



INSTITUT FÜR
INNOVATION UND
TECHNIK

Nachhaltige Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung

Andrea Vogt, Arno Wilhelm-Weidner, Thomas Hübsch, Elke Vogel-Adham

Impressum

Herausgeber

Institut für Innovation und Technik (iit)
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin
Tel.: +49 (0) 30 310078-5507
E-Mail: info@iit-berlin.de

Autor:innen

Andrea Vogt
Arno Wilhelm-Weidner
Thomas Hübsch
Elke Vogel-Adham

Layout

Poli Quintana

Bildnachweis

©PhotosD – stock.adobe.com

ISBN: 978-3-89-750257-4

DOI: 10.23776/2023_01

Empfohlene Zitation

Vogt, Andrea; Wilhelm-Weidner, Arno; Hübsch, Thomas;
Vogel-Adham, Elke (2023). Nachhaltige Bildungstechnologien
in der beruflichen Weiterbildung. Institut für Innovation und
Technik (iit), Berlin.

Berlin, Juli 2023

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Grundlegende bildungstechnologische Ansätze in INVITE	5
2.1	Interoperabilität durch offene Bildungsstandards.....	5
2.2	Algorithmen zur Unterstützung der Lernenden	6
2.3	Mitgestaltung, Zugänglichkeit und Zusammenarbeit	7
2.4	Zugänglichkeit und Darstellungsmöglichkeiten von Lerninhalten.....	7
2.5	Nachnutzbarkeit durch Dritte	8
2.6	Informationssicherheit und Datensouveränität.....	8
3	Nachhaltigkeit im Kontext von Bildungstechnologien	10
3.1	Das Konzept Nachhaltigkeit.....	10
3.2	Relevante Aspekte der Nachhaltigkeit im Kontext von Bildungstechnologien.....	10
3.2.1	Ökologische Aspekte der Nachhaltigkeit	10
3.2.2	Wirtschaftliche Aspekte der Nachhaltigkeit	11
3.2.3	Soziale Aspekte der Nachhaltigkeit	12
3.2.4	Querschnittliche Aspekte der Nachhaltigkeit	14
4	Anwendung der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte	16
4.1	Use Case 1: Entwicklungsprojekt – Adaptive VR-Lernanwendung (mit KI)	16
4.2	Use Case 2: Start-up – Kollaboratives Tool zur Erstellung von OERs	16
4.3	Use Case 3: Großes Unternehmen – Konzeption einer internen Weiterbildung	16
5	Zusammenfassung und Leitfaden.....	18
6	Literatur.....	27

1 Einleitung

Berufliche Weiterbildung wird in Zukunft stetig an Bedeutung gewinnen, da der allgemeine technologische Fortschritt immer neue Herausforderungen und die Notwendigkeit neuer Schlüsselkompetenzen mit sich bringt. Gerade hier sind personalisierbare, flexible und ortsunabhängige bildungstechnologische Angebote der Schlüssel zu zeitgemäßen Aus- und Weiterbildungen.

Bildungstechnologie allgemein – und insbesondere Bildungsplattformen – werden dabei eine entscheidende Rolle spielen. Sie ermöglichen Weiterbildungen vor Ort, wo eine Anreise zeitlich oder finanziell nicht umsetzbar ist. Sie ermöglichen ebenso individuelles Lernen, wo die Einhaltung fester Termine nicht möglich ist, beispielsweise aufgrund von beruflichen und/oder privaten Verpflichtungen. Zusätzlich können Bildungstechnologien immersive Erfahrungen schaffen, ohne dabei Werkstoffe zu verbrauchen oder Lernende in einem frühen Stadium mit noch wenig Erfahrung in Gefahr zu bringen, beispielsweise durch den Einsatz von Simulationen mit Virtual Reality (VR) beim Schweißen oder Fräsen (Makransky et al. 2021:939). So können Lernende realitätsnah neue Abläufe und Informationen erfahren und ihr neues Wissen leichter auf den beruflichen Kontext übertragen.

Da Bildungstechnologien viele Vorteile für die berufliche Weiterbildung bieten, gibt es auch entsprechende Förderinitiativen, welche die (Weiter-)Entwicklung passender technologischer Lösungen sowie deren Implementierung in den Ausbildungsalltag fokussieren. Eine solche Förderinitiative ist der Innovationswettbewerb INVITE, der innovative Plattformprojekte der beruflichen Aus- und Weiterbildung fördert.¹ Die in diesem Papier dargestellten Erkenntnisse speisen sich unter anderem durch die Arbeit der Autorinnen und Autoren in diesem Wettbewerb. In INVITE entstehen wichtige bildungstechnologische Lösungen unter Verwendung von state-of-the-art-Methoden wie beispielsweise künstlicher Intelligenz (KI). Durch diese wird die berufliche Weiterbildung in Zukunft flexibler, individueller und umfassender möglich sein.

Neben technologischen Weiterentwicklungen, der Konzeption passender didaktischer Ansätze und einer passenden Bildungsinfrastruktur, müssen bei der Entwicklung innovativer Bildungstechnologien auch die globalen sowie allgemeingesellschaftlichen Herausforderungen beachtet werden. Hierbei rückt das Thema Nachhaltigkeit in den Vordergrund, das im Kontext von Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung auf vielfältige Art und Weise eine Rolle spielt.

Nachhaltige Bildungsplattformen in der beruflichen Weiterbildung zeichnen sich dadurch aus, dass sie ökologisch verträglich, sozial verantwortlich und wirtschaftlich sinnvoll entwickelt und gestaltet sind. Durch nachhaltige Bildungsplattformen kann der Zugang zu Weiterbildung verbessert, die Effizienz von Lernprozessen, der Ressourceneinsatz und Ressourcenverbrauch optimiert werden. Mit Hilfe von Bildungsplattformen eingesparte Reise- und Transportkosten sowie verringerter Papierverbrauch senken beispielsweise die CO₂-Emissionen. Auf der anderen Seite erfordert die nachhaltige Implementierung von beruflichen Bildungsplattformen eine strategische Planung, um Aspekte wie den Einsatz energieeffizienter Technologien, effektiver Algorithmen und einer technischen Infrastruktur mit reduzierter Umweltbelastung einzubeziehen. Auch nachhaltige Server- und Hosting-Optionen können den CO₂-Fußabdruck verringern. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Aspekte der Nachhaltigkeit, deren Beachtung unabdingbar für die Entwicklung innovativer Weiterbildungsplattformen und zeitgemäßen Bildungstechnologien sind.

Im Folgenden werden unterschiedliche Facetten von Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung dargestellt, gefolgt von einer Diskussion der in diesem Kontext relevanten Nachhaltigkeitsaspekte. Anhand von Use Cases werden die zentralen Aspekte der Nachhaltigkeit herausgearbeitet und abschließend in einen strukturierten Leitfaden integriert, der direkt zur Planung konkreter Nachhaltigkeitsmaßnahmen in Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Bildungsbereich genutzt werden kann.

¹ Der Wettbewerb wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ins Leben gerufen und wird vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) mit technologischer Unterstützung durch VDI/VDE-IT begleitet. Weitere Informationen online unter: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/foerderinitiativen-und-programme/innovationswettbewerb-invite/innovationswettbewerb-invite.html>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

2 Grundlegende bildungstechnologische Ansätze in INVITE

Auf Basis der Betrachtung der vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Innovationswettbewerb INVITE wurden relevante bildungstechnologische Ansätze und Dimensionen identifiziert, die häufig in Plattformprojekten im Bildungsbereich eine Rolle spielen. Die Projekte beschäftigen sich indirekt mit verschiedenen Aspekten der Nachhaltigkeit. Diese werden aber in der Umsetzung häufig nicht strukturiert aus der Perspektive der Nachhaltigkeit betrachtet. In diesem Kapitel soll ein Überblick über die wichtigsten dieser bildungstechnologischen Dimensionen gegeben werden.

Ein wesentlicher Aspekt nachhaltiger Bildungsplattformen ist die Interoperabilität mit bestehenden Plattformen durch die Einhaltung von technologischen Standards. Im Bereich von Datenformaten, Wissensrepräsentationen, Kompetenzen, Lerninhalten und Metadaten ermöglichen diese eine Nachnutzung und Wiederverwendung von vielfältigen Bildungsressourcen (Abschnitt 2.1). Algorithmen zur Unterstützung der Lernenden stellen einen weiteren zentralen Aspekt von Bildungsplattformen dar. Diese werden zur Sprachverarbeitung mit Hilfe von Natural Language Processing (NLP), Natural Language Understanding (NLU) und Natural Language Generation (NLG) eingesetzt und erhöhen signifikant die Qualität von Kommunikation und Interaktion mit den Nutzenden. Hierbei kommen insbesondere virtuelle Assistenten und Chatbots zum Einsatz. Bildungsplattformen implementieren darüber hinaus Algorithmen in Form von intelligenten Suchfunktionen, Lernstandanalysen, personalisierten Lerninhalten und -pfaden sowie in Form von Lernempfehlungssystemen (Abschnitt 2.2).

Möglichkeiten der Mitgestaltung, Zugänglichkeit und Zusammenarbeit auf Bildungsplattformen beeinflussen die sozialen Aspekte der Nachhaltigkeit entscheidend. Dabei spielen sowohl Inklusion und Gleichberechtigung als auch die Nutzendenerfahrungen und Nutzbarkeit eine wichtige Rolle in der beruflichen Weiterbildung (Abschnitt 2.3). Die Zugänglichkeit und Darstellungsmöglichkeiten von Lerninhalten sind weitere wichtige Aspekte, die auch unter Einsatz moderner Mensch-Maschine-Schnittstellen und ansprechender Darstellungsformate wie Augmented Reality und Virtual Reality umgesetzt werden (Abschnitt 2.4).

Weiterhin leistet die Nachnutzbarkeit von Lerninhalten, Algorithmen und KI-Modellen, Trainingsdaten, Schnittstellen oder Open Source Lernmanagementsystemen und Plug-Ins einen entscheidenden Beitrag zur Nachhaltigkeit von Bildungsplattformen nicht

nur in ökonomischer, sondern vor allem in ökologischer und sozialer Hinsicht (Abschnitt 2.5). Vertrauenswürdige und damit nachhaltige Bildungsplattformen sind durch ein hohes Maß an Informationssicherheit und Datensouveränität gekennzeichnet. Sicherheits- und Schutzmaßnahmen gewährleisten die Kontrolle persönlicher Daten, die Verlässlichkeit und Stabilität der Plattform, die Akzeptanz der Nutzenden sowie deren Autonomie und Selbstbestimmung. Die Sicherstellung von Datenschutz und Datensicherheit (DSGVO und ISO 27001) unterstützt die soziale, wirtschaftliche und rechtliche Nachhaltigkeit von Bildungsplattformen erheblich (Abschnitt 2.6).

