B. (2020). Inklusive Digitalisierung, Universal Design for Learning und assistive Technologie. Sonderpädagogische Förderung heute, 65(1), 9–20. <https://doi.org/10.3262/SZ2001009>
- Fisseler, B. (2023). Künstliche Intelligenz, Behinderung und Technoableism. In C. De Witt, C. Gloerfeld & S. E. Wrede (Hrsg.), Künstliche Intelligenz in der Bildung (S. 313–330). Wiesbaden: Springer VS.
- Gabriel, S., Liebhart-Gundacker, M., Pecher, H., Römisch, B., Überacker, G. & Wallner, J. (2023). Digitalisierung als Treiber von Bildungs(un-)gerechtigkeit. R&ESOURCE, 10(3), 53–74. <https://doi.org/10.53349/resource.2023.i3.a1143>
- Galvin, A. (2024, 18. Oktober). Our ElevenLabs Webinar with Bridging Voice. <https://www.therapybox.co.uk/post/our-elevenlabs-webinar-with-bridging-voice>
- Grosche, M. (2015). Was ist Inklusion?. In P. Kuhl, P. Stanat, B. Lütje-Klose, C. Gresch, H. A. Pant & M. Prenzel (Hrsg.), Inklusion von Schüler*innen mit sonderpädagogischem Förderbedarf in Schulleistungserhebungen (S. 17–39). Wiesbaden: Springer VS.
- Günther, G., Schmid, U. & Braun, T. (2021). Handbuch der Künstlichen Intelligenz. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Hamisch, K. & Kruschel, R. (2022). Zwischen Individualisierungsversprechen und Vermessungsgefahr – Die Rolle der Schlüsseltechnologie Künstliche Intelligenz in der inklusiven Schule. In B. Schimek, G. Kremsner, M. Proyer, R. Grubich, F. Paudel & R. Grubich-Müller (Hrsg.), Grenzen. Gänge. Zwischen. Welten. Kontroversen – Entwicklungen – Perspektiven der Inklusionsforschung (S. 108–115). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

- Haug, O. (2024, 8. November). This company's mission is to make the world accessible to Deaf people. It all started at UC Berkeley's Big Ideas Contest. <https://news.berkeley.edu/2024/11/08/this-companys-mission-is-to-make-the-world-accessible-to-deaf-people-it-all-started-at-berkeleys-big-ideas-contest/>
- Heinlein, M. & Norbert, H. (2024). Künstliche Intelligenz, Mensch und Gesellschaft: Fragestellungen und Perspektiven des Sammelbands. In M. Heinlein, & H. Norbert (Hrsg.), Künstliche Intelligenz, Mensch und Gesellschaft. Soziale Dynamiken und gesellschaftliche Folgen einer technologischen Innovation (S. 1–15). Wiesbaden: Springer VS.
- Heisel, C., Klein, P., Ishimaru, S., Kuhn, J. & Dengel, A. (o. J.). HyperMind – Das antizipierende Physikschulbuch. <https://rptu.de/uedu/arbeitsfelder/unterrichtskonzepte-af1/hypermind>; https://rptu.de/fileadmin/zfl/uedu/Arbeitsfeld_1/3_HyperMind.pdf
- Heißenberger, P. (2024). Profitieren von maschineller Intelligenz: Bildungsgerechtigkeit und KI. #schuleverantworten, 4(1), 164–167. <https://doi.org/10.53349/schuleverantworten.2024.i1.a400>
- Helm, C., Große, C. S. & Österreicher Bundesverlag (öbv) (2024). Einsatz künstlicher Intelligenz im Schulalltag – eine empirische Bestandsaufnahme. Erziehung und Unterricht, (3–4), 370–381. https://www.oebv.at/images/product-images/Einsatz_kuenstlicher_Intelligenz_im_Schulalltag_Helm_Grosse_E-U.pdf
- Hinz, A. (2002). Von der Integration zur Inklusion – terminologisches Spiel oder konzeptionelle Weiterentwicklung?. Zeitschrift für Heilpädagogik, 53(9), 354–361.
