

KI- UND LA- BASIERTE SYSTEME IN DER AUS- UND WEITERBILDUNG VON PILOT/-INNEN UND LUFTFAHRTTECHNISCHEM PERSONAL

H. Lilla*, R. Tenberg*

*Technische Universität Darmstadt, Alexanderstr. 6, 64283 Darmstadt, Deutschland

Zusammenfassung

Boeing arbeitete 2020 die Herausforderungen für den Einsatz von Anwendungen der Künstlichen Intelligenz (KI) und Learning Analytics (LA) in der Aus- und Weiterbildung von Pilot/-innen und luftfahrttechnischem Personal aus. Im Zentrum steht dabei die Verbesserung der Performance und ein Nachweis über die Wirksamkeit der Anwendungen. Das von uns durchgeführte Review nach Kitchenham zeigt, dass ein Nachweis der Wirksamkeit durch ein stringent aufgesetztes Forschungssetup möglich ist. Der Nachweis für eine valide Anwendung sollte dabei mittels Design-Based-Research erfolgen. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten die Entwicklung von multimedialen Smart Learning Environments fokussieren. Diese sollten auf einem tragfähigen Kompetenzmodell basieren und den Einsatz von deskriptiven, prädiktiven, präskriptiven und diagnostischen Analytics fördern, um Lernprozesse zu unterstützen. Zusätzlich sollten sie individuelles Feedback bereitstellen und Interventionen ermöglichen.

Keywords

Learning Analytics; Artificial Intelligence; Competence Diagnostic; Smart Learning Environment; Vocational Training

1. EINLEITUNG

Die Ausbildung von Techniker/-innen, Ingenieur/-innen und Pilot/-innen in der Luftfahrt wird derzeit nach Vorgabe der Luftfahrtbehörden von zeitbasierten und inhaltszentrierten durch kompetenzbasierte Kurskriterien ersetzt [vgl.1]. Auf der Learning Analytics Konferenz 2020 haben Gehr und Dunagan [2] den von „The Boeing Company“ digitalen Ansatz zur Auswertung von über 2 Mio. gesammelten Datenpunkten vorgestellt. Sie zeigten auf, dass ein Big Data Ansatz zur gezielten Kompetenzfeststellung in der Aus- und Weiterbildung nur bedingt geeignet ist, wenn ohne ein dahinterliegendes adäquates Kompetenzmodell und entsprechendem Messverfahren Datenpunkte erhoben wurden. Die aufgeworfene Problemstellung hinsichtlich der Messung von Kompetenzen macht auch deutlich, dass selbst ein extrem großer Datensatz nur einen eingeschränkten Erkenntnisgewinn liefert, wenn die Diagnostik nicht erkenntnistheoretisch unterfüttert ist, was Knight und Buckingham Shum [3] für ein LA- bzw. KI-Arrangement fordern.

2. KOMPETENZORIENTIERUNG IN DER AUS- UND WEITERBILDUNG

Die Kompetenzorientierung im dualen System beruflicher Ausbildung im deutschsprachigen Raum geht auf die 1990er Jahre zurück [4]. Unabhängig davon war der schulische Teil der beruflichen Ausbildung zu Fluggerätmechaniker/-innen oder -elektroniker/-innen bis 2013 in Form eines Ausbildungsvollzugs nach EASA-Part 147 organisiert. Mit der Novellierung des Rahmenlehrplans der Fluggerätmechaniker/-innen und -elektroniker/-innen im Jahr 2013 wurde der zertifizierte Teil der Ausbildung in den Rahmenlehrplan integriert und die Lernmodule in den Lernfeldern aufgenommen, um eine modul- bzw. fächerübergreifende Kompetenzvermittlung zur Erlangung der CAT A nach EASA-Part 66 zu ermöglichen. Die Qualitätssicherung erfolgt zum einen durch die Verordnung zur Gestaltung des Schulverhältnisses (VOGSV) §26

Anlage 2 Nr.9 und zum anderen durch das Ablegen der Abschlussprüfungen Teil 1 und 2 bei der zuständigen Industrie- und Handelskammer. Die beruflichen Schulen nehmen durch diese Umsetzung eine Sonderrolle in der luftfahrzeugtechnischen Ausbildung ein. Darüber hinaus ist es weiterhin möglich über Part 147 Betriebe die CAT A, B und C Lizenz zu erlangen. Für den zivilen Teil der Aus- und Weiterbildung von luftfahrttechnischem Personal und Pilot/-innen wird die Kompetenzvermittlung und die Entwicklung von kompetenzorientierten Settings durch die PANS-TRG (Doc 9868, Third Edition, 2020) [5] definiert. Die Lernziele für den theoretischen Teil der Pilot/-innenausbildung sind im Syllabus nach EASA-FCL [6] aufgeführt. Die Voruntersuchung der aktuellen Lehrpläne und Modulbeschreibungen von Pilot/-innen und luftfahrzeugtechnischem Personal in welchem Umfang derzeitige Lehrpläne als Grundlage für KI- und LA-basierte Lernarrangements dienen können, führt in Bereiche heterogener, wenig konsistenter Unterlagen. Die Lehrpläne von Pilot/-innen sind kompetenzorientiert aufgebaut und bestehen aus der konkreten Benennung der Kompetenzen, deren Beschreibung und einer Zuordnung von beobachtbarem Verhalten (Bild 1: Kompetenzmodell der ICAO) und sind somit stark auf die praktische Handlung von Pilot/-innen fokussiert.

ICAO competency	Description	Observable behaviour (OB)
Communication	Communicate effectively in all operational situations	Selects communication mode that takes into account the requirements of the situation
		Speaks clearly, accurately and concisely
		Uses appropriate vocabulary and expressions to convey clear messages
		Uses standard radiotelephony (RT) phraseology
		Adjusts speech techniques to suit the situation
		Demonstrates active listening and provides feedback
		Uses plain language when RT phraseology does not exist or the situation requires it
Uses eye contact, body movements and gestures that are consistent with verbal messages		

Bild 1: Kompetenzmodell der ICAO

Ergänzend zu dem Kompetenzmodell veröffentlicht die EASA ein Syllabus über die zu erlangenden theoretischen Lernziele, bei der jedoch eine Zuordnung zu konkreten Handlungen nicht gegeben ist (Bild 2: Lernziele nach EASA-FCL).

Syllabus reference	BK	Syllabus details and associated Learning Objectives	Aeroplane	
			ATPL	CPL
021 05 00 00		FLIGHT CONTROLS		
021 05 01 00		Aeroplane: primary flight controls		
021 05 01 01		Definition and control surfaces		
(01)		Define a 'primary flight control'.	X	X
(02)		List the following primary flight control surfaces: — elevator; — aileron, roll spoilers, flap/ron; — rudder.	X	X
(03)		List the various means of control surface actuation including: — manual; — fully powered (irreversible); — partially powered (reversible).	X	X
021 05 01 02		Manual controls		
(01)		Explain the basic principle of a fully manual control system.	X	X

Bild 2: Lernziele nach EASA-FCL

Die Kompetenzen und zugehörigen Lernziele sind für den Ausbildungsberuf Fluggerätmechanik im Ausbildungsrahmenlehrplan [7] (praktischer Teil) und dem Rahmenlehrplan (theoretischer Teil) ausgeführt. Die Verknüpfung von Theorie und Praxis erfolgt nach Verordnung (EU) Nr. 1149/2011 Anhang III (Teil 66). Operatoren, wie z.B. analysieren, geben eine Indikation über das zu erreichende Kompetenzniveau (BILD 3: Rahmenlehrplan Fluggerätmechanik). Dabei sind verbindliche Inhalte in jedem Lernfeld kursiv aufgeführt. Wie umfassend Wissen ausgeprägt sein muss, um Lernende zu einer spezifischen oder variablen Handlung zu befähigen, ist nicht ausdefiniert. Es fehlt in diesem Ansatz auch eine konkrete Handlung, die dem Wissen zugeordnet sein sollte, sodass sichergestellt ist, dass die Erstellung von Aufgaben durch unterschiedliche Ausbilder/-innen zu ähnlichen Ergebnissen führen.

Lernfeld 91: Steuerungsanlagen für Luftfahrzeuge prüfen und instand halten	3. Ausbildungsjahr Zeitrichtwert: 80 Stunden
Die Schülerinnen und Schüler besitzen die Kompetenz, Komponenten und Systeme von Steuerungsanlagen für Luftfahrzeuge nach Vorgaben zu prüfen und instand zu halten.	
Die Schülerinnen und Schüler analysieren den Aufbau (mechanisch, hydraulisch, elektrisch), die Funktion und die Aufgaben von Steuerungsanlagen (Primär- und Sekundärsteuerung) und Instrumentensystemen (Dosen- und Kreiselinstrumente, elektronische Instrumentensysteme) für Luftfahrzeuge. Sie beschreiben Funktionen und Betriebsverhalten ausgewählter Bauteile und	

BILD 3: Rahmenlehrplan Fluggerätmechanik

Der Rahmenlehrplan lässt hinsichtlich der Umsetzung von angestrebten Kompetenzausprägungen in Lernarrangements so weite gestalterische Freiräume, dass diese einer Standardisierung unter qualitätssichernden Aspekten gegenüberstehen. Hingegen fehlen bei dem Kompetenzraster der ICAO [5] konkrete Zuordnungen zu den Wissensinhalten. Für die Pilot/-innenenausbildung hat die EASA beispielsweise die European Central Question Bank (ECQB) bereitgestellt, mit der die Wissens Ebenen abfragbar sind. Hier wäre die Ausgestaltung einer beobachtbaren Handlung (abgeleitet aus einem Handlungsprodukt) mit dem zugehörigen Wissen definiert und für ein wissens- und handlungsbasiertes Lernmanagementsystem (LMS) in Ansätzen nutzbar. Es fehlt jedoch eine genaue Zuordnung von spezifischen

Problemstellungen mit dem damit korrespondierenden Wissen, dem jeweils zugehörigen Können und den Handlungsprodukten. Sind diese Kriterien nicht definiert, ist eine Implementierung von LA- und KI-basierten System zwar möglich, die Rahmenbedingungen der Implementierung aber sind nicht trennscharf genug, sodass der Wissens- und Kompetenzerwerb nicht gezielt, sondern eher anekdotisch erfolgt.