2.1 Interoperabilität durch offene Bildungsstandards

Interoperabilität behandelt Fragen der unterstützten Standards und Technologien zur Etablierung eines gemeinsamen digitalen Weiterbildungsraumes in der beruflichen Bildung. Solche Standards können sich beispielsweise auf Kompetenzen und Wissen, Datenmodelle zur Speicherung und dem Austausch von Kurs-, Leistungs- oder Lernergebnissen sowie Lerninhalten beziehen. Diese Kompetenzstandards, Wissensrepräsentationen und die Standardisierung von Lerninhalten sind wesentliche Faktoren für eine gut funktionierende Interoperabilität zwischen verschiedenen Angeboten und Anbietern im Kontext der beruflichen Weiterbildung. Durch die Einbindung externer Datenquellen können Lernenden, die berufliche Weiterbildungsplattformen nutzen, Informationen bereitgestellt werden, die als zusätzliche Lernangebote (auch auf anderen Plattformen) verfügbar sind. Dies kann beispielsweise im Sinne einer Suchmaschine erfolgen (IWWB 2023), die Metadaten einbindet, oder über einen Web-Crawler, mit dem weiterführende Informationen recherchiert werden können.

Kompetenzstandards sind Taxonomien, die der Beschreibung von Fähigkeiten, Qualifikationen und Berufen dienen (Bsp. ESCO², vgl. Rentzsch 2021:9). Sie können gezielt dazu genutzt werden, den Weiterbildungsbedarf der beruflichen Lernenden standardisiert zu erheben, passgenaue Angebote zu machen, Lernziele zu definieren, Lerninhalte einer Weiterbildungsplattform zu beschreiben und bei Bildungsnachweisen das erreichte Kompetenzniveau zu dokumentieren. Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die hier einen Schwerpunkt setzen, fokussieren Tätigkeiten wie die Erfassung individueller und teamspezifischer Kompetenz- und Lernprofile, automatisierte Erfassung durch KI-Algorithmen oder die graphbasierte Analyse und Abfrage von ESCO Taxonomien. Darüber hinaus spielen Identifikation und Dokumentation

2 ESCO steht für European Skills, Competences, and Occupations. Mehr Informationen online unter: <https://esco.ec.europa.eu/en>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

von Kompetenzen, Qualifikationen und Zertifikaten ebenso eine Rolle wie Kompetenztests. Eine Umsetzung solcher Konzepte im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes wäre z. B. ein KI-basiertes Kompetenz-Screening mit nachfolgendem Matching zu passenden Angeboten.

Wissensrepräsentationen stellen domänenspezifisches Wissen in maschinenlesbarer Form dar. Es kommen hier auch Ontologien zum Einsatz, dabei werden Begriffe und Konzepte aus der Zielbranche (z. B. Pflege) und Zielgruppe der beruflichen Weiterbildungsplattform und ihre Beziehung untereinander beschrieben und beispielsweise als Graphstruktur abgespeichert. Damit kann „Wissen“ (z. B. einer Fachkraft in der Pflege) maschinenlesbar abgespeichert, verarbeitet und für Schlussfolgerungen genutzt werden. Projekte beschäftigen sich in diesem Bereich beispielsweise mit interaktiven Chatbots auf Basis von NLP-Technologien und internen Ontologien zur Generierung passgenauer Suchfragen oder der Verwendung von Wissensmodellen zum Abgleich von Benutzerprofilen mit Weiterbildungsangeboten.

Standards zum Erstellen und dem Datenaustausch von Lerninhalten sind eine wichtige Grundlage für die Interoperabilität von beruflichen Weiterbildungsplattformen, auch über einzelne Unternehmen und Branchen hinweg. Über standardisierte Schnittstellen können Lernplattformen Lerninhalte (beispielsweise im Standard LTI; 1EdTech 2022) oder andere Informationen, beispielsweise Informationen zu Identitäten, austauschen (GWDG 2023; eduroam 2023). Durch die standardisierte Beschreibung von Lerninhalten wird die Kommunikation zwischen verschiedenen Lernmanagementsystemen (LMS) ermöglicht. Zusätzlich können Autorenwerkzeuge genutzt werden, um standardisierte Lerninhalte zu erstellen, die dann interoperabel von verschiedenen LMS verwendet werden können. Häufig werden die Standards LTI1.3 und LTI Advantage als Grundlage für den Content-Austausch genutzt. Weiterhin sind als gemeinsame Datenformate das E-Learning Tracking-Format Experience API (xAPI) sowie für den Austausch von Kursmodellen das Common Cartridge Datenformat kombiniert mit dem Learning Object Metadata Standard relevant.

2.2 Algorithmen zur Unterstützung der Lernenden

Gerade im Kontext des beruflichen Lernens sind die Voraussetzungen, mit welchen Lernende in die Fort- oder Weiterbildung starten, sehr heterogen. Daher ist es in diesem Bereich besonders notwendig, Lernende individuell zu unterstützen. Dies erfolgt durch verschiedene algorithmusbasierte Ansätze, die mehrheitlich auf Künstlicher Intelligenz (KI) basieren.

Da eine persönliche Betreuung bzw. Unterstützung durch Tutor:innen aus Ressourcenperspektive weder leistbar, noch passend zur flexiblen Nutzung von innovativen Weiterbildungsfor-

maten ist, können hier verschiedene algorithmusbasierte Ansätze die benötigte Unterstützung bereitstellen. Dies kann beispielsweise durch Sprachverarbeitung (NLP, NLU, NLG), Analyse des Lernverhaltens (Learning Analytics) oder Anpassbarkeit von Lernangeboten und -empfehlungen umgesetzt werden.

Darüber hinaus können Lernende durch Intelligente Suchfunktionen unterstützt werden. Dies umfasst Suchalgorithmen, welche die regelbasierte Verarbeitung von Suchwörtern durchführen, bis hin zu solchen, welche die menschliche Sprache verarbeiten können und die semantische Suche mit einem kontextbezogenen Verständnis der Abfrage ermöglichen. Maschinelles Lernen und Deep Learning werden eingesetzt, um die Bedeutung der Suchabfrage in Relation zu den vorhandenen Lernressourcen zu erfassen und passgenaue Ergebnisse zu liefern. So beinhalten Projekte z. B. eine KI, die Lernende dabei unterstützt, sich einen Überblick über die Angebotsvielfalt zu verschaffen und relevante Angebote zu identifizieren. Zudem wird eine lernende KI eingesetzt, um Suchfunktionen in Weiterbildungsdatenbanken weiterzuentwickeln und zu ergänzen.

Um möglichst passgenaue Unterstützung oder Folgeweiterbildungsangebote anzubieten, sind vor allem jene Ansätze geeignet, die auf Learning Analytics basieren. Der Aspekt der Learning Analytics umfasst die Bereiche Datenaggregation, Data Mining und weitere Algorithmen, um Trends und Bewertungsmetriken im Zeitverlauf zu verstehen. Je nach Entwicklungsstufe des zugrundeliegenden Systems bietet dieses einen Einblick in vergangene Lernerfahrungen, erklärt die Ursachen von Ereignissen im Lernverlauf und gibt Empfehlungen zu möglichen künftigen Lernereignissen.

Die Entwicklung adaptiver Lerninhalte und -pfade fokussiert auf Algorithmen, die Lernende durch Anpassung unterstützen. Beispielsweise können hier personalisierte Lernpfade auf Basis von Nutzendenprofilen, Präferenzen oder einer Kompetenzermittlung generiert werden. Ebenso wird eine Anpassung der Nutzendenführung bzw. Sequenzierung der Inhalte vollzogen. So können Lernende passgenaue Lernangebote nutzen und es erhöht sich neben der Leistung auch die Motivation, an beruflichen Fort- und Weiterbildungsangeboten teilzunehmen.

Die technische Umsetzung der angepassten Nutzendenführung berücksichtigt dabei Verfahren wie Clustering, Reasoning, KI-Assessment, User Profiling oder eine adaptive Inhaltspräsentation. Relevante Ansätze sind hier beispielsweise das kontinuierliche KI-gestützte Assessment des aktuellen Wissensstands der Lernenden, das zum Ausspielen des optimalen nächsten Lerninhalts dient und somit adaptives Lernen ermöglicht, oder die KI-unterstützte Bereitstellung und Empfehlung von Lerninhalten sowie KI-generierte Lernpfade auf Basis der Ermittlung von zielgruppen- und spezifischen Präferenzen der Lernenden.

Recommendersysteme sind darüber hinaus ein wichtiges Instrument, um in der Vielzahl an potenziellen Fort- und Weiterbildungen in der beruflichen Bildung passgenaue, individuelle Vorschläge zu generieren, welche z. B. passend zu den Weiterbildungsinteressen bzw. zu den bereits erworbenen Kompetenzen der Lernenden sind. Diese Recommendersysteme beinhalten die Entwicklung von Algorithmen und automatisierte Empfehlungssysteme, um passende Kurse, Lernmaterialien, Lernpfade oder Lernpartner:innen vorzuschlagen. Darüber hinaus wird mit einer Kompetenzerfassung oder Kompetenzprofilen und dem Abgleich mit Referenzdaten als Ausgangspunkt das Ausspielen einer datenbasierten Empfehlung ermöglicht. Dies findet meist in Kombination mit Lerninhalten oder Lernpfaden statt. In der technischen Umsetzung werden Reinforcement Learning, Predictive Analytics oder Light Assessments genutzt. Interessante Ansätze sind hier beispielsweise das automatisierte Ableiten von Schulungsbedarfen aus Produktionsdaten und die Anpassung der KI-Algorithmen mittels Reinforcement Learning oder der KIEinsatz in Form von Light Assessments, bei dem der aktuelle Wissensstand ermittelt und darauf aufbauend passgenaue Weiterbildungen empfohlen werden.

2.3 Mitgestaltung, Zugänglichkeit und Zusammenarbeit

Um innovative Fort- und Weiterbildungsangebote im beruflichen Kontext attraktiv zu gestalten, können Lernenden neben der Lerngelegenheit im engeren Sinne auch darüber hinaus Angebote zur Mitgestaltung und Zusammenarbeit verfügbar gemacht werden. Dabei ist das Spektrum an Angeboten zur Zusammenarbeit und Mitgestaltung von Lerninhalten durch Nutzende sowie eingesetzte oder zu entwickelnde Lösungen zur Nutzbarkeit und zum Nutzungserlebnis groß.

Lernen ist neben der reinen Wissensvermittlung auch häufig ein sozialer Prozess. Hier können verschiedene Sozialformen unterschieden werden, bei denen entweder Lernende für sich interagieren oder zusätzliche Personen mit eingebunden werden. Beispielsweise ist die *Kollaboration* unter Lernenden auch im Kontext von innovativen Fort- und Weiterbildungsplattformen in der beruflichen Bildung ein wichtiges Thema. Dabei wird unter Kollaboration die Interaktion von Lernenden verstanden, die sich gemeinsam mit anderen Lernenden mit lernbezogenen Themen auseinandersetzen bzw. an diesen gemeinsam arbeiten. Bei der Kollaboration zwischen Lernenden sind alle Lernenden am gemeinsamen Prozess, bei dem gemeinsam ein Ergebnis konstruiert wird, in allen Arbeitsschritten beteiligt und bringen sich in den Prozess ein.