- Honke, N. & Becker-Genschow, S. (2025). Adaptive learning in bionics: transforming science education. *Frontiers in Education*, 1–21. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1427083>
- IDEA (2004). Individuals with Disabilities Education Act, Part A, § 602. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-108publ446/html/PLAW-108publ446.htm>
- Intel Education Alliance (2013). Fallstudie. Europagymnasium Richard von Weizäcker Thale (Sachsen-Anhalt). In bettermarks (Hrsg.), Studien (Zusammenfassungen) (S. 6–8). Archiv abgerufen am 23. September 2025 von https://web.archive.org/web/20240712041033/https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/sites/1/bettermarks_Studien_gesamt.pdf (Originalquelle zuletzt abgerufen am 24. April 2025; derzeit nicht verfügbar)

- Irrgang, B. & Klawitter, J. (1990). Künstliche Intelligenz. Technologischer Traum oder gesellschaftliches Trauma?. In B. Irrgang & J. Klawitter (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz* (S. 7–54). Stuttgart: Hirzel.
- Ishimaru, S., Bukhari, S. S., Heisel, C., Jochen, K. & Dengel, A. (2016). Towards an Intelligent Textbook: Eye Gaze Based Attention Extraction on Materials for Learning and Instruction in Physics. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication (UbiComp '16)* (S. 1041–1045). New York: ACM.
- Ishimaru, S., Jacob, S., Roy, A., Bukhari, S. S., Heisel, C., Großmann, N., Thees, M., Kuhn, J. & Dengel, A. (2017). Cognitive State Measurement on Learning Materials by Utilizing Eye Tracker and Thermal Camera. In *Proceedings of the 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR HDI '17)* (S. 32–36). Kyoto: IAPR.
- Ishimaru, S., Watanabe, K., Großmann, N., Heisel, C., Klein, P., Arakawa, Y., Kuhn, J. & Dengel, A. (2018). HyperMind Builder: Pervasive User Interface to Create Intelligent Interactive Documents. In *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication (UbiComp '18)* (S. 357–360). New York: ACM.
- Kaiser, C. (2021). Lernen mit neuen Medien. https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/2021/12/bettermarks-Feedback-Fr.-Kaiser_2021.pdf
- Kerres, M., Buntins, K., Buchner, J., Drachsler, H. & Zawacki-Richter, O. (2023). Lernpfade in adaptiven und künstlich-intelligenten Lernprogrammen. Eine kritische Analyse aus mediendidaktischer Sicht. In: C. De Witt, C. Gloerfeld & S. E. Wrede (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz in der Bildung* (S. 109–131). Wiesbaden: Springer VS.
- KI-Assist (2021, Juli). OrCam MyEye 2. <https://www.ki-assist.de/wissen/kunstliche-intelligenz/ki-basierte-assistenztechnologien/orcam-myeye-2>
- Körber-Stiftung. (2020, 8. Mai). Wie schalten wir Deutschland wieder ein? Mit dem Bildungsforscher Olaf Köller (2020). [Video]. YouTube. https://youtu.be/P9y2-f7_5x8?si=s6tFnrePZZQ1XFum
- Krstoski, I. (2019). Assistierende, Assistive und Unterstützende Technologien. Trends, Weiter- und Neuentwicklungen im Fokus. In *Unterstützte Kommunikation*, 24(3), 1–12.

- Krstoski, I. & Schulz, L. (2023). Was Technologien ermöglichen könnten. Zur Bedeutung Assistiver Technologien für die Lehrer:innenbildung. *QfI – Qualifizierung für Inklusion* 5(2), 1–16.
<https://doi.org/10.25656/01:30165>
- Kuhn, A. (2021, 15. Oktober). Digitale Bildung. Künstliche Intelligenz im Klassenraum. <https://deutsches-schulportal.de/unterricht/ki-area9-kuenstliche-intelligenz-im-klassenraum/>
- Lee, J. (2025, 10. Februar). Assistive Technology: Ava (iOS app).
<https://ixd.pratssi.org/2025/02/assistive-technology-ava-ios-app/>
- Lindmeier, C. & Lütje-Klose, B. (2021). Inklusion. In M. Harring, C. Rohlfs, & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Handbuch Schulpädagogik* (S. 635–647). Münster: Waxmann.