2.1. Kompetenzvermittlung

In den Ausbildungen stehen – als Ergänzung der traditionellen Lernarrangements – digitale Lernumgebungen zur Kompetenzvermittlung in vielfältiger Weise bereit. Dabei ist das Lernen im Rahmen eines Competency Based Trainings (CBT) in der Ausbildung von Flugzeugsbetriebspersonal weitaus tiefer verwurzelt, als es beispielsweise in der beruflichen Ausbildung von Fluggerätmechaniker/-innen der Fall ist. Ein möglicher Grund hierfür liegt in der viel stärkeren Fokussierung auf die Leistungsüberprüfung (Assessment) von Flugbetriebspersonal mittels CBT. Ein Großteil der Aufgaben im Competency Based Training and Assessment (CBTA) stellen dabei Multiple Choice Fragen dar, mit denen eine Überprüfung von Kompetenzen jedoch nur bedingt möglich ist.

Im Bereich der dualen beruflichen Ausbildung ist die Entwicklung von digitalen Lernarrangements aus einer Vielzahl von Gründen dynamischer. So wurde seit der Novellierung des Rahmenlehrplans für Fluggerätmechaniker/-innen und -elektroniker/-innen ein Kompetenzmodell von Tenberg und Pittich [4] entwickelt, welches Handlungskompetenzen in die drei Dimensionen fachlich-methodische, sozial-kommunikative und personelle Kompetenzen gliedert. Um eine professionelle Handlung vollführen zu können, müssen Impulse gesetzt werden, in denen eine fallspezifische Integration der genannten Kompetenzen erfolgen muss. Durch den Einsatz von neuartigen hybriden Lernlandschaften [8] soll eine Kompetenzvermittlung in klassischen und digitalen Lernarrangements ermöglicht werden. Pittich und Ludwig [9] haben hierauf aufbauend eine Lernumgebung entwickelt, die eine solche Kompetenzentwicklung in einer schüler/-innenzentrierten Lernumgebung ermöglicht.

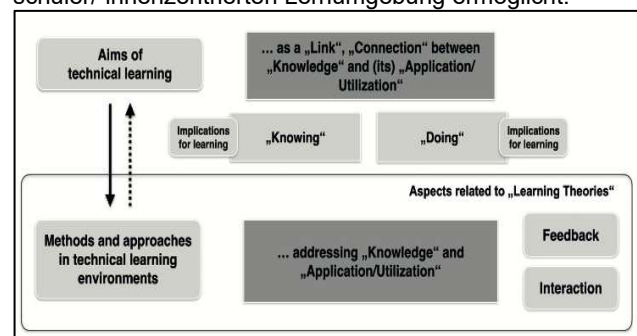


Bild 4: Core implications and framework for competence-orientated learning nach Pittich und Ludwig [9]

Das hinter einer Kompetenz liegende Wissen kann innerhalb dieses Setups durch die von Tenberg et al. [4] entwickelten Kompetenzdefinitionen mit dem Framework verknüpft werden und somit die notwendigen Wissens Ebenen für eine Kompetenz hinterlegen. Die Wissensexplikation ist für den Kompetenzerwerb von hoher Bedeutung. Je losgelöster das Wissen von einer Handlung vermittelt wird, desto größer ist die Gefahr, anstelle

verstandenen Handelns Versuch und Irrtum zu implizieren. Dies stellt sich (nicht nur) im Kontext flugtechnischer Ansprüche als fatal dar.

2.2. Wissensexplikation

Nach der PANS-TRG [5] erfolgt die Wissensexplikation beim Kompetenzerwerb über vier Arten. Das Aneignen von Fakten und Rohdaten wird hier dem deklarativen Wissen und einfache anwendungsorientierte Kontrollstrukturen dem prozeduralen Wissen zugeordnet. Gebildete Synthesen und Inferenzen zur Entscheidungsfindung, Problemlösung und Verhaltensteuerung werden unter dem Begriff des strategischen Wissens subsumiert. Adaptives Wissen wird nach diesem Konzept für Verallgemeinerungen, Innovationen und Erfindungen benötigt und ermöglicht so einen Transfer auf der Anwendungsebene (Bild 5: Transfermodell von Tenberg in Anlehnung an Renkl). Die beschriebenen Wissensarten finden sich in ähnlicher Weise im diesem Transfermodell wieder.

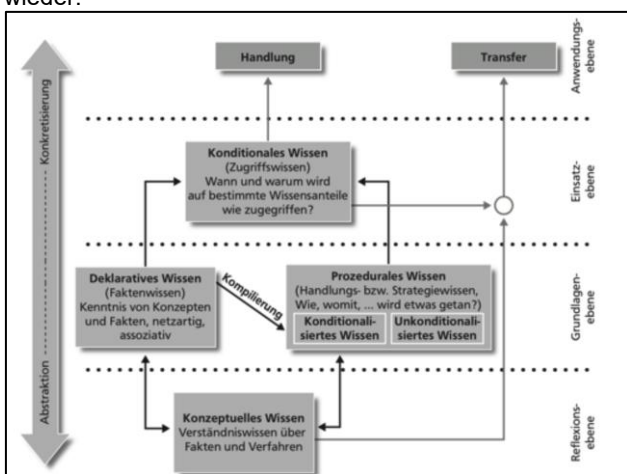


Bild 5: Transfermodell von Tenberg in Anlehnung an Renkl [4]

Tenberg [4] hat angesichts vielfältiger und nicht immer kongruenter Definitionen der von Renkl verwendeten angelsächsischen Begrifflichkeiten eigene, deutschsprachige Begriffe eingeführt. Dabei sind in das Sachwissen zentrale Aspekte des deklarativen Wissens aus unterschiedlichen Modellen eingeflossen, ebenfalls für das Prozesswissen, welches sich maßgeblich aus wesentlichen Facetten des prozeduralen Wissens ableitet. Das konzeptuelle Wissen wurde in das Reflexionswissen transferiert und repräsentiert auf einer Metaebene das anwendungs- und umsetzungsunabhängige Wissen, welches zwingend erforderlich ist, um in variablen Problemstellungen Handlungen vollführen zu können. Dies ist aus Bild 6: Integratives Modell beruflichen Handelns und Wissens nach Pittich [9] zu entnehmen. Hierin wird deutlich, dass Sach- und Prozesswissen sich in einer verkürzten Kompetenz abbilden, die nur spezifische Handlungen ermöglicht. Sollen Lernende jedoch für variable Handlungen qualifiziert werden, wird in Bezug zu Sach- und Prozesswissen das Reflexionswissen benötigt, mit dem ein Transfer von einer erlernten Problemlösung auf eine neue Problemstellung möglich wird.

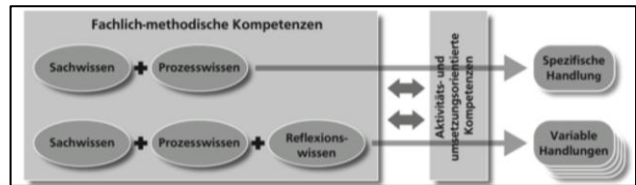


Bild 6: Integratives Modell beruflichen Handelns und Wissens nach Pittich [9]

Am Beispiel einer Flügelspitze (Wingtip) einer Tragfläche wird im folgenden Bild 7: Anwendungsbeispiel der Wissenssebenen nach [4] eine Umsetzung für das Sach-, Prozess- und Reflexionswissen dargestellt. Auf der Ebene des Sachwissens werden alle Bauteile an der Tragfläche begrifflich definiert und verortet. Im Bereich des Prozesswissens wird in diesem Beispiel die aerodynamische Güte berechnet, die unter anderem durch den Nullwiderstandsbeiwert $C_{D,0}$ beeinflusst wird. Das Reflexionswissen ermöglicht z.B. Pilot/-innen aus der aerodynamischen Güte die Geschwindigkeit für das beste Gleiten $(L/D)_{max}$ bei Ziellandeübungen oder Notsituationen auf unterschiedlichen Flugvarianten (A320 / A320neo) abzuleiten. Ingenieur/-innen können durch unterschiedliche Wingtip-Konfigurationen die Gleitzahl eines Flugzeugs in ein erforderliches Fenster verschieben. Mechaniker/-innen werden durch das Reflexionswissen über die Zusammenhänge der aerodynamischen Güte zu variablen Handlungen befähigt. Dieser Kompetenzzuwachs kann auf die Güte der Wingtip-Montage wirken, die Nachhaltigkeit (Kosten) im Montageprozess beeinflussen oder Mechaniker befähigen, Verbesserungsvorschläge einzubringen, die positiv auf eine Reduzierung der Widerstandsbeiwerte abzielen.