Bei Peer-Support erhalten die Lernenden Unterstützung durch Mentorinnen und Mentoren. Bei Lernpatenschaften und Peer-Support arbeiten die Lernenden bzw. Lehrenden zusammen und unterstützen sich, um Leistungsdefizite auszugleichen. Wesentlich für die Gestaltung der Lernerlebnisse ist Partizipation, so dass die Bedürfnisse der Stakeholder bei der Anpassung innovativer Fort- und Weiterbildungsangebote miteinbezogen werden. Dieses kann z. B. auch durch den Einsatz von KI oder durch das Angebot von Feedbackmöglichkeiten geschehen.

2.4 Zugänglichkeit und Darstellungsmöglichkeiten von Lerninhalten

Web-Zugänglichkeit (Accessibility) gerät als Qualitätsmerkmal digitaler Angebote immer mehr in den Fokus. Sie bezieht sich auf die inklusive Praxis, Websites für Menschen aller Fähigkeiten und Behinderungen nutzbar zu machen, was gerade im Kontext von beruflicher Weiterbildung eine wichtige Rolle spielt. Ein internationaler Standard wird mit den Content Accessibility Guidelines des World Wide Web Consortium (W3C)³ gesetzt. Diese bieten Empfehlungen für die barrierefreie Gestaltung von Webseiten und mobilen Anwendungen. Sie umfassen 13 Richtlinien, die vier übergeordneten Prinzipien zuzuordnen sind: Wahrnehmbarkeit, Bedienbarkeit, Verständlichkeit und Robustheit (BMI 2023).

Um Lerninhalte in der beruflichen Weiterbildung kontextnah oder gar situiert zu präsentieren, eignen sich Bildungstechnologien wie Augmented Reality (erweiterte Realität; AR) und Virtual Reality (virtuelle Realität; VR). Ein wichtiges Merkmal von AR und VR ist die Möglichkeit, mit den Elementen und Lerninhalten zu interagieren (Makransky et al. 2021:939). Sofern Bildungstechnologien über interaktive Elemente verfügen, können Lernende ihre Lernerfahrungen aktiv kontrollieren, steuern und gestalten. Bei der Darstellung von Inhalten in VR wird technologisch eine sensorische Immersion (Eintauchen) in die virtuelle, simulierte Lernwelt ermöglicht. Das Gefühl des Eintauchens in die simulierte Lernwelt wird auch als Präsenz beschrieben und ist subjektiv und daher abhängig vom Erleben des Lernenden. Je nach Umsetzung der VR-Lernumgebung wird diese als mehr oder weniger immersiv bezeichnet. Wird die Lernweltsimulation lediglich an einem Desktop-Computer präsentiert, spricht man von einer „wenig immersiven“ oder „nicht-immersiven“ VR. Hoch immersive VR unterscheidet sich qualitativ von Mixed oder Augmented-Reality-Technologien, da diese es dem Lernenden ermöglichen, die virtuelle und die reale Welt gleichzeitig zu erleben, während hoch immersive VR die reale Welt komplett ausschließt (Loomis et al. 1999:557ff).

³ Weitere Informationen unter: <https://www.w3.org/>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

VR- oder AR-Angebote können im Kontext der beruflichen Weiterbildung zur Simulation praktischer Handlungen „an der Maschine“ oder zur Ergänzung von realer Übung durch zusätzliche Informationen genutzt werden. Ein Beispiel sind hierbei Handlungsanweisungen, die für auszubildende Automechaniker über eine AR-Brille direkt am Getriebe an der passenden Stelle angezeigt werden (Mulders et al. 2023). Die verschiedenen Darstellungsformate können ebenfalls mit den zuvor beschriebenen innovativen bildungstechnologischen Ansätzen (wie z. B. Recommendersysteme oder KI-Anwendungen) kombiniert werden.

2.5 Nachnutzbarkeit durch Dritte

Da innovative Fort- und Weiterentwicklungsangebote bzw. entsprechende Plattformen für die berufliche Weiterbildung zumeist mit einem hohen Entwicklungsaufwand einhergehen, ist die Frage nach der Nutzung nach Ende der Projektlaufzeit der einzelnen Forschungs- und Entwicklungsprojekte, aber auch eine Nachnutzbarkeit durch Dritte, von besonderem Interesse. Fragen der Offenheit der eingesetzten und zu entwickelnden Systeme, Modelle und Funktionalitäten, die beispielsweise als Open Source Plug-In oder über gut dokumentierte Application Programming Interfaces (APIs) zugänglich sind, zu betrachten, spielt für die Langzeitperspektive von Plattformangeboten eine wichtige Rolle. Faktoren sind hier der freie Zugriff auf Daten, Modelle und Schnittstellen.

Open Source Software & KI-Modelle, die Veröffentlichung der entwickelten Funktionalitäten unter einer Free Open Source Software (FOSS) Lizenz bzw. Verwendung von „Standard“ KI-Bibliotheken (z. B. Keras, pytorch, TensorFlow) und die Publikation des trainierten Modells, ermöglichen eine Verbreitung über den konkreten Projektkontext hinaus. Idealerweise wird zusätzlich auch der Code zum Training des Modells publiziert.

Für Open Source LMS und Plug-Ins ist die Frage zentral, ob das eingesetzte LMS und dessen Plug-Ins unter einer FOSS-Lizenz veröffentlicht wurden, der Quellcode gewartet wird und dies auch künftig zu erwarten ist. Eine Nachnutzung ist möglich, etwa durch die Implementation in Form eines Plug-Ins und Dokumentationen. Häufig werden hier Open Source LMS wie Moodle⁴ oder ILIAS⁵ genutzt.

Ein wichtiges Kriterium für die Nachnutzbarkeit beruflicher Fort- und Weiterbildungsangebote ist, wie weitreichend die API die neu entwickelten Funktionalitäten eines Vorhabens abdeckt. Das zentrale Element, etwa das KI-Modell, ist z. B. im Idealfall darüber erreichbar. Relevante Kriterien für eine offene Herangehensweise sind die Dokumentation der Schnittstelle sowie eine

dauerhafte Erreichbarkeit. Open Educational Resources (OER) fokussieren auf die auf einer Plattform verfügbaren Lerninhalte. Sie sind mit einer freien Lizenz publiziert sowie dauerhaft auf einer Drittplattform wie GitHub, GitLab oder OER Drittplattform verfügbar.

2.6 Informationssicherheit und Datensouveränität

Gerade wenn Fort- und Weiterbildungsplattformen unternehmensintern eingesetzt werden, aber auch darüber hinaus im beruflichen Kontext komplikationslos genutzt werden sollen, ist es von zentraler Relevanz, die entsprechenden Sicherheits- und Schutzmaßnahmen im Rahmen von Plattformen und Funktionalitäten im Sinne der gesetzlichen Anforderungen zu berücksichtigen. Darüber hinaus stellen sich Fragen der Datenethik und Selbstbestimmung im Umgang mit und bei der Ablage von personenbezogenen Informationen.

Der wichtige Aspekt der IT-Sicherheit fokussiert auf die Aufrechterhaltung der Schutzziele Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit im Zusammenhang mit Informationen auf Bildungsplattformen. Dazu gehören die Absicherung der Weiterbildungs-Plattform gegen Gefährdungen wie Cyberattacken, Datendiebstahl oder Manipulationen und die Berücksichtigung einschlägiger Normen wie ISO 27001/ISO27002 oder Standards wie den BSI-Grundschutz.

Darüber hinaus sind Datenschutz und Privacy relevant und umfassen die Einhaltung der gesetzlichen und vertraglichen Anforderungen bzgl. des Schutzes personenbezogener Daten und der informationellen Selbstbestimmung. Dabei sind die gesetzlichen Anforderungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) oder des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSGneu) zu beachten. Themen sind hier unter anderem privacy by design / by default, Anonymisierung, Pseudonymisierung, Mandatentrennung sowie das Recht auf Löschung. Weiterhin sind Informations- und Transparenzpflichten, der Umgang mit Betroffenenrechten, informationelle Selbstbestimmung seitens der Lernenden über ihre Daten, die Übernahme von Corporate Digital Responsibility sowie die Einhaltung der Gewährleistungsziele bzgl. der Sicherung der Verfügbarkeit, Integrität, Vertraulichkeit, Transparenz, Intervenierbarkeit, Nicht-Verkettung von personenbezogenen Verfahren und der Datensparsamkeit wichtige Aspekte.

Das Thema Datenethik dreht sich um sittliche Normsetzungen, die für Digitalisierung, Big Data und KI gelten sollen. Hier wird berücksichtigt, welchen Bias die Daten möglicherweise enthalten und auch wie mit den gesammelten Daten ethisch verant-

⁴ Moodle ist ein freies Kursmanagementsystem und eine Lernplattform. Weitere Informationen unter: <https://moodle.de/>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

⁵ ILIAS ist eine freie Software zum Betreiben einer Lernplattform. Weitere Informationen unter: <https://www.ilias.de/>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

wortungsvoll umgegangen werden kann. Zudem sollten die Ethik-Leitlinien für vertrauenswürdige KI beachtet und die Empfehlungen der Datenethikkommission der Bundesregierung berücksichtigt werden.

Im Bereich der digitalen Identitäten können mit Hilfe von kryptographischen Verfahren – und ggf. auch Wallet-Anwendungen – Zeugnisse und Leistungsnachweise sicher dokumentiert und verwaltet werden. Dazu gehören die Authentifizierung, eID, Learning Record Store oder Blockchain zur fälschungssicheren Ablage als Teil der Digital Credentials Infrastruktur. Projekte arbeiten mit Formaten wie EUROPASS/EDCI, Verifiable Credentials des W3C und ESCO QMS. Ebenso sind hier die Themen Hyperledger Indy mit der Hyperledger Aries Library für Verifiable Credentials und Lissi-Identity Wallet relevant.

Identitäten können mit verschiedenen Vertrauensniveaus ermöglichen, dass Nutzende der Lernplattformen eindeutig identifiziert werden können (Synold 2020). Zertifikate, die mit diesen Identitäten verknüpft werden, können Lernerfolge und Weiterbildungen nachweisen und im Falle digitaler Prüfbarkeit auch den Nachweis absichern. Hier gibt es technologisch unterschiedliche Ansätze wie PKI-Infrastrukturen oder Blockchains, wobei zu letzteren immer wieder fachliche Bedenken geäußert werden (Deutscher Bundestag 2022).

Aktuell ist die Perspektive der Nachhaltigkeit derartiger Projekte in der Praxis häufig noch sehr wenig beachtet oder praktischen Erwägungen nachgeordnet. Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit erläutert und im Kontext von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in der beruflichen Weiterbildung diskutiert.