- Lütje-Klose, B. (2018). Überlegungen zur Konzeptualisierung von Inklusion – Einordnungen, Ansätze, Hinweise zur Operationalisierung. In M. Walm, T. Häcker, F. Radisch & A. Krüger (Hrsg.), *Empirisch-pädagogische Forschung in inklusiven Zeiten. Konzeptualisierung, Professionalisierung, Systementwicklung* (S. 27–50). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Lütje-Klose, B. (2023). Schulische Inklusion und sonderpädagogische Professionalität – Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. In: D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, C. Lee, C. Melzer, I. Schwank, H. Weck & K. Ziemen, (Hrsg.), *Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 17–32). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Ly, A. (2024, 12. Januar). Area9 Rhapsode Review. <https://www.betterbuys.com/lms/reviews/area9-rhapsode/>
- McCarthy, J. (2004, 24. November). What is Artificial Intelligence?
<http://cse.unl.edu/~choueiry/S09-476-876/Documents/whatisai.pdf>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), 12–14.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- Meier, C. (2019). KI-basierte, adaptive Lernumgebungen. In K. Wilbers (Hrsg.): *Handbuch E-Learning* (S. 1–21). Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst.

- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2025, 10. Januar). Ministerin Feller: Unser KI-Pilotprojekt steht in den Startlöchern. <https://www.schulministerium.nrw/presse/pressemitteilungen/ministerin-feller-unser-ki-pilotprojekt-steht-den-startloechern-10-01>
- Müller, S. V. & Schiering, I. (2023). Chancen und Nutzen assistiver Technologien für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen. *Sozialer Fortschritt* 72(11), 869–887. <https://doi.org/10.3790/sfo.72.11.869>
- N. F. (2019, 12. Mai). Künstliche Intelligenz im Klassenraum – Das Projekt „HyperMind“. <https://digitalstufu.wordpress.com/2019/05/12/kunstliche-intelligenz-im-klassenraum-das-projekt-hypermind/>
- Orcam (o. J.). Funktionen der OrCam MyEye 2. <https://orcam.de/de/orcam-myeye>.
- Orcam (2023, August). Benutzungsbedingungen und Datenschutzhinweis von OrCam. <https://www.orcam.com/de-de/benutzungsbedingungen?srsltid=AfmBOopWz2rC8I80wl-pCrzKRPBsGAzu-iyIzQm8Se7IOqfkCxzXOEUx6>
- Orcam Staff (2019, 16. September). Dozens of OrCam Devices Will Now Empower Visually Impaired Students and Teachers in the Philippines. <https://www.orcam.com/en-us/blog/the-aboitiz-foundation-and-st-joseph-foundation-donate-25-orcam-myeye-2-devices>
- Orcam Staff (2022, 17. Juli). OrCam MyEye Gives Hope at Sensory Impairment School. <https://www.orcam.com/en-us/blog/orcam-myeye-gives-hope-at-sensory-impairment-school>
- Öbv (2023, 27. November). Wie verbreitet ist Künstliche Intelligenz an Schulen? <https://magazin.oebv.at/wie-verbreitet-ist-kuenstliche-intelligenz-an-schulen/>
- Paramythi, A. & Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive Learning Environments and eLearning Standard. *Electronic Journal of E-Learning*, 2(1), 181–194.