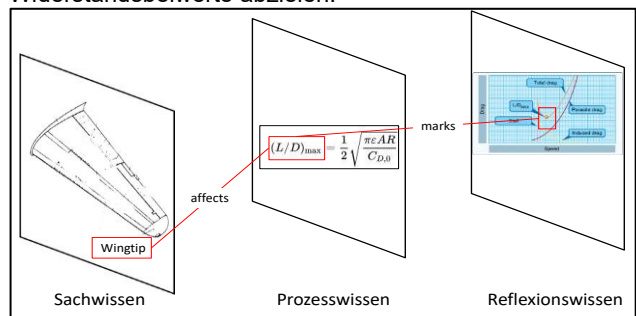


Bild 7: Anwendungsbeispiel der Wissenssebenen nach [4]

Die Verknüpfung der einzelnen Wissensarten erfolgt in diesem Beispiel durch Prädikate, wodurch sich gerichtete Zusammenhänge der einzelnen Konzepte (Wingtip, $C_{D,0}$, $(L/D)_{max}$) ergeben. Die Prädikate „beeinflussen“ (affects) und „kennzeichnet“ (marks) verknüpfen die einzelnen Konzepte und beschreiben somit ihre Semantik. In modernen Lernmanagementsystemen (LMS), in denen wie von [9] beschrieben, mediale und methodisch-didaktische Zugänge aktiviert werden sollen, muss für die Kompetenzvermittlung eine enge Verknüpfung von Wissen und Handlung erfolgen. Für die Generierung des benötigten Wissens haben sich wissensbasierte Systeme etabliert, mit denen die Vernetzung der oben erwähnten Wissenssebenen möglich ist. Die Aneignung von Wissen beim Bearbeiten von Problemstellungen im beruflichen Kontext erfolgt idealerweise im Rahmen einer vollständigen Handlung. Lernende durchlaufen bei einer vollständigen Handlung einen Zyklus aus Plan (Eingangsdiagnose, Aktivierung von Vorwissen, Individualisierung), Do (Individualisierte Lern-

und Erarbeitungsphasen), Check (Selbsteinschätzung und Expertensystem über den Lernzuwachs und den Arbeitsstand) und Act (Abschlusstest entspricht dem Eingangstest - Indikator für den Kompetenzzuwachs) (PDCA), wobei es unabhängig davon ist, ob es sich um ein Lernarrangement handelt, das projektartig oder mittels vollständiger Handlung umgesetzt ist. In beiden Fällen haben sich die Lernenden nach einem PDCA-Zyklus neues Wissen in den drei genannten Wissensarten angeeignet und ein Handlungsprodukt erstellt, anhand dessen eine Kompetenzdiagnostik möglich ist.

2.3. Kompetenzdiagnostik

Die Wissensaneignung und die Erstellung von Handlungsprodukten bedingen sich somit im Kontext zeitgemäßen beruflichen Lernens bei der Bewältigung von Problemstellungen. Eine daran angedockte Kompetenzdiagnostik kann grundsätzlich in zwei prototypischen Ansätzen erfolgen [10]. Zum einen durch das Operationalisieren und Erfassen nach außen hin durch sichtbare berufliche Handlungsprodukte, die sich über den Erstellungszeitraum hinweg mittels einer formativen, nach Fertigstellung des Handlungsproduktes durch eine summative Diagnostik oder in Kombination beider Diagnostikarten untersuchen und bewerten lassen. Zum anderen durch das Ermitteln von Wissen und Dispositionen (affektiv / emotionales, metakognitives, kognitives System), mit denen Problemstellungen gelöst werden. Im beruflichen Lernen können in diesem Zusammenhang nach Tenberg et al. [4] vor allem fachlich-methodische Kompetenzen diagnostiziert werden. Neben unbewerteten Diagnosen in Form eines Eingangstests einer Lernsituation werden in der Berufsschule zur Erlangung der CAT A Voraussetzungen überwiegend schriftliche Arbeiten, ergänzt um Klausurersatzleistungen, als Leistungsnachweis erbracht. Der Trans-Trg [5] nach können Kompetenzen auf motorischer, kognitiver und metakognitiver Ebene nachgewiesen werden und zeigen somit eine hohe Schnittmenge mit den vorgestellten Kompetenzebenen für das berufliche Lernen auf. Jedoch unterscheidet sich die diagnostische Umsetzung stark von den Leistungsnachweisen in einer Berufsschule oder einer Hochschule. Die Prüfungen bei den Luftfahrtbehörden werden am Computer durchgeführt und bestehen in einigen Ländern komplett aus Multiple Choice Aufgaben, in denen die diskutierten Wissens Ebenen geprüft werden.

2.4. LA- und KI-basierte Systeme

LA- und KI-basierte Systeme wurden in den Anfängen der Digitalisierung in den 1980ern als lokale Anwendungen auf Rechnern verwendet, deren Leistungsfähigkeit noch stark beschränkt war. Ziel war es schon damals, durch digitale

Unterstützungsmaßnahmen in Lernprozesse intendierte Lernergebnisse von Lernenden zu verbessern. Hierin gründen sich die Anfänge von KI-basierten Systemen in der Bildung, die mittlerweile kompetenzorientierte Echtzeitanalysen in Flugsimulatoren durchführen, um die Leistungsfähigkeit von Pilot/-innen bei Flugmanövern zu bewerten. Das allgemeine Ziel von KIs in der Bildung ist das Abbilden und Vorhersagen von Lernprozessen und deren Ergebnissen. Rienties et al. [11] definiert neben dem KI-Ansatz in Bildung drei weitere Schwerpunkte, in denen digitales Lernen erfolgt. Durch computerunterstütztes kooperatives Lernen werden Lernprozesse analysiert, bei denen klassische Arrangements durch computergestütztes Lernen (Blended-Learning) ergänzt und die Vorteile von Präsenzveranstaltungen und E-Learning genutzt werden. Bei computerunterstützten kooperativen Lern-Implementierungen stehen eher personelle Kompetenzen wie selbstorganisiertes Lernen, Kommunikation oder auch Zusammenarbeit im Fokus der Forschung. Der dritte Schwerpunkt liegt im Educational Data Mining (EDM), bei dem z.B. in sehr großen und offenen Onlinekursen (MOOCs) erhobene Daten in explorativer Weise algorithmisch analysiert werden. Bei diesen Implementierungen werden Daten geclustert, klassifiziert, nach Ausreißern und Assoziationen gesucht, Muster verglichen oder auch Textmining betrieben, um Lernenden ein Feedback über den Lernfortschritt zu geben und Ausbildern den aktuellen Lernstand aufzuzeigen. Der vierte Schwerpunkt verfolgt das Ziel, Lernprozesse zu verbessern und nutzt aus den drei vorher genannten Bereichen viele Teilpartikel, wie z.B. das maschinelle Lernen. Learning Analytics (LA) ist ein Forschungsfeld aus dem Bereich Big Data Analytics [12]. Durch den Einsatz von neuer Technologie werden große Datenmengen im Bezugsrahmen Lehre und Lernen gemessen, gesammelt, ausgewertet und visualisiert [13].

Für die Auswertung mittels Big Data Analytics sind große Datenmengen notwendig. In Bild 8: The Learning Efficiency of analytics with respect to time (Source: Adapted from [15]) ist der zeitliche Ablauf einer Learning Analytics Anwendung visualisiert. Der Schwierigkeitsgrad einer Implementierung erstreckt sich von Descriptive Analytics, über Predictive Analytics und Prescriptive Analytics bis zur Diagnostic Analytics.

Descriptive Analytics

Berger und Doban [14] skizzieren, wie mittels Data Mining ein „digitaler Fußabdruck“ nutzbar gemacht wird und aus ihm Erkenntnisse über ein Ereignis durch einen Blick auf die Vergangenheit gewonnen wird.

In dem deskriptiven Teil werden die Daten des Lernenden aufbereitet und z.B. mit einer Expertenlösung verglichen.

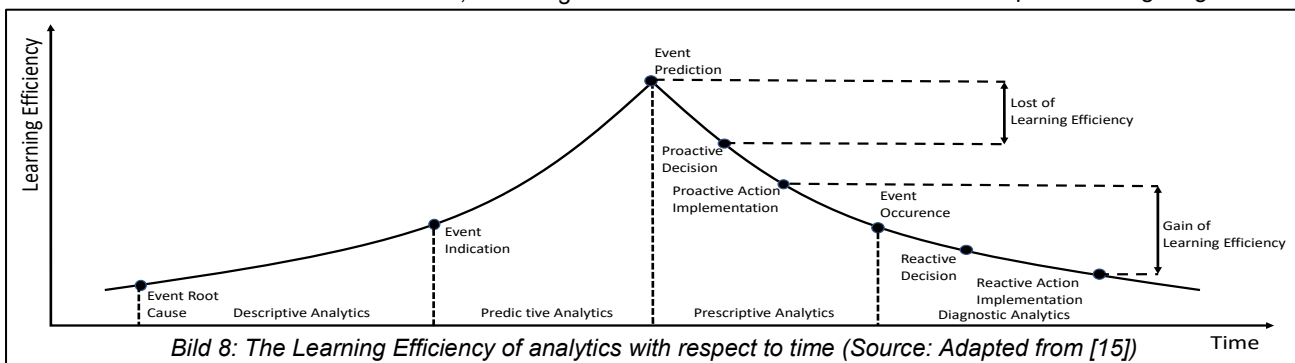


Bild 8: The Learning Efficiency of analytics with respect to time (Source: Adapted from [15])

Predictive Analytics

Im prädikativen Teil wird eine Vorhersage getroffen, inwieweit das Lernergebnis passend sein wird. Weiterhin skizzieren Berger und Doban [14], wie durch das Nutzen von Berechnungsmodellen die Vorhersage von Ereignissen erfolgt. Krumeich et al. [15] beschreiben den Begriff „Predictive Analytics“ anhand einer Grafik als ein Vorgehen, das aus erhobenen Daten Ereignisse identifiziert und vorhersagt, sodass eine notwendige Entscheidung mit Hilfe von Algorithmen unterstützt werden kann. Lepenioti et al. [16] erweitern diese Grafik hinsichtlich der zeitlichen Abfolge, so dass die „Descriptive Analytics“ der „Predictive Analytics“ vorgelagert ist.