3 Nachhaltigkeit im Kontext von Bildungstechnologien

3.1 Das Konzept Nachhaltigkeit

Das Konzept Nachhaltigkeit gewinnt nicht zuletzt auch im Kontext der Ziele der nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs 2015) in nahezu allen Lebensbereichen immer mehr an Bedeutung. Je nach Perspektive umfasst das Konzept Nachhaltigkeit mehrere Facetten oder Aspekte. Ein häufig referenzierter Ansatz ist das Drei-Säulen-Modell, welches ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit anführt (vgl. Barbier 1987:102).

Der *ökologische Aspekt* der Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Nutzung natürlicher Ressourcen aus einer globalen Perspektive. Es stehen hier nicht nur der Ressourcenverbrauch, sondern auch etwaige Rückstände und Abfälle im Fokus, die beim Einsatz von digitalen Bildungstechnologien entstehen können. Ökologische Nachhaltigkeit befasst sich demnach mit ressourcenbezogenen Produktions-, Nutzungs- und Konsumaspekten (vgl. Lozano und Huisingh 2011:99ff; Herlo, Ullrich und Vladova 2022:66ff).

Der *ökonomische Aspekt* der Nachhaltigkeit bezieht sich auf die wirtschaftliche Perspektive und betont die Notwendigkeit, dass Wirtschaftsakteurinnen und -akteure bei der Entscheidungsfindung bezüglich der Produktion, Verteilung und Verwendung von Gütern das Gleichgewicht des Ökosystems mit einbeziehen (vgl. Rhode et al. 2021:5ff; Ullrich und Vladova 2022:66ff). Im Sinne der ökonomischen Nachhaltigkeit wären etwa das langfristige Bestehen von wirtschaftlichen Organisationen zu unterstützen, Forschungsergebnisse und bildungstechnologische Entwicklungen zu verstetigen und finanzielle Partizipationsmechanismen im Rahmen von nachhaltigen Geschäfts- oder Betreibermodellen zu berücksichtigen (Rhode et al. 2021:5ff).

Beim *sozialen Aspekt von Nachhaltigkeit* liegt der Fokus auf der Erfüllung grundlegender Bedürfnisse der Gesellschaft bzw. aller Menschen (vgl. Littig und Grießler 2005:1ff). Je nach Betrachtungsweise werden diese Bedürfnisse weiter oder enger gefasst. Klassischerweise werden menschliche Bedürfnisse (Nahrung, Wohnen, Versorgung), Lebensbedingungen (Einkommen, Bildung) oder der Zugang zu sozialen Infrastrukturen (vgl. Littig und Grießler 2005:1ff; vgl. Rhode et al. 2021:5ff) angeführt. Im Kontext von (Bildungs-)Technologien oder KI-basierten Anwendungen werden im Kontext von sozialer Nachhaltigkeit auch Aspekte wie Transparenz und Nachvollziehbarkeit bzw. Erklärbarkeit der verwendeten Systeme angeführt (vgl. Rhode et al. 2021:5ff).

Darüber hinaus gibt es auch anwendungsbezogene Modelle der Nachhaltigkeit, die weitere Aspekte (z. B. Didaktik) mit einbeziehen (vgl. Seufert und Euler 2004:1ff). Die meisten Modelle der Nachhaltigkeit nehmen Bezug zum Drei-Säulen-Modell bzw. er-

weitern das Modell um weitere Aspekte. Viele Publikationen, die sich mit der Klassifikation der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte beschäftigen, betonen, dass die verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte oftmals nicht komplett trennscharf voneinander abgegrenzt werden können. Daher werden in Publikationen (vgl. Rhode et al. 2021:5ff) Kriterien der Nachhaltigkeit, die nicht nur zu einem der Aspekte zugordnet werden können, auch als sogenannte *Querschnittskriterien* angeführt. Ein weiterer Kritikpunkt sind Herausforderungen bezüglich der Operationalisierbarkeit der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte. Trotz Kritik an der Klassifikation der unterschiedlichen Nachhaltigkeitsaspekte lohnt sich ein vertiefter Blick auf die dargestellten Aspekte im Bezug zur beruflichen Weiterbildung, die auf Bildungstechnologien zurückgreift. Da sich berufliche Weiterbildung verstärkt auf digital oder auch plattformbasierte Ansätze stützt und eine Vielzahl von Projekten und Entwicklungsteams sich daher mit diesen Bildungstechnologien beschäftigen, lohnt es sich, hier nochmals verschiedene Aspekte genauer zu betrachten und konkrete Use Cases zur Veranschaulichung darzustellen, um das Problem der Operationalisierbarkeit zu verringern.

3.2 Relevante Aspekte der Nachhaltigkeit im Kontext von Bildungstechnologien

Im Folgenden werden sowohl die drei Aspekte der Nachhaltigkeit und auch querschnittliche Aspekte aufgezeigt, und es wird die Relevanz für den Bildungsbereich diskutiert. Der vorliegende Diskurs der Nachhaltigkeitsaspekte knüpft an Vorarbeiten an, die sich mit dem Thema KI und Nachhaltigkeit in verschiedenen Bereichen (z. B. Finanzwirtschaft, Marketing, Industrie, soziale Medien) beschäftigen, jedoch dabei keinen spezifischen Fokus auf Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung legten (vgl. Rhode et al. 2021:5ff).

3.2.1 Ökologische Aspekte der Nachhaltigkeit

Global betrachtet fokussiert der allgemeine Diskurs zum Thema Nachhaltigkeit häufig auf ökologische Aspekte. Dabei stehen die genutzten Ressourcen, die durch ein System verbraucht werden, im Fokus.

Bildungstechnologien werden oft in Form von Bildungsplattformen umgesetzt. Diese werden im Sinne einer ökologischen Nachhaltigkeit u. a. an ihrem Ressourceneinsatz, den CO₂-Emissionen, dem Einsatz *energieeffizienter Algorithmen* sowie ihrer Umweltbelastung durch die *Hosting-Infrastruktur* gemessen. Deshalb sind bei der Konzeption, der Entwicklung und dem Betrieb von Bildungsplattformen vielfältige ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Recommendersysteme und adaptive Lernpfade, die auf Verfahren des maschinellen Lernens beruhen, müssen sich hier Herausforderungen bzgl. Modellkomplexität und der erforderlichen großen Datenmengen stellen. Große

Datenmengen werden für das Training der Algorithmen benötigt und entstehen darüber hinaus im laufenden Betrieb einer Bildungsplattform bei Lernstandsanalysen, personalisierten Lerninhalten, adaptiven Lernpfaden und Wissensrepräsentationen. Die *Modellkomplexität* und damit die für das Training erforderliche Datenmenge kann durch Verfahren des Transfer Learning und die Nutzung vortrainierter Modelle erheblich reduziert werden.⁶ Zur Komplexitätsreduktion stehen außerdem Verfahren der Quantisierung der Gewichte, Wissensdestillation, Regulierung, Modellkompression, Layer-Reduktion oder Pruning zur Verfügung.⁷

Modelle mit verringerter Komplexität ermöglichen geringere Trainings- und Inferenzzeiten, geringere Speicher- und Bandbreitennutzung und damit einen geringeren Energieverbrauch. Auch das Hosting von Bildungsplattformen kann durch die Nutzung von Green-Data-Centern⁸, einer bedarfsgerechten Skalierung der benötigten Rechenressourcen und effiziente KI-Hardware einen wesentlichen Beitrag zu einem minimalen ökologischen Fußabdruck leisten. Weiterhin kann *nachhaltiges Design* in Form der Gestaltung von benutzerfreundlichen, barrierearmen und intuitiven *UX-Schnittstellen*, die den Energieverbrauch der Endgeräte der Nutzenden minimieren, zur Verbesserung der Energiebilanz beitragen.

3.2.2 Wirtschaftliche Aspekte der Nachhaltigkeit

Neben Fragestellungen, die sich im Kontext der technischen Entwicklung bezüglich der Nachnutzung stellen, rücken auch Fragen nach Transfer der entwickelten bildungstechnologischen Anwendung und der ökonomischen Nachnutzbarkeit im Sinne eines Betreibermodells zunehmend in den Fokus. Im Kontext der öffentlich geförderten Forschungsprojekte, die sich mit beruflicher Weiterbildung beschäftigen und dabei an Hochschulen angesiedelt sind, ergeben sich in diesem Kontext besondere Herausforderungen bezüglich der Nachnutzung und des Transfers (Kiesler 2023). Wird in diesem Kontext beispielsweise eine Plattform entwickelt, stellt sich während des Entwicklungsprozesses häufig die Frage, wie eine Verstetigung der Entwicklung gewährleistet werden kann, da die relevanten Entwickler häufig nur für den Zeithorizont von wenigen Jahren angestellt sind und für die Wartung und Pflege nicht mehr zur Verfügung stehen. Außerdem sind im Rahmen öffentlich geförderter Projekte die Finanzmittel ebenfalls auf einen bestimmten Zeitraum beschränkt und eine Bereitstellung der Plattformen bzw. der zugrundeliegenden Infrastruktur muss aus anderen Finanzierungsquellen gewährleistet werden. In vielen Projekten rückt der Aspekt der ökonomischen Nachnutzung eher in den Hintergrund, da der Fokus

zumeist auf den aktuellen Meilensteinen und der Entwicklung des Produkts oder der Anwendung liegt. Betrachtet man diesen Prozess jedoch im Kontext der ökonomischen Nachhaltigkeit wird deutlich, dass Abwägungen zur Verstetigung der Anwendungen und Plattformen im Kontext der beruflichen Weiterbildung einen zentralen Aspekt für eine effiziente Nutzung vorhandener Geldmittel darstellen. Werden Ergebnisse der Projekte verstetigt, können künftige Projekte an die Ergebnisse der Vorläuferprojekte nahtlos anknüpfen, ohne dabei die Anwendung von Grund auf nochmals neu zu entwickeln und können z. B. im Kontext von KI auf bestehende Trainingsdaten zurückzugreifen.

Dabei ist *Verstetigung* als Sammelbegriff für eine Vielzahl möglicher Lösungen zu sehen: Bei Plattformentwicklungen ist eine Möglichkeit, die bestehende Plattform weiterzuführen, hier stellen sich insbesondere die Fragen danach, wer zuständig ist und Ressourcen dafür hat, diese auf dem neuesten Stand zu halten und bei auftretenden Problemen zu reagieren. Diesem Aspekt wird weiter unten beim Betreibermodell genauer nachgegangen.