- Philologenverband Nordrhein-Westfalen (2023, 5. April). Lehrer-Umfrage zu ChatGPT: Eher Skepsis und Unsicherheit. <https://phv-nrw.de/2023/04/05/lehrer-umfrage-zu-chatgpt-eher-skepsis-und-unsicherheit/>
- PwC (2023, 28. März). PwC ChatGPT & KI-Studie: Fast zwei Drittel der Österreicher:innen sind für ein Verbot von ChatGPT an Schulen – jede:r Dritte fürchtet um Arbeitsplatz. <https://www.pwc.at/de/presse/2023/chatgpt-ki.html>

- Rednet. (2021). Schulträger-Befragung zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz an Schulen. Archiv abgerufen am 23. September 2025 von https://web.archive.org/web/20240625190400/https://www.rednet.ag/studie_ki-in-schulen.html (Originalquelle zuletzt abgerufen am 28. März 2025; derzeit nicht verfügbar)
- Reelfs, D. (2021, 8. Juli). Schulen in Sachsen testen Einsatz von künstlicher Intelligenz. <https://www.bildung.sachsen.de/blog/index.php/2021/07/08/schulen-in-sachsen-testen-einsatz-von-kuenstlicher-intelligenz/>
- Ryan, G. (2022, 13. Juli). OrCam MyEYE Pro. <https://www.school-health.com/blog/orcam-myeye-pro/>
- Saalfrank, W.-T. & Zierer, K. (2017). Inklusion. Paderborn: Ferdinand Schöningh.
- Schlee, J. (2012). Was die Suche nach dem angemessenen Weg so schwierig macht. Anmerkungen zur Inklusionsdebatte. In: M. Brodkorb & K. Koch (Hrsg.), Das Menschenbild der Inklusion (S. 103–118). Schwerin: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Mecklenburg-Vorpommern.
- Schraml, P. (2019, 18. Juli). Künstliche Intelligenz im Klassenzimmer. Das intelligente Physikschulbuch erkennt Lerndefizite. <https://www.bildungsserver.de/innovationsportal/bildungplusartikel.html?artid=1149>
- Schulz, L. (2018). Digitale Medien im Bereich Inklusion. In B. Lütje-Klose, T. Riecke-Baulecke & R. Werning (Hrsg.), Basiswissen Lehrerbildung: Inklusion in Schule und Unterricht. Grundlagen in der Sonderpädagogik (S. 344–367). Seelze: Klett/Kallmeyer.
- Schulz, L. & Beckermann, T. (2020). Inklusive Medienbildung in der Schule. Neun Aspekte eines guten inklusiven Unterrichts. Computer und Unterricht, 117, 4–8.
- Schulz, L. (2021). Diklusive Schulentwicklung. Erfahrungen und Erkenntnisse der digital-inklusiven Multiplikatorinnen- und Multiplikatorenausbildung in Schleswig-Holstein. MedienPädagogik, 41, 32–54. <https://doi.org/10.21240/mpaed/41/2021.02.03.X>
- Schulz, L. (2023). Diklusion in der Lehrkräftebildung – ein Praxisbericht. In: D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, C. Lee, C. Melzer, I. Schwank, H. Weck & K. Ziemen (Hrsg.), Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung (S. 259–271). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

- Schulz, L. & Schmid-Meier, C. (2024). Assistive Technologien und Künstliche Intelligenz. Ein KI-Kompetenzmodell zum Einsatz im Klassenzimmer. *#schuleverantworten* 4(1), 35–43. <https://doi.org/10.53349/schule-verantworten.2024.i1.a397>
- SMMUSD & Ava (o. J.). Ava Transforms Accessibility. Santa Monica Malibu Unified School District. https://cdn.prod.website-files.com/5f0a37756175633fbb9b9e84/6839f31e45333d6b594939c6_SMMUSD_casestudy_Ava_compressed.pdf
- Speroni, C. (2020a, 5. Juni). Aus Fehlern lernen – Das Konzept hinter bettermarks. <https://de.bettermarks.com/konzept-bettermarks/> (22.04.2025).
- Speroni, C. (2020b, 11. November). Intelligente Tutorensysteme – Messbarer Leistungszuwachs in MINT-Fächern. <https://de.bettermarks.com/intelligente-tutorensysteme-mint/>
- Stein, M. (o. J.). Eva-CBTM (Evaluation of Computer Based Training Programs for Mathematics). In bettermarks (Hrsg.), Studien (Zusammenfassungen) (S. 3–5). Archiv abgerufen am 23. September 2025 von https://web.archive.org/web/20240712041033/https://de.bettermarks.com/wp-content/uploads/sites/1/bettermarks_Studien_ge-samt.pdf (Originalquelle zuletzt abgerufen am 24. April 2025; derzeit nicht verfügbar)
- Sturm, T. (2012). Praxeologische Unterrichtsforschung und ihr Beitrag zu inklusivem Unterricht. Zeitschrift für Inklusion, 1–2. <https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/65>
- Sulzer, A. (2017). Inklusion als Werterahmen für Bildungsgerechtigkeit. In P. Wagner (Hrsg.), Handbuch Inklusion. Grundlagen vorurteilsbewusster Bildung und Erziehung (S. 12–22). Freiburg: Herder.