Prescriptive Analytics

Lepenioti et al. [16] definieren „Prescriptive Analytics“ als eine Möglichkeit, ein Ereignis durch das Anbieten von Entscheidungsoptionen möglich werden zu lassen. Im präskriptiven Teil werden dem Lernenden Vorschläge gemacht, wie er weiterarbeiten muss, um einer Expertenlösung möglichst nahezukommen. Der Verlust an Lerneffizienz resultiert aus der Entscheidungsdauer eines Lernenden zwischen der Ereignisvorhersage und proaktiver Entscheidung.

Diagnostic Analytics

Nach Abschluss von komplexen Aufgaben wird nach Gründen für Fehler/Abweichungen gesucht. Hierfür werden sowohl deskriptive als auch diagnostische Verfahren genutzt. Nach dem Modell der vollständigen Handlung werden die Phasen Informieren, Planen, Entscheiden, Kontrollieren und Bewerten [vgl.17] bzw. in dem PDCA-Zyklus die Phasen Plan, Do, Check, Act durchlaufen. Die Arbeits-/Lösungsprozesse werden idealerweise mit einem Erwartungshorizont verglichen. So können die Ursachen von Abweichungen gesucht und identifiziert werden. Das angepasste Modell der Analytik Bild 8: The Learning Efficiency of analytics with respect to time (Source: Adapted from [15]) fokussiert die abschließende Diagnostik, in der sowohl ein Blick in die Vergangenheit ermöglicht als auch die Frage nach den Gründen zu Abweichungen zugelassen wird.

3. PROBLEMSTELLUNG

Die Abbildung von Lernprozessen und deren Auswertung in Echtzeit mittels Datenpunkten innerhalb der oben beschriebenen Arrangements stellen die Entwickler/-innen von KI- und LA-basierten Systemen vor große Herausforderungen, da Lernen ein höchst individueller Vorgang ist. Anspruchsvolles Lernen erfolgt generell in einem sehr variablenreichen Umfeld. Ist die Rahmensgebung von Unterrichtsinhalten und -umsetzung auf Makro-Ebene überwiegend statisch, so wird die Umsetzung über die Meso-Ebene bis hin zur Mikro-Ebene immer dynamischer. Eine Wiederholung der Unterrichtseinheit unter denselben Rahmenbedingungen ist nicht möglich, da das Auditorium pertubiert und bereits Vorwissen erworben wurde. Es ist nur bedingt darstellbar, ob die Anpassung des Arrangements oder das erworbene Vorwissen eine mögliche Signifikanz erzeugt haben. In Simulatoren oder auch Virtual Realities lassen sich im Gegensatz zu einem klassischen Unterrichtsgeschehen die externen Parameter auf vorher definierte Werte setzen, mit denen gelernt werden kann. Allerdings birgt auch „der Faktor Mensch“ vielfältige, nur bedingt kontrollierbare

Variablen. Vorgänge und Ergebnisse sind somit stark abhängig von der individuellen Tagesform der jeweiligen Lernenden und Lehrenden. Wird ein angepasster Unterricht bei einem veränderten Auditorium wiederholt, ergibt sich die Problematik, dass das Auditorium mit Lernenden besetzt ist, die über andere Dispositionen verfügen als das zu vergleichende Auditorium. Diese Problematik wird durch den Einsatz von quantitativen Forschungsmethoden eingegrenzt. Innerhalb von Quer- u. Längsschnittstudien sollen durch eine hohe Teilnehmendenzahl an den Experimenten die Auswirkungen von statistischen Ausreißern minimiert werden, um so Aussagen über eine mögliche Wirksamkeit von Anpassungen tätigen zu können. Experimentelle Forschungsansätze im Bereich von KI- und LA-basierten Systemen verfolgen ebenfalls den Ansatz, durch eine hohe Stichprobenanzahl [N] statistische Ausreißer zu mindern. Tenberg et al. [4] sehen das skeptisch und führen mehrere Argumente an, warum Ergebnisse aus der quantitativen Wirkforschung selten den Weg in die didaktische Praxis finden. Zentral ist hier die Diskrepanz zwischen verallgemeinerten Effektaussagen und individuellen Lernprozessen. Sie empfehlen daher, quantitativ abgestützte Befunde durch qualitative Ansätze zu spezifizieren. Die Einzigartigkeit von Lerngruppen stellt somit eine große Herausforderung in der Lehr-Lern-Forschung dar und bedarf einer experimentellen Umsetzung, in welcher zusammenhängend quantitative und qualitative Aspekte erhoben und ausgewertet werden können.

3.1. Transferbarkeit von Studienergebnissen

KI- und LA-basierte Systeme werden in einer Vielzahl von Anwendungen umgesetzt. Aussagen über die Wirksamkeit von Implementierungen sind für die Übertragbarkeit auf ein zukünftiges smartes Lernmanagementsystem von hoher Wichtigkeit. Neben den quantitativen Gütekriterien (Validität, Reliabilität und Objektivität) ist die Frage nach den forschungsmethodischen Zugängen ebenfalls von Bedeutung. Es ergeben sich somit die Forschungsfragen:

FF 1: Wie werden die Gütekriterien innerhalb der Forschungsvorhaben umgesetzt?

FF 2: Mit welchen forschungsmethodischen Zugängen wurden die Anwendungen untersucht?

3.2. Kompetenzorientierung

Die Novellierung der Aus- und Weiterbildung von Pilot/-innen und luftfahrttechnischem Personal hin zu einer kompetenzorientierten Umsetzung muss sich somit auch in entsprechenden Implementierungen wiederfinden und führt zur Forschungsfrage

FF 3: Wie erfolgen Wissensexplikation, Kompetenzvermittlung und -diagnostik in LA- und KI-basierten Lernarrangements?

3.3. Curriculares Setting

Mit der Veröffentlichung der aktuellen PANS-TRG ist ein moderner curricularer Ansatz veröffentlicht worden, der einem fast zehn Jahre altem Rahmenlehrplan gegenübersteht. In diesem Spannungsfeld ergibt sich die Forschungsfrage

FF 4: Wie können die aktuellen Lehrpläne als Grundlage für KI- und LA-basierte Lernarrangements dienen?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein Review nach Kitchenham [18] durchgeführt, die Literatur hinsichtlich der Fragestellungen untersucht und in eine Codiermatrix überführt. Basierend auf dem bereinigten Datensatz wurden Keyword- und Machine Learning-Analysen vorgenommen. Anschließend erfolgte eine tiefgehende Analyse der Lehrpläne für den Ausbildungsberuf der Fluggerätmechanik hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für die Entwicklung von LA-Lernarrangements.

4. SYSTEMATISCHES LITERATURREVIEW

Eine Literaturrecherche (Erhebung Juli 2021) in den wissenschaftlichen Datenbanken IEEE Xplore, ERIC, Web of Science, ACM Database, Science Direkt und Wiley Online Library zu der Thematik LA resultiert in 258 Treffer, die in ihrem Titel die Keywords „review“ AND „learning analytics“ enthalten.

Insgesamt wurden durch den Einsatz von smarten Gruppen in Endnote aus den 258 Reviews vier identifiziert, die „Learning Analytics“ thematisieren und im Kontext der beruflichen Bildung stehen [19-22]. Aus dieser Menge heraus ergeben sich zwei Reviews, die im Bereich Health / Medical verortet sind. Die nachfolgenden zwei Reviews sind zusätzlich mit dem Keyword „competenc*“ markiert. Das Review von Gedrimiene et al. [22] thematisiert dabei nur kurz den Aspekt der Kompetenz. Oliva-Córdova et al. [23] gehen in ihrem Review ausführlich auf die Kompetenzen von Lehrenden ein. Neben dem Review von Oliva-Córdova et al. [23] wurden vier weitere Reviews [24-27] gefunden, die zwar pädagogische Aspekte thematisieren, sich jedoch auf die akademische Bildung konzentrieren. Es konnte durch die Datenbanksuche kein Review gefunden werden, dass die drei Keywords:

*Learning Analytics, competenc** und *vocational education / technical training* im Titel tragen bzw. alternativ eine Kompetenzorientierung intensiv thematisiert.

4.1. Methodisches Vorgehen

Aufgrund der geringen Anzahl an Veröffentlichungen im Themenfeld LA in der beruflichen Bildung und Kompetenzdiagnostik wurde eine tiefgehende Voruntersuchung bezüglich der zu sichtenden Literatur unternommen. Die Datenbanken sollten den technischen (IEEE Xplore) und den pädagogischen Schwerpunkt (ERIC) abdecken, es sollte aber auch eine Allgemeingültigkeit erhalten bleiben, weshalb auch Datenbanken wie ACM, Web of Science, Science Direct, Wiley Online, DOAJ und JSTOR einbezogen wurden. Um einen ersten Überblick über die Thematik zu erlangen, wurde zunächst eine Datenbank-Suche mit dem folgenden Bild 9: Such-Ausdruck getätigt:

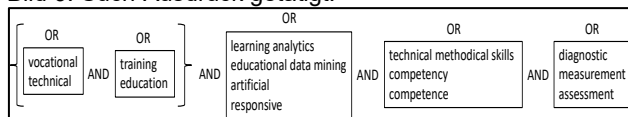


Bild 9: Such-Ausdruck

Ein möglicher Suchausdruck aus den obigen Kombinationsmöglichkeiten ergibt sich zu:

technical - training - artificial - competency - assessment

Eine Ergänzung des Suchausdruckes um das Wort *Pilot* im ersten ODER-Block lieferte keine nutzbaren Ergebnisse, weshalb der Begriff wieder herausgenommen wurde, um die Suchabfrage so einfach wie möglich zu halten.

Da die Suche nach Veröffentlichungen mit den genannten Kriterien zu wenige Treffer generierte, wurden die Suchfelder von „Title“ auf „any Field“ erweitert, sodass alle Veröffentlichungen einbezogen werden, die die drei Kriterien erfüllen. Nach der Sichtung und dem Erlangen eines ersten Überblicks wurden die Ergebnisse auf peer-reviewed Journale reduziert.