Eine weitere mögliche Entwicklung kann es sein, den Quellcode der Entwicklungen im Rahmen von *Veröffentlichungen (Open Source / Open Access)* verfügbar zu machen. Hier ist insbesondere die Frage, wie gut dieser nachnutzbar ist, beispielsweise aufgrund der vorhandenen Dokumentation und Verständlichkeit der Implementierung. Und auch, inwieweit diese Entwicklungen auffindbar sind. Gängig sind hier beispielsweise Repositorien in Github oder Gitlab, die in Verbindung mit markanten Projektbeschreibungen auffindbar sind. Auch Daten können auf unterschiedliche Arten und Weisen bei diesen Entwicklungen entstehen. Daten zum Verhalten der Nutzenden, Trainingsdaten für KI-Modelle, die trainierten KI-Modelle selbst sowie Forschungsdaten stellen eine Auswahl spannender Möglichkeiten dar. Die Liste möglicher Ergebnisse in Datenform ist lang. Soweit dies die Gesetzgebung rund um personenbezogene oder personenbeziehbare Daten zulässt, ist auch die Nachnutzbarkeit dieser Daten und eine entsprechende Veröffentlichung wünschenswert, um unnötige doppelte Entwicklungen zu vermeiden und die Community an den Entwicklungen teilhaben zu lassen. Wichtig sind in diesem Zusammenhang die Nutzung der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur und die sehr verbreitete Möglichkeit, KI-Modelle und Daten zu veröffentlichen. Beides setzt im Bereich der Nachnutzung gute Maßstäbe (NFDI 2023).

Auch eine Beschreibung des Prozesses, wie die Plattform entwickelt wurde und welche Designentscheidungen und Erkenntnisse es auf dem Weg gab, kann dem Gedanken der Nachhaltig-

6 <https://huggingface.co/docs/transformers/training>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

7 <https://www.ontolux.de/machine-learning/modellkomprimierung-methoden-zur-ressourceneinsparung-von-ki-modellen/>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

8 <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/green-data-center>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

keit dienen. Diese kann in wissenschaftlichen Publikationen erfolgen oder sogar selbst Teil der Plattform sein.

Bei mehreren dieser Ergebnisse ist ein relevanter Aspekt, wie sich die Nachnutzung rechtlich regeln lässt, beispielsweise durch Open Access- bzw. bei Software und Quellcode Open Source-Ansätze. Dafür gibt es verschiedene Arten von Lizenzen, deren Darstellung in ihrer Gesamtheit den Rahmen dieses Papiers sprengen würden. Wichtige Vertreter sind die Creative Commons-Lizenzen (CC-BY erlaubt beispielsweise die Wiederverwendung, wenn der Name der ursprünglichen Urheberschaft genannt wird), die GNU General Public License (hier kann Software modifiziert und weiterverwendet werden, aber nur, wenn das Endprodukt unter derselben Lizenz liegt) oder die Apache-Lizenz für Software (hier gilt die vorige Einschränkung nicht).

Neben der Weiterverwendung von Artefakten und Erkenntnissen aus dem Prozess ist eine andere Art der ökonomischen Nachhaltigkeit der Erhalt des Systems selbst durch ein geeignetes Betreibermodell. Um ein geeignetes Betreibermodell oder Geschäftsmodell für ein Plattformprojekt wählen zu können, kann zunächst ein sogenanntes *Service-Ökosystem* kritisch analysiert werden (Grogorick und Lamprecht 2021:858ff). Ein Service-Ökosystem besteht aus allen relevanten Akteurinnen und Akteure: Lernenden, den zu nutzenden Services (z. B. eine Weiterbildungsplattform) und weiteren relevanten Komponenten (wie z. B. Bildungseinrichtungen). Zudem werden Kompetenzen und Ressourcen (Wissen, Reputation, Support etc.) betrachtet.

Auf Basis des Service-Ökosystems kann die Wahl des *passenden Betreibermodells* stattfinden. Hierfür kann anhand einer Werte-Kompetenz-Matrix nochmals im Detail aufgeführt werden, welche Akteurinnen und Akteure welche Ressourcen im System benötigen und welche Bedarfe an das System gestellt werden. Neben monetären Ressourcen sind auch Expertise, die Bereitschaft als Botschafter oder Botschafterin oder Repräsentanz zu dienen oder seine/ihre Daten relevant. Diese Ressourcen können anhand einer Werte-Kompetenz-Matrix transparent gemacht und optimiert werden, indem alle relevanten Akteurinnen und Akteure, Kompetenzen und Ressourcen jeweils paarweise in einer Matrix gegenübergestellt und in Beziehung gesetzt werden. Durch zu den Ressourcen passende Interessensvertretungen können dadurch Finanzierungsmodelle (z. B. Genossenschaftsmodelle) entstehen, von denen im Optimalfall alle Akteurinnen und Akteure im Service-Ökosystem gleichermaßen profitieren. So wird eine Verstetigung der bildungstechnologischen Entwicklungen im beruflichen Kontext ermöglicht.

3.2.3 Soziale Aspekte der Nachhaltigkeit

Der soziale Aspekt der Nachhaltigkeit, der sich auf die Erfüllung von Bedürfnissen auf Individualebene und auf Gesellschaftsebene bezieht, wird oft sehr weit gefasst. Unter Anderem werden

unter sozialer Nachhaltigkeit Themen wie Armutsbekämpfung, Gesundheitsförderung, Bildungsgerechtigkeit und hochwertige (Weiter-)Bildung, Geschlechtergleichheit und menschenwürdige Arbeit aufgeführt. Durch die teilweise sehr weit gefasste Charakterisierung dieses Aspekts wird das Konzept der sozialen Nachhaltigkeit oft als zu wenig abgrenzbar und zu wenig fassbar beschrieben. Trotzdem soll dieser Aspekt in der Betrachtung der Nachhaltigkeit von Bildungstechnologien nicht fehlen, da er einige Faktoren von kritischer Relevanz für die Entwicklung und Nutzung von innovativen Bildungstechnologien und Plattformen aufzeigt. Beispielsweise werden hier sehr viele gesellschaftsrelevante Themen aufgegriffen, welche auch im Bezug zu den SDGs stehen. Gerade da innovative Bildungstechnologien zentral relevant für die individuelle aber auch gesamtgesellschaftliche Entwicklung sind, sollten soziale Nachhaltigkeitsaspekte in diesem Kontext beachtet und betrachtet werden.

Ausgangsbasis für diese Betrachtung sind die bereits erwähnten Bedürfnisse auf Individual- und Gesellschaftsebene. Auf Individualebene lassen sich menschliche Bedürfnisse anschaulich anhand der Bedürfnispyramide (Maslow 1943:370ff) darstellen. Das häufig in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen herangezogene Modell beschreibt eine Reihe an menschlichen Grundbedürfnissen: Physiologische Bedürfnisse, Sicherheitsbedürfnisse, soziale Bedürfnisse, Individualbedürfnisse und Selbstverwirklichung. Dieses Konzept veranschaulicht die Vielfalt an möglichen Bedürfnissen, stellt jedoch auch eine Hierarchie der Bedürfnisse auf, welche besagt, dass bestimmte Bedürfnisse immer relevant bzw. Voraussetzung für andere Bedürfniserfüllungen sind, was empirisch nicht haltbar ist (Conrad 1983:258ff). Trotzdem zeigt dieses Konzept eine Reihe von individuellen Grundbedürfnissen auf, welche auch bei der Entwicklung von Bildungstechnologien und -Plattformen Beachtung finden könnten. Beispielsweise kann das individuelle Sicherheitsbedürfnis für die Nutzung von Bildungstechnologien als kritischer Faktor genannt werden. Befürchtet der Lernende etwa, dass die entstehenden Daten im Kontext der Nutzung der Bildungstechnologien missbraucht werden könnten, wird dies die Nutzung der Bildungstechnologien hemmen oder gar verhindern.

Eine weitere wichtige Theorie im Kontext von Individualbedürfnissen ist die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (vgl. Frühwirth 2020:5ff). Menschen streben gemäß dieser Theorie danach, Autonomie zu empfinden, was auch im Kontext des Lernens und der Persönlichkeitsentwicklung während einer Qualifikationsphase eine kritische Rolle spielt (vgl. Lempert 2000:128ff). Sehr dominante Empfehlungssysteme, welche viele Optionen bereits von vorne herein ausschließen, könnten dem Autonomiegefühl entgegenwirken und das Individuum in seiner Entwicklung auf bestimmte Optionen beschränken, was wiederum im global-gesellschaftlichen Kontext kritisch zu bewerten ist.

Im Kontext der Nutzung bestimmter (KI-)Technologien können hier ebenfalls verschiedene Optionen bestimmter Angebote bereitgestellt werden. Darüber hinaus könnten Bildungssysteme Lernenden aktiv eine opt-out bzw. opt-in Wahlmöglichkeit anbieten. Solche *Wahlmöglichkeiten* wurden beispielsweise im Kontext von Technologien wie dem autonomen Fahren erforscht. Hier zeigte sich, dass opt-out Angebote zu mehr Nutzungen der verfügbaren Technologien führten und die Akzeptanz förderten (vgl. Hock et al. 2019:101ff). Ähnliche Effekte wären ebenfalls im Kontext von Bildungstechnologien denkbar. Hier könnte man Lernenden verschiedene Versionen bereitstellen um ihr Autonomieempfinden zu stärken. Ebenfalls könnte das transparente Darstellen der Grundfunktionalitäten oder hinterlegten Mechanismen des Systems (*Explainability*) die Akzeptanz und das Autonomiegefühl bei der Nutzung der Bildungstechnologien stärken. Zusätzlich könnte das Bereitstellen von technischen Dokumentationen die Lernenden in die Lage versetzen, das System einzusehen und besser zu verstehen. Alternativ könnten Möglichkeiten geschaffen werden, um KI-Empfehlungen explizit zu machen bzw. auf ihre Verwendung zu verweisen oder diese KI-Empfehlungen aktiv zu überstimmen. Hier könnten auch Informationen hilfreich sein, inwiefern die von der KI getroffenen Entscheidungen nochmals von Menschen validiert und überwacht werden (Vogel-Adham et al. 2023:4ff).

Die Selbstbestimmungstheorie (vgl. Frühwirth 2020:5ff) stellt ebenfalls heraus, dass Menschen im Allgemeinen nach Kompetenzerleben streben, was ebenfalls bei der Gestaltung von innovativen Bildungstechnologien eine Rolle spielen sollte. Dabei kann Feedback durch das System eine wichtige Rolle spielen, jedoch sollte auf verstärkende Mechanismen wie *Nudging* aus ethischen Gründen verzichtet werden, da dies wiederum negative Effekte auf das *Autonomieempfinden* bzw. der Nutzungsautonomie der Lernenden haben kann (Tontrup und Sprigman 2022:594ff).

Selbstbestimmung und auch Selbstregulation spielen beim Lernen eine zentrale Rolle und sind auch entscheidend für den Lernerfolg. Bildungstechnologien sollten daher ebenfalls im Kontext der sozialen Nachhaltigkeit so gestaltet werden, dass Lernende Wissen erwerben, das auch Transfer ermöglicht, ohne dabei selbst von dem System abhängig zu sein. So können sie auch in künftigen Lernsituationen ihr Wissen und ihre erworbenen Kompetenzen einsetzen. Bei einer starken Abhängigkeit im Bezug zur jeweils bereitgestellten Bildungstechnologie müssten Lernende jedes Mal von neuem eine Grundkompetenz zur Nutzung des Systems aufbauen und könnten Erworbenes nicht transferieren, was im Sinne der Nachhaltigkeit nicht sinnvoll wäre.