- Therapy Box (o. J.). Predictable Deutsch. <https://www.therapy-box.co.uk/predictable-deutsch>
- Therapy Box (2024): Predictable 7 – Benutzerhandbuch (deutsche Version). https://docs.google.com/presentation/d/1bzuv0Ef-ylLnn1LpaNO07qSqhXBK8XwKmGi0nUfn1t5c/pre-view?slide=id.g26b86424d03_1_0
- Thiele, A. (2016). Assistive Technologien für Menschen mit einer körperlich-motorischen Beeinträchtigung. Interdisziplinäre Handlungsfelder und Eckpfeiler einer Qualifikation von Pädagog/innen mit einem sonderpädagogischen Profil. Vierteljahresschrift für Heilpädagogik und ihre Nachbargebiete, 85(4), 307–322. <https://doi.org/10.2378/vhn2016.art39d>

- Thiele, A. & Bosse, I. (2019). Inklusionsorientierter Literaturunterricht mit (digitalen) Medien. Ein Beispiel für die Auseinandersetzung der Fachdidaktiken mit Inklusion in einer mediatisierten Gesellschaft. In I. Bosse, J.-R. Schluchter & I. Zorn (Hrsg.), *Handbuch Inklusion und Medienbildung* (S. 77–91). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Thieme (2019, 9. September). Thieme founds joint venture with learning technology specialist Area9. <https://www.thieme.com/en-us/thieme-founds-joint-venture-with-area9-337d12379a440f02>
- Röser, A. M. (2021). Charakterisierung von schwacher und starker Künstlicher Intelligenz. Essen: FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH.
- Teich, I. (2020). Meilensteine der Entwicklung Künstlicher Intelligenz. *Informatik Spektrum*, 43(4), 276–284. <https://doi.org/10.1007/s00287-020-01280-5>
- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- Vodafone Stiftung Deutschland gGmbH (2024, März). Pioniere des Wandels. Wie Schüler:innen KI im Unterricht nutzen möchten. <https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2024/03/Pioniere-des-Wandels-wie-Schueler-innen-KI-im-Unterricht-nutzen-wollen-Jugendstudie-der-VS-2024.pdf>
- Weber-Liel, D. & Kracke, B. (2023). Digitale Lerngemeinschaften für Inklusion. Erste Ergebnisse im Projekt DiLe. QfI – Qualifizierung für Inklusion, 5(2), 1–17. <https://doi.org/10.21248/qfi.130>
- Weich, A., Deny, P., Priedigkeit, M. & Troeger, J. (2021). Adaptive Lernsysteme zwischen Optimierung und Kritik. Eine Analyse der Medienkonstellationen bettermarks aus informatischer und medienwissenschaftlicher Perspektive. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 44, 22–51. <https://doi.org/10.21240/mpaed/44/2021.10.27.X>
- Wicki, M. T. & Burkhardt, S. C. A. (2020). Unterstützende Technologien in integrativen Kindergärten und Primarklassen. Ein Einblick in dreizehn Kantone. *Vierteljahresschrift für Heilpädagogik und ihre Nachbargebiete* 89(1), 36–49. <https://doi.org/10.2378/vhn2020.art04d>
- Wollersheim, H.-W. (2023). Bildung durch Künstliche Intelligenz ermöglichen. Ein Beitrag aus bildungstheoretischer Perspektive. In C. De Witt, C. Gloerfeld & S. E. Wrede (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz in der Bildung* (S. 3–29). Wiesbaden: Springer VS.

Wom, D. (2023, 7. Oktober). Adaptive Lernsysteme: Personalisierte Bildung durch KI. <https://das-wissen.de/adaptive-lernsysteme-personalisierte-bildung-durch-ki/>