Für die Journal-Recherche wurde ein gemischter Ansatz aus den PRISMA-Prinzipien von Moher et al. [28] und dem systematischen Vorgehen nach Kitchenham et al. [18] umgesetzt. Von den 155 Suchergebnissen blieben nach der ersten Sichtung sechs Artikel [29-34], die im Titel die Keywords „learning analytics“ und „competenc*“ enthalten, bei denen aber der berufliche Bezug fehlt.

Die Sichtung der Datenbankergebnisse lieferte neben den sechs Artikeln eine erste Einteilung in technische und didaktische Ausrichtungen.

4.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Haupteinschlusskriterien

Um den qualitätssichernden Aspekten von Kitchenham et al. [18] zu entsprechen wurden nur peer-reviewed Journale einbezogen. Die Auswahl der Journale erfolgte anhand des Scimagojr (SJR)-Ranking und des H5-Index nach google scholar metric. Der Schwerpunkt der Journale liegt auf den Kategorien Bildung und Lernen in Verbindung mit Computern. Zu begründen sind die Journale, die in ihren Kategorien nicht zu den ersten Quartilen gehören, aber dennoch als Quelle genutzt werden. Hierbei handelt es sich um Journale, die aufgrund ihrer thematischen Ausrichtung sehr passend sind, oder aber Rückschlüsse für die Beantwortung der Forschungsfragen zulassen. Da sich die Kompetenzmessung auf die technisch berufliche Bildung fokussieren soll, liegt es nahe, dass ein Ergebnistransfer aus der Ingenieurs-Ausbildung möglich ist. Das Journal of Learning Analytics hat sich, mit dem Ziel das Lernen zu verbessern, auf das Sammeln, Analysieren und Berichten von Daten spezialisiert, und kann somit einen Beitrag zur Forschungsfrage Kompetenzmessung leisten.

Der Titel eines Artikels muss mindestens eines der drei Schlagworte („learning analytics“, „competenc*“, „assessment“) erfüllen, sodass für die Auswertung mittels deduktiven Vorgehens vom Allgemeinen auf das Spezielle in der beruflichen Bildung geschlossen werden kann.

Hauptausschlusskriterien

Da Konferenzbeiträge, Bücher, Dissertationen und Habilitationen nicht einer journalähnlichen peer-review-Systematik unterliegen, werden diese nicht mit in die Suche einbezogen, da ihre wissenschaftliche Güte nicht unabhängig begutachtet wurde. Die Artikel sollten entweder englisch- oder deutschsprachig sein. Idealerweise aber englischsprachig, da so eine erhöhte Zugänglichkeit für nicht deutschsprachige Leser/-innen dieses Artikels möglich ist. Da die Datenlage zur Thematik schmal ist, konzentrieren sich die Ausschlusskriterien auf formale Parameter.

4.3. Suchstrategie Journal

Im Rahmen des Reviews wurden in den Journalen Computers & Education, Teaching and Teacher Education, British Journal of Educational Technology, Educational Technology Research and Development, Journal of Computer Assisted Learning, Australasian Journal of Educational Technology, Journal of Engineering Education, Journal of the Learning Sciences und Journal of Learning Analytics mittels Such-Ausdruck nach Veröffentlichungen recherchiert. Die Auswahl fiel auf diese Journale, da deren Veröffentlichungen überwiegend didaktische und technische Aspekte integrieren. Die Recherche in den jeweiligen Datenbanken der Journale lieferte insgesamt 174 Ergebnisse.

4.4. Suchstrategie Datenbanken

Durch die vorangestellte Datenbanksuche soll durch das systematische Vorgehen das „risk of bias“, wichtige Studien zu übersehen, reduziert werden. Darüber hinaus wird sichergestellt, dass peer-reviewed Artikel mit einbezogen werden, die nicht in den genannten Journalen aufgelistet sind, aber dennoch die Einschlusskriterien erfüllen. Die unterschiedlichen Such-Ausdrücke ergeben sich aus Anpassungen, um die Vorgaben der jeweiligen Datenbank zu erfüllen (Wildcard, max. Zeichenanzahl, etc.).

4.5. Studienauswahl

Die Reduktion der Funde wurde mittels PRISMA Flow Chart durchgeführt (Bild 10: PRISMA-Diagramm).

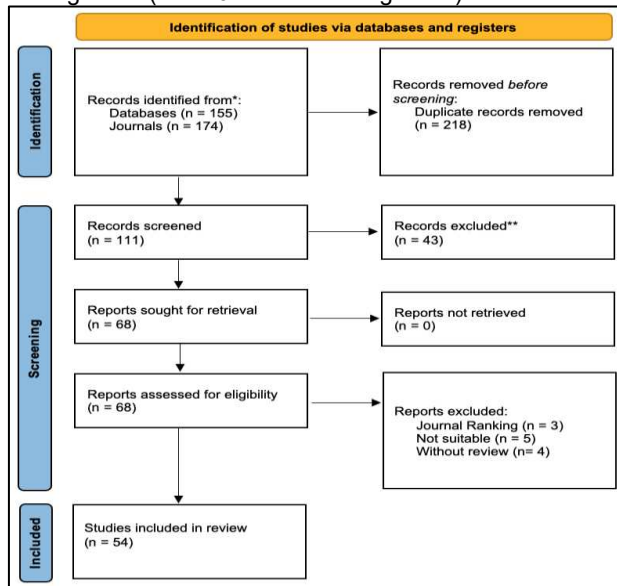


Bild 10: PRISMA-Diagramm

Die ausgewählten Studien werden mittels Codier-Matrizen ausgewertet.

4.6. Aufbau der Codier-Matrix

Über die gefundenen Daten wird im Anschluss eine inhaltliche Auswertung vorgenommen. Die PANS-TRG [5] führt die Erstellenden von Competency-Based Trainings and Assessments (CBTAs) mittels eines Leitfadens durch die notwendigen Entwicklungsphasen und verweist bei der Erstellung von Lernarrangements auf das Instructional System Design (ISD). Dabei werden die Entwickler/-innen

von Lernarrangements mittels ihres ISD-Leitfadens durch die einzelnen Phasen Analyse, Konzeption, Entwicklung, Implementierung und Evaluierung (ADDIE) geleitet.

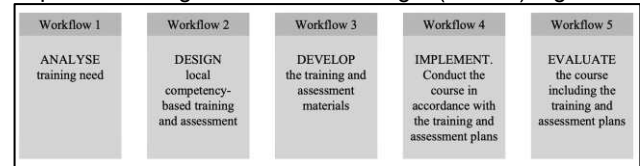


Bild 11: Competency-based training and assessment workflows nach [5]

In der PANS-TRG sind im Kapitel „Principles of competency-related training and assessment“ insgesamt zehn Kriterien definiert, die für die Arbeitsschritte 1 bis 5 zu beachten sind (Bild 11: Competency-based training and assessment workflows nach [5]). Der Nachweis über das Vorhandensein einer Kompetenz muss hierbei den Kriterien Validität und Reliabilität der Trainings und Assessmentimplementierung genügen (vgl. PANS-TRG 2.2.7). Der Einsatz einer KI zur Verbesserung der Performance in Simulatoren und die Implementierung von LA-Anwendungen in einem Lernmanagementsystem müssen somit aus Sicht der Qualitätssicherung die genannten Anforderungen erfüllen, um einem Zertifizierungsprozess erfolgreich zu durchlaufen. Neben den Aspekten der Zertifizierung ist aus forschender Sicht ein Nachweis durch qualitative und/oder quantitative Gütekriterien notwendig, sodass Aussagen über eine erfolgte Messung einer kritischen Prüfung standhalten. Dabei muss eine experimentelle Studie generell objektiv, reliabel und valide sein [35].

Validität

Validität in quantitativen Forschungsvorhaben wird in drei Hauptarten unterteilt [35]:

1) Inhaltsvalidität

Die inhaltliche Validität untersucht die Deckung von Testitem und Messwert. Hierbei wird darauf abgezielt, Inhalte eines entwickelten Modells (z.B. eine Kompetenz) umfassend und vollständig zu erfassen. Die Messung des theoretischen Konstrukts (Handlungsprodukt) erfolgt über Indikatoren. Objektiv messbar in einer Erhebung sind Attribute wie Alter und Beruf. Dem gegenüber sind Einstellungen oder Lernstile nur indirekt messbar. Die Erhebung von subjektiven Kriterien gelingt nur durch eine entsprechende Überföhrungsfunktion, mit deren Hilfe die Messung auf einer ordinalen Skala verortet werden können.

2) Kriteriumsvalidität

Durch die kriterienbezogene Validität wird die Deckung von anderen relevanten Kriterien (Außenkriterium) mit einem Testergebnis untersucht. Die Messung von Sach-, Prozess- und Reflexionswissen sollte sich auf eine spezifische oder variable Handlung (Kompetenz) abbilden lassen.

3) Konstruktvalidität

Mit der Konstruktvalidität ist es möglich, Hypothesen aus einem Zielkonstrukt abzuleiten, wenn die Messung von Indikatoren tatsächlich die Aspekte eines Konstrukts misst.

Validität als Codier-Kriterium

Die Konstruktvalidität ist somit für die Bewertung von Hypothesen von hoher Bedeutung. Zugleich ist eine Trennschärfe von Testitem und Messwert erforderlich, um überhaupt eine Aussage hinsichtlich einer Hypothese tätigen zu können [36]. Aussagen über eine kriterienbezogene Validität lassen sich nur schwer realisieren, da das Abbilden von relevanten Kriterien auf ein Testergebnis nur indirekt erfolgen und somit fehlerbehaftet sein kann.