Neben solchen Abhängigkeiten können je nach Implementierung Bildungstechnologien bei intensiver und langer Nutzung auch zu sozialer Isolation führen. Basierend auf der Selbstbestim-

mungstheorie stellt soziale Eingebundenheit jedoch ein wichtiges Grundbedürfnis dar, das bei der Gestaltung von Bildungstechnologien und Plattformen mit bedacht werden sollte (Van Tryon und Bishop 2009:291ff). *Austauschformate* mit Dozierenden, *Feedbackmöglichkeiten* oder die Interaktion mit anderen Lernenden können geeignete Ansätze sein um dieses Grundbedürfnis zu adressieren. Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Eigenschaften bei Lernenden unterschiedlich stark ausgeprägt sind und bestimmte Bedürfnisse daher besonders relevant sein können. Beispielsweise sollten auch heterogene Gruppen mit bedacht werden und Themen wie kulturelle Sensibilität vor der Bereitstellung eingehend geprüft werden.

Neben den klassischen Bedürfnissen nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit können auch weitere Eigenschaften der Lernenden dafür entscheidend sein, inwiefern Bildungstechnologien (erfolgreich) genutzt werden. Beispielsweise Technikaffinität oder auch das Vertrauen in automatisierte (Bildungs-)Systeme könnten konkrete Herausforderungen darstellen. Darüber hinaus sollten initiale Nutzungshürden beachtet werden, beispielsweise durch ein barrierefreies und inklusives Onboarding auf der Bildungsplattform könnten diese adressiert werden (Acosta et al. 2016:2704ff).

Verlässt man die Ebene der individuellen Bedürfnisse und betrachtet die Ebene der gesamtgesellschaftlichen Bedürfnisse, rücken ebenfalls weitere soziale Nachhaltigkeitsaspekte in den Fokus. Dabei ist zu beachten, dass Automatisierung nicht per se immer Vorteile bringt und zur Senkung der Arbeitsbelastung im Bildungssystem führt. Das Konzept der Ironies of Automation (Ganesh 2020:3; Bainbridge 1983:129ff) verdeutlicht anschaulich, dass verschiedene Fallstricke bei der Implementierung und Nutzung von automatisierten Systemen entstehen können. Wird etwa intendiert, durch Automatisierung die Rate menschenbedingter Fehler zu reduzieren, wird hier darauf hingewiesen, dass Fehler durch Menschen lediglich an eine andere Stelle im Prozess verschoben werden, da diese dann bei der Programmierung des Systems auftauchen und nicht an der Stelle, an der beispielsweise ein Test eines Lernenden bewertet wird (Bainbridge 1983:129ff). Außerdem ist es aus gesellschaftlicher Perspektive fraglich, inwiefern durch Bildungstechnologien der Arbeitsaufwand, der zur Bereitstellung von Lerninhalten und der Bewertung von Lernleistungen benötigt wird, nicht lediglich verschoben anstatt reduziert wird. Zum Beispiel für eine KI-basierte Lernplattform müssen eine große Menge an Trainingsdaten ausgewertet werden. Um diese Datenbasis zu schaffen, ist es häufig notwendig, in stundenlangender menschlicher Arbeit die Daten einzugruppieren (Van Atteveldt 2021:121ff). Dies erfolgt oftmals in Ländern mit geringen Lohnkosten und schlechter sozialer Absicherung. So werden Arbeiten verlagert an Orte, welche für die arbeitenden Menschen deutlich schlechtere Arbeitsbedingungen bedeuten und somit im Konflikt zum Gedanken der sozialen

Gerechtigkeit und *Fairness* stehen (vgl. Rhode et al. 2021:5ff). Daher sollte beim Konzipieren entsprechender Bildungstechnologien dies stets mit bedacht werden, auf wessen Kosten und zu wessen Nutzen die jeweiligen präferierten Varianten entwickelt werden.

3.2.4 Querschnittliche Aspekte der Nachhaltigkeit

Ein häufig genannter Kritikpunkt an der vorgestellten Untergliederung der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte – basierend auf dem Drei-Säulen-Modell – ist die Tatsache, dass sich nicht alle Aspekte eindeutig einer Dimension zuordnen lassen. Es gibt gewisse thematische Überlappungen bestimmter Aspekte sowie auch Aspekte, die das Thema Nachhaltigkeit auf einer höheren Ebene betrachten. Diese Aspekte werden in diesem Papier in Form von Querschnittsaspekten angeführt und diskutiert (vgl. Rhode et al. 2021:5ff).

Rechtliche Rahmenbedingungen sind für Bildungsplattformen relevant, um Rechtssicherheit gewährleisten zu können. Dies gilt insbesondere im Bereich der Verarbeitung von Daten und der entwickelten und eingesetzten Algorithmen. Die Verarbeitung von personenbezogenen Daten ist in der DSGVO⁹ und dem Bundesdatenschutzgesetz¹⁰ geregelt. Bildungsplattformen müssen die strengen Anforderungen an die Verarbeitung personenbezogener Daten erfüllen, sie dürfen nur erforderliche Daten erheben und müssen eine Datenschutzerklärung auf der Plattform zu Verfügung stellen. Bei den angebotenen Lehr- und Lernmaterialien ist auf eine urheberrechtskonforme Lizenzierung zu achten und Mechanismen für mögliche Beschwerden von Rechteinhabenden vorzusehen. Darüber hinaus ist das Behindertengleichstellungsgesetz¹¹ relevant für die Anbietenden von Bildungsplattformen (Vogel-Adham et al. 2023:4ff). Der Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens ist in der zukünftigen KI-Verordnung der EU¹² und der künftigen Richtlinie zur KI-Haftung¹³ geregelt bzw. in Vorbereitung. Es soll hier ein rechtlicher Rahmen für KI-Systeme, auch aus dem Bereich der Bildung, geschaffen werden. Bildungsplattformen müssen nach in Kraft treten der Verordnung vielfältige Transparenz- und Dokumentationsvorgaben erfüllen, die auch eine Risiko- und Konformitätsbewertung einschließen.

Verlässlichkeit und *Sicherheit* sind entscheidend für das Vertrauen der Nutzenden und den Erfolg von Bildungsplattformen. Dazu gehören die Gewährleistung von Datenschutz und Privatsphäre durch die Implementierung von DSGVO-konformen Datenschutzpraktiken, die Verwendung von Verschlüsselungstechnologien bei Übertragung und Speicherung von personenbezogenen Daten und auch die Gewährleistung der Integrität der Plattform, die eine Verfälschung oder Manipulation relevanter Daten verhindert. Die Verlässlichkeit einer Bildungsplattform bezieht sich auch auf korrekte Ergebnisse der entwickelten Algorithmen und KI-Komponenten und deren Robustheit gegenüber gestörten oder manipulierten Eingaben (KI-Prüfkatalog des Fraunhofer IASS¹⁴). Das Abfangen von Fehlern oder unerwünschten Eingaben auf Systemebene aber auch auf Ebene des KI-Modells trägt hier wesentlich zur Robustheit der Plattform bei. Dies gilt auch für (KI) Komponenten, die während des Betriebes der Plattform mit Nutzendendaten weitertrainiert werden und damit fortwährend auf ihre Verlässlichkeit überprüft werden müssen. Auch die Verwendung von redundanten und skalierbaren Hosting-Plattformen sowie Backup- und Wiederherstellungsmechanismen gewährleisten Verlässlichkeit. Wenn Nutzende selbst Inhalte auf der Plattform erstellen können, sind entsprechende Richtlinien und Praktiken zur Content-Moderation von Text-, Bild- oder Videodaten zu implementieren um ein sicheres Lernumfeld zu ermöglichen und Diskriminierung und unangemessene Verhaltensweisen zu unterbinden.

Die *Zertifizierung* von Bildungsplattformen stärkt ebenfalls das Vertrauen der Lernenden indem die Einhaltung von Normen und gesetzlichen Standards nachgewiesen wird. Für Daten- und Informationssicherheit ist ISO 27001/27701¹⁵ relevant und trägt zur Gewährleistung der Sicherheitsziele Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität der gespeicherten Lernendendaten bei. Die Zertifizierung der verwendeten (KI) Algorithmen ist aktuell noch in der Diskussion, Initiativen wie der KI-Prüfkatalog des Fraunhofer IAAS, das VDE Trust Label¹⁶ oder der AI Cloud Service Compliance Criteria Catalogue¹⁷ (AIC4) des BSI sind erste Initiativen für Zertifizierungsstandards.

Die *Einhaltung von Regelungen zur Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht* ist ein weiterer wichtiger querschnittlicher Aspekt der Nachhaltigkeit und Bürge für langfristig erfolgreiche

9 <https://www.datenschutz-grundverordnung.eu/>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

10 https://www.gesetze-im-internet.de/bdsg_2018/BDSG.pdf, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

11 <https://www.gesetze-im-internet.de/bgg/BGG.pdf>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

12 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0206>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

13 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52022PC0496>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

14 Siehe hierzu im KI-Prüfkatalog S 86ff: <https://www.iais.fraunhofer.de/de/forschung/kuenstliche-intelligenz/ki-pruefkatalog.html>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

15 <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nia/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:360980333>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

16 <https://www.vde.com/resource/blob/2177870/a24b13db01773747e6b7bba4ce20ea60/vde-spec-90012-v1-0--en--data.pdf>, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

17 https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/CloudComputing/AIC4/AI-Cloud-Service-Compliance-Criteria-Catalogue_AIC4.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

Bildungsplattformen. Organisationen und Personen welche Bildungsplattformen entwickeln und betreiben müssen Verantwortung für Entscheidungen bzw. Auswirkungen der Lernplattform übernehmen. Dazu gehört die Gewährleistung einer hohen Qualität der angebotenen Lerninhalte, die Zugänglichkeit (Barrierefreiheit) zu diesen Lerninhalten, die Möglichkeit des Nutzen-Feedbacks sowie eine kontinuierliche Verbesserung und Aktualisierung der Plattform und eingesetzten Algorithmen.

Weiterhin relevant für Entwickelnde und Betreibende von Bildungsplattformen ist das Gesetz über digitale Dienste¹⁸, das die Sicherheit und Verantwortlichkeit für Online Dienste reguliert.

Zusätzlich zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen können in Forschungs- und Entwicklungsprojekten weitere Rahmenbedingungen explizit definiert werden und später dann z. B. mit der entwickelten Plattform bzw. der Dokumentation veröffentlicht werden.

In diesem Kontext wird auch von einem *Code of Conduct* gesprochen, der nochmals explizit auf die zugrundeliegenden Werte, Normen und ethisches Handeln für die Implementierung und Nutzung des Lernangebots eingeht und als Selbstverpflichtung aller Beteiligten betrachtet werden kann. Dabei kann auch bereits zu Projektbeginn mit allen am Projekt beteiligten Akteurinnen und Akteuren eine gemeinsame, freiwillige Selbstverpflichtung vereinbart werden, die sich sie ebenfalls auf die zugrunde gelegten Werte und Normen bezieht und während des Projekts als Ankerpunkt für ethisches Handeln dient.