Reliabilität

Dem Gütekriterium Reliabilität wird eine Auswertung gerecht, wenn eine zum Setup passende Testart umgesetzt wird [37]. Der Reliabilitätskoeffizient ρ ergibt sich aus dem Verhältnis von wahren Unterschieden τ und beobachtbaren Unterschieden (X):

$$(1) \rho = \frac{\text{Varianz}(\tau)}{\text{Varianz}(X)}$$

Die gängigste Möglichkeit zum Nachweis von Reliabilität erfolgt durch die Bestimmung der internen Konsistenz mittels tau-äquivalenter Reliabilität (ρ_T). Für die Berechnung der Reliabilität (ρ_T) wird die Summe aus (k) Indikatoren der Varianzen (σ^2) der Testitems (i) und der Varianz des Testergebnisses (σ_X^2) benötigt.

$$(2) \rho_T = \frac{k}{k-1} * (1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_X^2})$$

Für größere Stichproben ($N > 200$) bei kovarianzbasierten Ansätzen [38] bietet sich zum Überprüfen von Hypothesen das Strukturgleichungsmodell an. Die kongenerische Reliabilität (ρ_C) ergibt sich aus der Faktorladung (λ_i) der Indikatoren (i) und der Varianz des Testergebnisses (σ_X^2).

$$(3) \rho_C = \frac{(\sum_{i=1}^k \lambda_i)^2}{\sigma_X^2}$$

Für die Einschätzung, ob ein Messmodell in einem KI- oder LA-basierten System nutzbare Aussagen trifft, ist somit die Reliabilität neben der Konstruktvalidität von hoher Bedeutung. Die Codier-Matrix wird um die Punkte Stichprobengröße und Reliabilität erweitert.

Objektivität

Die Objektivität innerhalb eines Forschungsvorhabens zielt auf die Einschätzung von Messwerten durch die Forschenden ab (Intra- und Interindividuelle Objektivität) und den drei Aspekten der Auswertungsobjektivität (maschinell, menschlich, hybrid), der Durchführungsobjektivität (Unabhängigkeit von Versuchsdurchführenden) und der Interpretationsobjektivität (Unabhängigkeit von Interpretierenden) [36]. Für die Einschätzung eines Forschungshabens werden mittels Codier-Matrix die Auswerteobjektivität untersucht werden, da hierin Indikatoren über die Unabhängigkeit der Auswertung liegen.

Forschungsmethodischer Zugang

Neben den drei Gütekriterien (Validität, Reliabilität, Objektivität) soll durch die Codier-Matrix der forschungsmethodische Zugang untersucht werden, um Befunde hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf ein smartes Lernmanagementsystem zu überprüfen.

Kompetenzorientierung

Als weiteres Kriterium stellt der Aspekt der Messung im Kontext der Kompetenzorientierung dar. Dieses Kriterium wird nochmals in drei Teilaspekte unterteilt (was, wie und warum wurde gemessen), sodass die Forschungsfrage 3 nach der Wissensexplikation, Kompetenzvermittlung und Diagnostik beantwortet werden kann. Zusätzlich wurden im Kontext der Kompetenzorientierung das unterrichtliche Setup hinsichtlich didaktisch-methodischer Bezüge und dem technologischen Setup untersucht, in dem KI- und LA-basierte Systeme den Kompetenzerwerb unterstützen sollen.

Die Forschungsfrage 4 nach der curricularen Rahmensgebung, mit der KI- und LA-basierte Lernarrangements umgesetzt werden können, wird nicht über die Codier-Matrix beantwortet. Hier erscheint die Analyse des aktuellen Rahmenlehrplans zielführender.

5. BEFUNDE

Die folgenden Befunde ergeben sich aus der Literaturliste, in denen die 54 gefundenen wissenschaftlichen Aufsätze anhand der obigen Kriterien analysiert wurden. Hierfür wurden die allgemeinen Informationen zum Artikel (Autor/-innen, Veröffentlichungsjahr und Titel) übernommen. Die Kategorie *unterrichtliches Setup* teilt sich in die *didaktisch-methodischen Bezüge* und das *technologische Setup* auf, die Kategorie Forschungsmethode in die Unterkategorie *Zugänge* und *Methoden* und, wie oben beschrieben, die *Validität, Reliabilität* und *Objektivität*.

5.1. Transferierbarkeit von Studienergebnissen

FF 1: Wie werden die quantitativen Gütekriterien innerhalb von Forschungsansätzen umgesetzt?

Die Auswertung (Bild 12: Auswertung nach Gütekriterien) zeigte ein sehr divergentes Bild in Bezug auf die Einhaltung empirischer Gütekriterien.

Anzahl	Interne Validität		Kontrollgruppe	Externe Validität		Reliabilität		Objektivität	
	Pre-Test	Post-Test		Generalisierung	Grad der Zuverlässigkeit	maschinell	menschlich		
50	-	+	-	-	-	-	-	+	+
65	+	+	-	-	-	-	-	+	+
55	-	+	#	-	-	-	-	-	+
116	-	+	+	-	-	-	-	-	+
74	-	+	-	+	-	-	-	+	+
339	-	+	-	-	-	-	-	+	-
302	-	+	-	-	-	-	-	+	-
173	-	+	+	-	-	-	-	+	-
389	+	+	-	+	-	-	-	+	-
661	+	+	-	+	+	-	-	+	-
11	+	+	-	-	-	-	-	+	-
10	+	+	-	-	-	-	-	+	+
74	-	+	+	-	-	-	-	+	-

Bild 12: Auswertung nach Gütekriterien

Im Bereich der Validität fehlt oftmals die Implementierung von einem Pre-Test bei einem Treatment, um inhaltliche oder strukturelle Fehlerquellen zu identifizieren. Wurde bei der Implementierung die Deckung von Testitem und Messung nicht durch einen Pre-Test überprüft, so ist die inhaltliche Validität nur bedingt erfüllt. Fehlerhafte Implementierungen gehen somit direkt in die Bewertung der aufgestellten Hypothesen mit ein und verhindern eine verlässliche Falsifizierung der aufgestellten Hypothesen. In den seltensten Fällen wird ein Arrangement auf eine Kontrollgruppe übertragen, um hier z.B. statistische Ausreißer ausschließen zu können und eine

Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Eine Generalisierung ermöglicht somit über die Grenzen des Implementierungsspektrums hinaus Aussagen über die Gültigkeit der erhobenen Daten und über die Validität des entwickelten Arrangements. In den wenigsten Fällen werden die Setups im Hinblick auf ihre Reliabilität hin untersucht. Oftmals ist die Stichprobenanzahl N sehr gering, sodass nur die tau-äquivalente Reliabilität berechnet werden kann. Der ideale Bereich für eine Berechnung der kongenerischen Reliabilität sollte nicht unter $N = 200$ liegen; idealerweise jedoch bei $N > 800$. Diese Größenordnung ist für Lernarrangements im beruflichen Kontext nur schwer erreichbar. Auch wenn die Faktorladung bei Indikatoren in der Realität oft nicht gleichverteilt ist, so liefert die Berechnung für kleine N durch die tau-äquivalente Reliabilität doch eine brauchbare Aussage über die Reliabilität, da die untere Schranke bei einer falsch angenommen Gleichverteilung niedriger und somit in der Realität die Reliabilität höher ist. Die quantitativen Erhebungen über ein digitales Setup erfolgten zumeist durch eine maschinelle Auswertung. In den wenigsten Fällen werden die maschinellen Auswertungen noch um eine menschliche Auswertung ergänzt (hybrides Auswertesetup). Durch den Einsatz von Mixed-Methods-Auswertungen sollen die quantitativen Befunde durch eine qualitative Auswertung untermauert werden. In ganz wenigen Fällen werden die erhobenen Daten nicht maschinell ausgewertet und die Bewertung des Setups erfolgt durch eine qualitative Auswertung.

FF 2: Mit welchen forschungs-methodischen Zugängen wurden die Anwendungen untersucht?

Die Funde lassen sich in die forschungsmethodischen Schwerpunkte deskriptive quantitative, effektorientierte quantitative und explorative Ansätze, in die Handlungsforschung, die Kasuistik, kombiniert qualitative und quantitative Zugänge und Reviews unterteilen (Bild 13: Implementierte Forschungsmethoden). Dabei nehmen die gefundenen Reviews eine Sonderrolle ein, da sie Wissen und Erkenntnisse aus verschiedenen Quellen zusammentragen und hierdurch den aktuellen Stand der Forschung zu einem Themengebiet aufzeigen. Der zweite Schwerpunkt liegt in den effektorientierten quantitativen Ansätzen. In diesen Forschungsvorhaben werden in unterrichtlichen Arrangements die entwickelten KI- und LA-basierten Setups implementiert und auf den Lerneffekt hin untersucht. Unter dem Begriff „deskriptive quantitative Ansätze“ sammeln sich Forschungsvorhaben, bei denen die digitalen Setups Theorien (z.B. selbstreguliertes Lernen) untersuchen. In den qualitativ forschungsmethodischen Schwerpunkten werden zum einen explorative Ansätze und zum anderen die Erforschung von Handlungsszenarien (z.B. Gesprächsführung in Meetings) untersucht. Die Forschungsmethode Kasuistik und Fallstudien vereint die Vergleichbarkeit von Gruppierungen. Die Kombination von quantitativen und qualitativen Ansätzen ermöglicht eine sehr umfassende Analyse einzelner Treatments. Im Verlauf der Auswertung wurde deutlich, dass Unterrichte in keiner Studie vollständig parametrisch aufgelöst werden können. Genaue Rückschlüsse von Messungen und deren Lernwirksamkeit sind so kaum möglich. Der Vorteil der vollständigen Abbildung eines Unterrichtsmodells in einem Forschungsdesign liegt in der Reproduzierbarkeit. Das Design kann in einer anderen

Lernumgebung mit einer anderen Lerngruppe aufgesetzt und von anderen Lehrpersonen wiederholt werden, sodass für das Lernarrangement neue Forschungsaspekte mittels der gewonnenen Erkenntnisse aufgesetzt werden können.