¹⁸ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/digital-services-act-ensuring-safe-and-accountable-online-environment_de#dokumente, zuletzt aufgerufen am 02.06.2023.

4 Anwendung der verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte

Um die oben diskutierten und angeführten Nachhaltigkeitsaspekte nochmals expliziter im Anwendungskontext von Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung darzustellen, werden im Folgenden drei verschiedene Use Cases dargestellt. Dabei handelt es sich nicht um konkret existierende, anonymisierte Beispielprojekte, sondern um Beispiele, die zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Aspekte und Herausforderungen bei der Umsetzung in konkreten Kontexten dienen. Für KI-Systeme sollten grundsätzlich bei der Entwicklung von bildungstechnologischen Plattformen die Phasen entlang des KI-Lebenszyklus beachtet werden. Sie erstrecken sich über die Konzeptionsphase, die Daten- und KI-Modellierung und Entwicklung (Phase 1), Verifizierung, Optimierung (Phase 2) sowie Validierung des Systems, Betrieb und das laufende Monitoring der Plattform (Phase 3). Diese Phasen sind übergreifend von Bedeutung für nachhaltige KI-Systeme und in den Use Cases implizit enthalten.

4.1 Use Case 1: Entwicklungsprojekt – Adaptive VR-Lernanwendung (mit KI)

Ein Forschungsprojekt zwischen Unternehmen und Hochschule möchte im Bereich der Automechanik Weiterbildungsangebote durch adaptive VR-Simulationen ermöglichen, die sich selbst an den Lernstand anpassen und herausforderndere Probleme für den Lernenden auswählen. Hierfür wurden bereits Prototypen entwickelt, die es ermöglichen, den Tausch eines Getriebes über eine VR-Brille zu simulieren und zentrale Schritte durch Bewegung der Hände zu simulieren, ohne dabei Gefahr zu laufen, ein reales Getriebe bei Fehlern zu beschädigen. Dabei wurde anfangs auf ein sehr komplexes Modell mit vielen Parametern zurückgegriffen, das durch Performanceprobleme und um sparsamer in Bezug auf Ressourcen bei der Nutzung der VR-Einheit zu sein, durch ein einfacheres adaptives Modell ersetzt. Damit ihre Entwicklung weiter Bestand hat und praktisch eingesetzt wird, sind die Mitarbeitenden des Projekts auf der Suche nach einem Betreibermodell in Zusammenarbeit mit Firmen. In Gesprächen mit den Firmen wird kritisch angemerkt, dass das System derzeit zu viele Daten der Nutzenden speichert und empfohlen, einen Code of Conduct als Selbstverpflichtung zu entwickeln, um eine klare Leitlinie im Bereich der Datenethik zu haben. Die Software ist aus Zeitgründen noch nicht ausreichend dokumentiert, was aktuell Probleme bereitet. Eine der Firmen, mit denen die Projektpartner zusammenarbeiten wollen, hilft ihnen, die Umweltauswirkungen ihrer Entwicklung besser zu verstehen. Da sie kein vortrainiertes Lernmodell für ihre KI nutzen konnten, mussten die Projektpartner das Modell selbst trainieren, was Ressourcen verbraucht hat. Für den weiteren Einsatz bemühen sich die Projektpartner um den sparsamen Einsatz von Ressourcen und eine möglichst geringe Menge an neu angeschaffter Hardware.

4.2 Use Case 2: Start-up – Kollaboratives Tool zur Erstellung von OERs

Ein Startup im Bildungsbereich arbeitet an einem kollaborativen Tool zur einfachen Erstellung von OER für Kurse an Volkshochschulen in Rheinland-Pfalz. Die Materialien sollen unter einer CC-BY-Lizenz frei zur Verfügung stehen. Sie haben geplant, die Materialien mit dem Learning Objects Metadata-Standard zu beschreiben, müssen aber feststellen, dass Testnutzende die einzelnen Felder sehr unterschiedlich befüllen, was die Materialien schwer auffindbar macht. Nach einer Anfrage von Entwicklenden aus Thüringen entscheiden sie sich, ihre API nach außen zu öffnen. Ihr ursprünglicher Ansatz war, das Editieren von Metadaten für alle Nutzenden zu ermöglichen. Bei weiteren Testläufen müssen sie allerdings feststellen, dass hier immer wieder Felder unsinnig befüllt werden, weswegen sie eine Rechteverwaltung in ihr System einfügen müssen, so dass im Sinne der informationellen Selbstbestimmung jeder Daten ändern kann, die sie oder ihn betreffen. Als bei einem der Testläufe die mangelnde Transparenz ihrer Entwicklung in Bezug auf Nachhaltigkeit kritisiert wird, sind sie enttäuscht, da ihnen das Thema am Herzen liegt, aber nicht nach außen getragen wurde. Sie beginnen eine Stellungnahme auszuarbeiten, welche Aspekte von Nachhaltigkeit wie in der Entwicklung berücksichtigt wurden und arbeiten daran, ein Zertifikat zu bekommen, das ihnen ihre Nachhaltigkeitsanstrengungen bescheinigt.

4.3 Use Case 3: Großes Unternehmen – Konzeption einer internen Weiterbildung

In einem großen Unternehmen in der deutschen Automobilindustrie wird für die berufliche Fort- und Weiterbildung eine Lernplattform aufgebaut. Um Synergien aus bestehender Infrastruktur zu nutzen, wird dabei auf eine Lernplattform zurückgegriffen, die auch von einem anderen, konkurrierenden großen deutschen Automobilhersteller genutzt wird. So können Ressourcen für die Bereitstellung der Infrastruktur eingespart werden. Neben der technischen Infrastruktur werden die von Didaktik-Expert:innen bereitgestellten Inhalte lernförderlich aufgebaut und anschaulich dargestellt. Um die Autonomie der Lernenden zu fördern, gibt es verschiedene Möglichkeiten, auf Lernmodule zuzugreifen. Lernende können etwa gemeinsam mit dem Personalvorgesetzten passende Module zu ihrem Laufbahnprofil auswählen. Außerdem gibt es eine Online-Suche, die mit oder je nach Präferenz ohne KI-Empfehlungssysteme funktioniert. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, weitere Details über die KI-generierten Empfehlungen in einer technischen Dokumentation einzusehen.

Bei der initialen Implementierung und der Gestaltung wurde wenig auf den CO₂-Fußabdruck der Betreuung der Lernplattform

geachtet. Nachdem sich einige Mitarbeitende in Lernmodulen mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigt haben, wird der CO₂-Fußabdruck der Lernplattform über einen Beschwerdemechanismus zurückgemeldet. Das Unternehmen reagiert darauf indem es nochmals kritisch prüft, wie die Kennzahlen des Data Center sind, in dem die Server für das Lernmanagementsystem betrieben werden. Im Betriebsrat wurde die Einführung des Lernmanagementsystems sehr umfangreich diskutiert. Dabei war zentral, dass die Vorgesetzten nicht direkt den Lernfortschritt und den Lernprozess überwachen können und keine persönlichen Daten über den Lernprozess gesammelt werden ohne die explizite Zustimmung des Lernenden. Auf freiwilliger Basis, z. B. für ein ergänzendes Zertifikat im Laufbahnprofil können Lernende nach erfolgreichem Abschluss das Zertifikat dann bei ihrem Vorgesetzten vorlegen.

5 Zusammenfassung und Leitfaden

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Forschungs- und Entwicklungsprojekte des Weiterbildungsbereichs sich indirekt mit vielen bildungstechnologischen Dimensionen der genannten Aspekte der Nachhaltigkeit beschäftigen, dass die Aspekte aber oftmals nicht strukturiert betrachtet werden und bei der Umsetzung der Projekte nicht explizit berücksichtigt werden. Daher soll nach dem Diskurs zu verschiedenen Aspekten der Nachhaltigkeit und der Darstellung von Beispielen im Kontext von Bildungstechnologien in der beruflichen Weiterbildung ein pragmatischer Leitfaden aufgezeigt werden. Dieser hat nicht den Anspruch das Thema Nachhaltigkeit im Kontext der beruflichen Weiterbildung allumfassend und erschöpfend darzustellen, sondern ist als Denkanstoß und Handreichung für entsprechende Projekte in diesem Kontext gedacht. Basierend auf dem Leitfaden sollen konkrete, praxisnahe Anregungen in die aktuellen Entwicklungen und Projekte getragen werden können, um sowohl in laufenden als auch in zukünftigen Projekten das Thema Nachhaltigkeit zentraler ins Bewusstsein aller Akteurinnen und Akteure zu rücken. Daher ist dieser Leitfaden auch tabellarisch dargestellt und umfasst eine Zeitachse, die kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen beinhaltet bzw. in einer zweiten Version die verschiedenen Phasen entlang des KI-Lebenszyklus berücksichtigen lässt. So kann der Leitfaden direkt in Forschungs- und Entwicklungsprojekten zur Maßnahmenfindung zur Hand genommen werden.

Tabellarischer Leitfaden entlang zeitlicher Dimensionen*

Kriterien	Bereich	Maßnahmen		
		Jetzt	Mittelfristig	Langfristig
Ökologisch	Hosting- bzw. Hardware-Infrastruktur			
	Algorithmen			
	Modellkomplexität			
	UX-Design			
Wirtschaftlich	Ansätze zur Verstetigung			
	Veröffentlichung (Open Source / Open Access)			
	Betreibermodell			

* Diese beiden Varianten des Leitfadens sollen Projekten im Bereich der beruflichen Weiterbildung dazu dienen, im Sinne eines Workbooks den eigenen Prozess in den in diesem Paper beschriebenen Aspekten der Nachhaltigkeit beim Ausfüllen zu reflektieren.