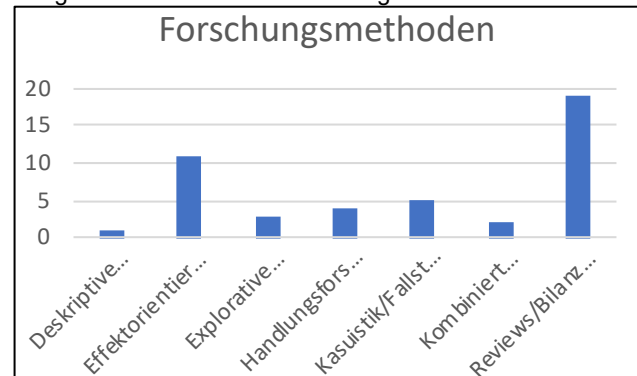


Bild 13: Implementierte Forschungsmethoden

Gerade im Hinblick auf die folgende Untersuchung der Kompetenzorientierung wäre eine detaillierte Beschreibung der genannten unterrichtlichen Setups notwendig gewesen, um Testitem und Messergebnisse besser einordnen zu können.

5.2. Kompetenzorientierung

Die analysierten Konzepte kompetenzorientierter Studien über KI- und LA-Implementierungen ließen sich übergreifend in zwei charakteristische Aspekte unterteilen: die technologische und die didaktische Umsetzung. Knight and Buckingham Shum [3] wiesen nach, dass relevante Aspekte (Methodik und Didaktik) nicht im Zentrum der KI- und LA-basierten Entwicklungen stehen, sondern überwiegend eine Fokussierung auf spezifische Technologien erfolgte. Oftmals liegen technische Machbarkeitsstudien oder konkrete Umsetzungen vor, die nachträglich mit einem didaktischen Modell abgestützt werden. [3] fordern deshalb, dass der zentrale Ausgangspunkt einer intelligenten Lernumgebung die didaktischen Theorien und Modelle sein müssen, auf der die technologische Umsetzung aufbaut. Ausgehend von diesem Standpunkt, erfolgt eine kurze Darstellung der technologischen Umsetzung, in deren Kontext die Auswertung der didaktischen Umsetzungen erfolgt.

Technologische Umsetzung

Die 54 untersuchten Veröffentlichungen wurden in die fünf Hauptkategorien Learning Management Systemen (LMS), Smart Learning Environments (SLE), Virtual-/ Augmented Reality (VR / AR), Gamification und Massiv Open Online Courses (MOOCs) unterteilt (Bild 14: Technologische Umsetzungen zur Kompetenzdiagnostik). Bei fünf Veröffentlichungen war eine Zuordnung in das kategoriale System nicht möglich, da die Autor/-innen über die technologische Umsetzung zu wenig ausführten. Die meisten KI- und LA-basierten Systeme wurden in LMS umgesetzt. An Aktualität zunehmend zeigten sich SLE, die eine immer größere Bedeutung erfahren. SLE erweitern LMS und konzentrieren sich auf das personalisierte Lernen durch die Zuhilfenahme von KI- und LA-basierten Werkzeugen und ermöglichen formelles und informelles Lernen in einer authentischen und adaptiven, hybriden Lernumgebung [39]. Die Dynamik und die Bedeutungszunahme dieses Forschungsstrangs finden sich auch in den vielfältigen Umsetzungen wieder, in denen

Kompetenzvermittlung erfolgt. Zwei Schwerpunkte bilden dabei VR bzw. AR und Gamification. VR und AR finden oftmals in praktischen Lernsituationen Anwendung (z.B. Arbeiten mit Werkzeugen), die um KI- und LA-Applikationen ergänzt werden. Gamification ermöglicht das Erfahren und Lösen von beruflichen Problemstellungen durch spielbasierte Elemente. Diese werden durch individuelle algorithmische Implementierungen ausgewertet. Eine hohe Dynamik zeigt sich bei den SLEs durch die Implementierung von KI in im Bereich von intelligenten digitalen Tutoren, die adaptives Lernen ermöglichen und durch den Einsatz von KI viele Herausforderungen des individuellen Lernens lösen sollen [40].

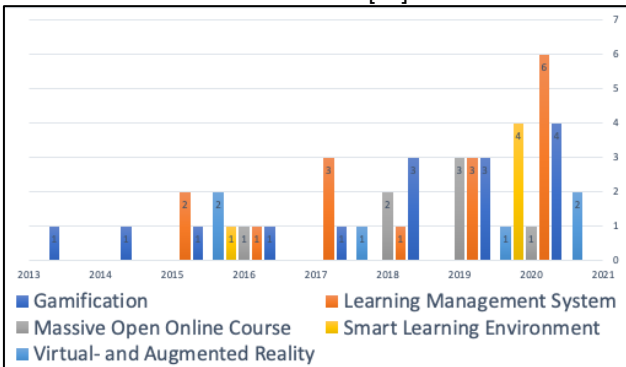


Bild 14: Technologische Umsetzungen zur Kompetenzdiagnostik

Didaktische Umsetzung

Die didaktischen Umsetzungen lassen sich in fünf Schwerpunkte Curriculum, Didaktische Aspekte, Kompetenz-Assessment, Modell und Theorien und selbstreguliertes Lernen unterteilen (Bild 15: Didaktische Schwerpunkte der Literaturanalyse). Auf der Mikro-Ebene lassen sich das selbstregulierte Lernen und die didaktischen Aspekte verorten, da diese Ebene das personalisierte Lernen und den individuellen Bildungserfolg in den Fokus stellt. Den größten Anteil innerhalb der Funde stellen Arrangements dar, in denen das selbstregulierte Lernen erforscht wird. Selbstregulation in Lernprozessen gewinnt immer mehr an Bedeutung, da es z.B. im Rahmenlehrplan für Ausbildungsberufe im dualen System gefordert wird [41]. Die Meso-Ebene, mit dem institutionellen Kontext, thematisiert die Aspekte Curriculum und Kompetenz-Assessment. Auf Makro-Ebene ordnen sich die Modelle und Theorien (wie z.B. die Competence-Based Knowledge Space Theory (CBKST) von [42]) ein.

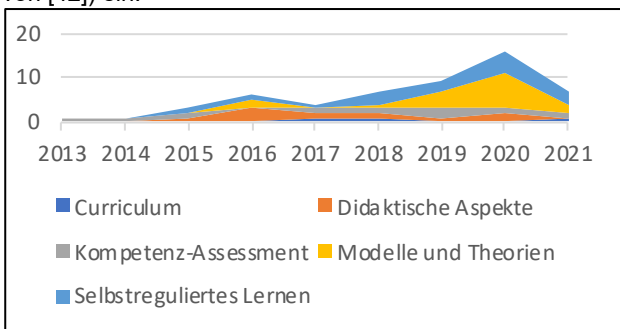


Bild 15: Didaktische Schwerpunkte der Literaturanalyse

Diese wurden im Kontext einer Kompetenzorientierung untersucht, da sie das gesamte Bildungssystem

beeinflussen können. Wenig Funde haben die Thematik Kompetenz-Assessment mit KI- und LA-basierten Systemen untersucht. Die Forschung an curricularen und didaktischen Aspekten findet sich sehr randständig in den Funden wieder.

Auswertung der Funde auf Mikro-Ebene

Didaktische Aspekte:

Die Umsetzung von hoch individualisiertem Unterricht, ohne dabei Lehrende bei der Anpassung von Lernmaterialien zu überfordern, gewinnt zunehmend an Bedeutung und kann durch KI- und LA-basierte Systeme realisierbar werden. Chan et al. [21] konnten eine positive Einstellung von Lernenden gegenüber E-Learning-Systemen nachweisen. Darüber hinaus brachten sie bezüglich der Beziehung zwischen E-Learning-Nutzung und Lernergebnisse einen signifikanten Nachweis, dass für Lernende die individuelle Anpassung von Lernmaterialien von hoher Bedeutung sind. Heradio et al. [43] diskutieren Trends und Probleme zur Verbesserung der Kcontroloptionen und Laborinteraktivität aus dem Blickwinkel der Studierenden für ein virtual- und remote-Lab, in dem individuelles synchrones und asynchrones Lernen ermöglicht wird. Heradio et al. [44] untersuchten aus Sicht der Lehrenden Unterstützungsmöglichkeiten für die kompetenzbasierte Ausbildung mittels des virtual- und remote-Labs und legten dar, dass mit dem gezeigten Ansatz auf die individuellen Stärken und Schwächen der Lernenden eingegangen und der Lernprozess entsprechend angepasst werden kann. Für dieses synchrone und asynchrone Setup ist eine Verbesserung der Schnittstellen und Konnektivität der Applikationen notwendig. Khatri et al. [29] entwickelten eine Applikation zur Untersuchung von individuellen Entscheidungsprozessen in Computersimulationen. Den Forschungsbedarf hinsichtlich der Wirksamkeit der Applikation sehen die Autor/-innen im Bereich der Entwicklung, Implementierung und Evaluation. Als ein weiteres Lernsetup beleuchteten ter Vrugte et al. [45] im Kontext der Individualisierung das Game Based Learning (wie Serious Games, Simulator). Leistungsschwächere Lernende konnten nicht im gleichen Maße wie die Leistungsstarken von dem Setup profitieren. Die Autor/-innen machen deutlich, wie notwendig individuelle Lernmaterialien und personalisierte Lernaktivitäten sind, um Studierenden ein bedarfsgerechtes Lernen zu ermöglichen. Spiel- /Simulationsbasierte Lernansätze wirken laut Bodnar et al. [46] in Bezug auf die Lernleistung die Lernmotivation positiv, was auch Kiili et al. [47] anhand eines Vergleichs mittels Versuchs- und Kontrollgruppe zeigte. Diese Erkenntnis bestätigt ter Vrugte et al. [45] anhand eines mathematischen Lernspiels, bei dem die die Lernenden ihre Fähigkeiten deutlich steigern konnten. Bodnar et al. [46] zeigen aber auch auf, dass es keine einheitlichen Bewertungsmethoden gibt und somit die Vergleichbarkeit von Erhebungen über den Lernprozess nicht systematisch und valide ist. Inwieweit LA-Interventionen auf den Lernprozess oder das Lernergebnis wirken, untersuchten Knobbout und van der Stappen [48] für ihre systematische Literaturanalyse an einer eigens entwickelten Klassifikationsskala und identifizierten, dass überwiegend der Lernprozess und das Lernprodukt nicht miteinander verknüpft sind. Dies könnte zu einer effektiveren Diagnostik mit einhergehender personalisierter Lernaktivität und verbesserten Nutzererfahrung führen. Um dies zu erreichen schlägt z.B. Kiili et al. [47] vor, gestellte