Kriterien	Bereich	Maßnahmen		
		Jetzt	Mittelfristig	Langfristig
Sozial	Wahlmöglichkeiten			
	Explainability			
	Verzicht auf Nudging (Autonomieempfinden)			
	Austauschformate/ Feedback			
	Fairness			
Querschnitt	Rechtliche Rahmenbedingungen			
	Verlässlichkeit und Sicherheit			
	Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht			
	Zertifizierung			
	Code of Conduct			

Tabellarischer Leitfaden entlang des KI-Lebenszyklus (Phase 1/3)

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 1	
		Daten- und KI-Modellierung	Entwicklung
Ökologisch	Hosting- bzw. Hardware-Infrastruktur		
	Algorithmen		
	Modellkomplexität		
	UX-Design		
Wirtschaftlich	Ansätze zur Verstetigung		
	Veröffentlichung (Open Source / Open Access)		
	Betreibermodell		

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 1	
		Daten- und KI-Modellierung	Entwicklung
Sozial	Wahlmöglichkeiten		
	Explainability		
	Verzicht auf Nudging (Autonomieempfinden)		
	Austauschformate/Feedback		
	Fairness		
Querschnitt	Rechtliche Rahmenbedingungen		
	Verlässlichkeit und Sicherheit		
	Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht		
	Zertifizierung		
	Code of Conduct		

Tabellarischer Leitfaden entlang des KI-Lebenszyklus (Phase 2/3)

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 2	
		Verifizierung	Optimierung
Ökologisch	Hosting- bzw. Hardware-Infrastruktur		
	Algorithmen		
	Modellkomplexität		
	UX-Design		
Wirtschaftlich	Ansätze zur Verstetigung		
	Veröffentlichung (Open Source / Open Access)		
	Betreibermodell		

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 2	
		Verifizierung	Optimierung
Sozial	Wahlmöglichkeiten		
	Explainability		
	Verzicht auf Nudging (Autonomieempfinden)		
	Austauschformate/ Feedback		
	Fairness		
Querschnitt	Rechtliche Rahmenbedingungen		
	Verlässlichkeit und Sicherheit		
	Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht		
	Zertifizierung		
	Code of Conduct		

Tabellarischer Leitfaden entlang des KI-Lebenszyklus (Phase 3/3)

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 3	
		Validierung	Betrieb und laufendes Monitoring
Ökologisch	Hosting- bzw. Hardware-Infrastruktur		
	Algorithmen		
	Modellkomplexität		
	UX-Design		
Wirtschaftlich	Ansätze zur Verstetigung		
	Veröffentlichung (Open Source / Open Access)		
	Betreibermodell		

Kriterien	Bereich	Maßnahmen Phase 3	
		Validierung	Betrieb und laufendes Monitoring
Sozial	Wahlmöglichkeiten		
	Explainability		
	Verzicht auf Nudging (Autonomieempfinden)		
	Austauschformate/Feedback		
	Fairness		
Querschnitt	Rechtliche Rahmenbedingungen		
	Verlässlichkeit und Sicherheit		
	Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht		
	Zertifizierung		
	Code of Conduct		

6 Literatur

Acosta, Tania; Luján-Mora, Sergio (2016). Comparison from the levels of accessibility on LMS platforms that supports the online learning system. In: EDULEARN16 Proceedings (2704-2711). Online unter:

https://www.researchgate.net/publication/305704273_COMPARISON_FROM_THE_LEVELS_OF_ACCESSIBILITY_ON_LMS_PLATFORMS_THAT_SUPPORTS_THE_ONLINE_LEARNING_SYSTEM, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Bainbridge, Lisanne (1983). Ironies of automation. In: *Automatica*, Vol. 19, No. 6, S. 775–779. Online unter: https://ckrybus.com/static/papers/Bainbridge_1983_Automatica.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Barbier, Edward B. (1987). The concept of sustainable economic development. In: *Environmental Conservation*, 14 (2), S. 101–110. Online unter: <https://philpapers.org/rec/BARTCO-93>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI) (2023). Web Content Accessibility Guidelines 2.1 (WCAG 2.1). Online unter: <https://www.barrierefreiheit-dienstekonsolidierung.bund.de/Webs/PB/DE/gesetze-und-richtlinien/wcag/wcag-artikel.html>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Conrad, Peter (1983). Maslow-Modell und Selbsttheorie: Eine Kritik. *die Unternehmung*, S. 258–277.

Deutscher Bundestag (2022). Fraktion Die Linke fragt nach Blockchain in Bundesbehörden (Wirtschaft — Kleine Anfrage — hib 132/2022). Online unter: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-885856>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

eduroam (2023). Website online unter: <https://eduroam.org>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

1EdTech (2022). Website online unter: <https://imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Frühwirth, Gabriele (2020). Die Self-Determination Theory nach Deci & Ryan. In: Gabriele Frühwirth (Hrsg.): *Selbstbestimmt unterrichten dürfen – Kontrolle unterlassen können: Der Motivationsstil von Mentorinnen und Mentoren in Schulpraktika*, S. 5–25.

Ganesh, Maya Indira (2020). The ironies of autonomy. In: *Humanities and Social Sciences Communications*, 7(1), S. 1–10.

Grogorick, Linda; Lamprecht, Jens (2021). AC: DC–Agiles und kollaboratives digitales Klassenzimmer. In: *HMD Praxis der Wirt-*

schaftsinformatik, 58(4), S. 858–869. Online unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1365/s40702-021-00736-w.pdf?pdf=button%20sticky>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH Göttingen (GWDG) (2023). Single Sign-On (SSO) / Authentifizierungs/Autorisierungs-Infrastruktur (AAI). Online unter: <https://www.gwdg.de/general-services/sso-aa>i, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Herlo, Bianca; Ullrich, André; Vladova, Gergana (2022). Verantwortungsvolle demokratisch nachhaltige digitale Souveränität. In: Steffen Bauer (Hrsg.): *Digitalisierung nachhaltig und souverän gestalten. Forschungsbericht zu den sozial-ökologischen Perspektiven für eine selbstbestimmte Digitalpolitik*, S. 66–108. Online unter: https://codina-transformation.de/wp-content/uploads/Final_CODINA_Forschungsbericht_DS.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Hock, Philipp; Babel, Franziska; Kraus, Johannes; Rukzio, Enrico; Baumann, Martin (2019). Towards Opt-Out Permission Policies to Maximize the Use of Automated Driving. In: 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '19), September 21–25, 2019, Utrecht, Netherlands. ACM, New York, NY, USA, 12 pages. Online unter: <https://doi.org/10.1145/3342197.3344521>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Heise, Linda; Fischer, Helge: Und was bleibt? Analyse von Nachhaltigkeitsfaktoren. In: Helge Fischer & Thomas Köbler (Hrsg.): *Postgraduale Bildung mit digitalen Medien. Problemlagen und Handlungsansätze aus Sicht der Beteiligten*. Münster ; New York: Waxmann 2018, S. 161-170. Online unter: https://www.pedocs.de/volltexte/2019/16907/pdf/MidW_73_Heise_Und_was_bleibt.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

InfoWeb Weiterbildung (IWWB) (2023). Website online unter: <https://www.iwwb.de/kurssuche/startseite.html>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

Kiesler, Natalie; MacKellar, Bonnie K.; Kumar, Amruth N.; McCauley, Renée; Raj, Rajendra K.; Sabin, Mihaela; Impagliazzo, John (2023). Computing Students' Understanding of Dispositions: A Qualitative Study. In: *Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. Association for Computing Machinery.

Lempert, Wolfgang (2000). Lebenslanges Lernen und Persönlichkeitsentwicklung nach Untersuchungen von Berufsverläufen und beruflichen Biographien. In: Frank Achtenhagen & Wolfgang

- Lempert (Hrsg.): *Lebenslanges Lernen im Beruf – seine Grundlegung im Kindes- und Jugendalter: Band 2: Gewerbliche Wirtschaft, Gewerkschaft und soziologische Forschung*, S. 128–154.
- Loomis, Jack M.; Blascovich, James J.; Beall, Andrew C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. In: *Behavior research methods, instruments, & computers*, Nr. 4, S. 557–564. Online unter: https://people.psych.ucsb.edu/loomis/jack/loomis_blascovich_99.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Lozano, Rodrigo; Huisingh, Don (2011). Inter-linking issues and dimensions in sustainability reporting. In: *Journal of Cleaner Production*, 19(2–3), S. 99–107.
- Littig, Beate; Griebler, Erich (2004). Soziale Nachhaltigkeit. Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien (Hrsg.). Online unter: https://www.arbeiterkammer.at/infopool/wien/Informationen_zur_Umweltpolitik_160.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Maslow, Abraham H. (1943). A theory of human motivation. In: *Psychological Review*, 50(4), S. 370–396.
- Makransky, Guido; Petersen, Gustav B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. In: *Educational Psychology Review*. Nr. 3, S. 937–958. Online unter: <https://psycnet.apa.org/record/2021-06442-001>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Mulders, Miriam; Weise, Matthias; Schmitz, Andrea; Zender, Raphael; Kerres, Michael; Lucke, Ulrike (2023). Handwerkliches Lackieren mit Virtual Reality (HandLeVR): VR-basierter Kompetenzerwerb in der beruflichen Ausbildung. In: *Medienpädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, Nr. 51, S. 214–245. Online unter: https://learninglab.uni-due.de/sites/default/files/1588_Mulders_final.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e. V. (2023): Website online unter: <https://www.nfdi.de/>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Rentzsch, Robert (2021). *Digitale Bildungsnachweise – Der Stand 2020 in Deutschland und Europa*, (Institut für Innovation und Technik (iit) (Hrsg.)). Online unter: <https://www.iit-berlin.de/publikation/digitale-bildungsnachweise>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Rohde, Friederike; Wagner, Josephine; Reinhard, P.; Petschow, Ulrich; Meyer, Andreas; Voß, Marcus; Mollen, Anne (2021). Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz. Entwicklung eines Kriterien- und Indikatorensets für die Nachhaltigkeitsbewertung von KI-Systemen entlang des Lebenszyklus. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH (IÖW) (Hrsg.), Schriftenreihe des IÖW 220/21, S. 5–79. Online unter: https://www.ioew.de/publikation/nachhaltigkeitskriterien_fuer_kuenstliche_intelligenz, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- United Nations (2015): Website des Department of Economic and Social Affairs / Sustainable Development “THE 17 GOALS. History”. Online unter: <https://sdgs.un.org/goals#history>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Slagter van Tryon, Patricia J.; Bishop, M. J. (2009). Theoretical foundations for enhancing social connectedness in online learning environments. In: *Distance Education*, 30(3), S. 291–315.
- Synold, Christian (2020). Implementation des Onlinezugangsgesetzes auf kommunaler Ebene im Freistaat Thüringen (Deutsche Universität für Verwaltungswissenschaften).
- Tontrup, Stephan; Sprigman, Christopher Jon (2022). Self-Nudging Contracts and the Positive Effects of Autonomy - Analyzing the Prospect of Behavioral-Self-Management (July 17, 2022). 19 *Journal of Empirical Legal Studies* 594 (2022); NYU Law and Economics Research Paper No. 19–41, Online unter: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3484529>, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Van Attevelde, Wouter; Van der Velden, Mariken A.; Boukes, Mark (2021). The validity of sentiment analysis: Comparing manual annotation, crowd-coding, dictionary approaches, and machine learning algorithms. In: *Communication Methods and Measures*, 15(2), S. 121–140. Online unter: https://pure.uva.nl/ws/files/62350078/The_Validity_of_Sentiment_Analysis_Comparing_Manual_Annotation_Crowd_Coding_Dictionary_Approaches_and_Machine_Learning_Algorithms.pdf, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.
- Vogel-Adham, Elke; Ritzmann, Susanne; Blanc, Berit; Hochbauer, Monica; Reichow, Insa (2023). Sozio-ethische Aspekte KI-gestützter Bildungstechnologien. Empfehlungen eines Expertinnen-Workshops. Ein Dossier im Rahmen des Innovationswettbewerbs INVITE. Online unter: https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=26110, zuletzt zugegriffen am 05.06.2023.