Arbeitsaufträge zeitunabhängig zu gestalten, um den individuellen Dispositionen gerecht zu werden. Weitere Gestaltungsmöglichkeiten zur Verbesserung von Lernprozessen zeigten Cheng et al. [49] in einem Massively Multiplayer Online Game (MMOG) mittels dem der Zusammenhang zwischen Werkzeugnutzung und Quest-Vervollständigung durch Data-Mining-Techniken nachgewiesen wurde. Die Verbesserung von Lernprozessen auf individueller Ebene kann so dann auf Grundlage der analysierten Daten erfolgen. Heradio et al. [44] nutzen ein formal definiertes Kompetenzbewertungsmodell anhand dessen verschiedene Lernanalysen durchführbar sind und so zur Unterstützung von Lehrkräften und Verbesserung von Lernprozessen beitragen.

Selbstreguliertes Lernen (SRL):

Die untersuchten Studien zielen schwerpunktmäßig auf Aspekte der sozial-kommunikativen und personellen Kompetenzen im Kontext des SRL ab und wie diese den Lernprozess von fachlich-methodischen Kompetenzen unterstützen können. Das Reflektieren über Kernkompetenzen wurde von Chou et al. [30] mit dem Ergebnis untersucht, dass das Curriculum so gestaltet sein sollte, dass es die Kompetenzmessung ermöglicht. Das hierfür notwendige metakognitive Bewusstsein wird von Siadaty et al. [50] auf mikroprozessuale Selbstregulationsprozesse hin untersucht. Im Fokus stehen dabei die Auswirkungen von technologischen Unterstützungsmaßnahmen. Die Auswirkungen von technischen Umsetzungen im Kontext Learning Analytics und Educational Data Mining untersuchten etwa Aldowah et al. [12] und fordern eine stärkere Lernendenfokussierung und Entwicklung von Echtzeit-Vorhersagen über Lernende. Einen spezifischeren Ansatz evaluierten De Lange et al. [51], die in ihren entwickelten virtuellen Trainingszentrum mittels integrierter LA-Applikation soziale Prozesse untersuchten. Sie weisen nach, dass der gewählte Ansatz zur Datenbereitstellung von Lernenden, wie Leistungskennzahlen, Lernergebnisse und Abbrecherquoten geeignet ist. Die visuelle Darstellung der Daten in Form eines Open Learner Models (OLM) wurde von Hooshyar et al. [52] untersucht und zeigen auf, dass das Model alle Phasen des SRL besser unterstützt und die Phasen miteinander verknüpft sein sollten. Manganello et al. [53] identifizierten theoretische Grundlagen für die Entwicklung von modernen LA-Anwendungen basierend auf dem 4Cs Framework, in dem sie ein Dashboard als Überwachungsinstrument für Lernende entwickelten und für die Reflexion des Lernprozesses bereitstellten, mit dem Ziel, die Selbstregulation und aktive Beteiligung der Lernenden zu stärken. Nussbaumer et al. [42] analysierten vier Komponenten (SRL, Assessment-Tool, OLM und LA-Applikation) eines LMS mit lernerzentriertem Ansatz und zeigen anhand der Interaktionsdaten, dass die Lernenden die Umsetzung positiv bewerten. Eine umfassendere Analyse der Interaktionsdaten scheint laut der Autor/-innen notwendig, um effektivere Unterstützungsmöglichkeiten für das SRL in virtuellen Umgebungen anbieten zu können. Lehrendenseitig untersuchen Huang und Lajoie [54] die selbstregulatorischen Kompetenzen von Lehrenden im Rahmen des Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)- Konzept und weisen nach, dass hohe TPACK-Leistungen von Lehrenden mit einer Neigung hin zu selbstregulierten Aktivitäten korrelieren. Den Forschungsbedarf sehen sie in der Entwicklung von

technischen Interventionsmöglichkeiten zur Förderung der TPACK-Kompetenzen von Lehrenden. Die Rolle von Lehrenden in MOOC-SRL-Setups untersuchten Gregori et al. [55] und identifizierten drei Erfolgskriterien:

- Eine Präsenz der Lehrenden auch in asynchronen Phasen,
- Interaktion von Lehrenden und Lernenden in synchronen Phasen,
- Qualität von Erklärvideos.

Sie halten es jedoch für notwendig, die Anzahl der Variablen für das Bestehen eines Kurses zu erhöhen, um effektivere Unterstützungskonzepte zu entwickeln. Für MOOCs untersuchte Li [56] die Zusammenhänge von demografischen Daten der Lernenden, die Nutzung ihrer SRL-Strategie, das wahrgenommene Lernen und die Zufriedenheit. Li [56] zeigt, dass sich die drei Faktoren auf die Zufriedenheit der Lernenden auswirken. Zusammenhänge innerhalb von SRL-Arrangement werden auch von Li et al. [57] in einer simulationsbasierten Computer Aided Design-Umgebung untersucht. Dabei fokussierten sich Li et al. [57] bei der Evaluation auf qualitative statt quantitative Parameter und zeigen, dass sich die SRL-Kompetenzen zwischen adaptiv und minimal selbstreguliert Leistungsgruppen signifikant unterscheiden. Der Forschungsbedarf liegt hier in der Erforschung von Interventionen zur Steigerung der SRL-Kompetenzen. Über die Messung von Datenpunkten aus der Software hinaus, untersuchten Toh und Kirschner [58] SRL-Strategien durch den Einsatz von Interviews und dem „think-aloud“-Protokoll als Erhebungsinstrumente. Sie identifizieren eine Reihe von Faktoren, die das SRL in Videospielen verbessern können. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich einer Generalisierung der Ergebnisse für nicht gamifizierte Lernsysteme. Wu [59] untersuchten die Lernmotivation von Lernenden in einem spielbasierten Vokabellernsystem und zeigen, dass der spielbasierte Ansatz eine höhere Lerneffektivität aufweist. Lehrende sollten individuelle Lehrmaterialien bereit stellen, um die Lernmotivation zu verbessern. Um Änderungen in der Motivation zu verstehen, sollten in weiteren Untersuchungen ein Pre- und Posttest über die Motivation durchgeführt werden. Als zentrales Element könnten hierfür digitale Lernportfolios dienen. Durch eine systematische Literaturanalyse identifizieren Garcia et al. [60] den Bedarf für die Entwicklung eines selbstregulierten Lernen-Modells für spielerische Lernarrangements, das neben den fachlich-methodischen Kompetenzen auch die Soft Skills, wie sozial-kommunikativen und personellen Kompetenzen, fördert. In diesem Bereich sind weitere Untersuchungen notwendig, um Game-Based-Learning (GBL) zukünftig in Lehrpläne zu integrieren. Young et al. [61] stellen eine große Diskrepanz zwischen den Inhalten, der Pädagogik und den kulturellen Aspekten in der Ausbildung fest, die für das spätere Berufsleben notwendig sind. Sie sehen die Lösung in einem kompetenzbasierten Assessment, dass ein selbstreguliertes und lebenslanges Lernen ermöglicht und über die Ausbildung hinaus als Workplace-Based Assessment (WBA) Bestand hat. Das Lernsystem sollte darüber hinaus die Möglichkeit zur Wahrnehmung kontinuierlicher Fortbildung bieten, Längsschnitt-Mentoring bzw. Coaching einbinden und auf betrieblicher Ebene Kompetenzausschüsse zur Qualitätssicherung einbinden.

Auswertung der Funde auf Meso-Ebene

Kompetenzerwerb und -assessment:

Der Erwerb von Kompetenzen und deren Messung findet wie in Bild 14: Technologische Umsetzungen zur Kompetenzdiagnostik dargestellt statt. Die algorithmische Ausgestaltung zur Messung von Kompetenzen variiert bedingt durch das gewählte Lernmanagement-System. Der Einsatz von KI- und LA-Applikationen bietet mannigfaltige Möglichkeiten zur Unterstützung bei dem individuellen Kompetenzerwerb und dessen Messung. Oliva-Córdova et al. [23] führten eine systematische Literaturanalyse über den Einsatz von LA in der Hochschulbildung durch, um Forschungsdesiderata zu identifizieren. Die fünfzig analysierten Artikel ließen sich auf drei Dimensionen verteilen:

- Zwecke von LA-Applikationen,
- Lehrkompetenz und
- Unterrichtspraxis im Hochschulbereich

[23] zeigen, dass Forschungsbedarf im Bereich der Lehrpersonenbildung und dem Einsatz von LA besteht. Darüber hinaus kann LA über den Weg einer Systematisierung der Unterrichtspraxis nach ICT-Standards eine größere Relevanz und Qualität entwickelt. Um dieses Ziel zu erreichen, schlagen [23] die Gestaltung, Validierung und Systematisierung eines Prototypen vor, der über die Vermittlung von Fachkompetenzen hinaus auch eine sozial-kommunikative und personelle Kompetenzvermittlung ermöglicht. Vargas et al. [62] stellen eine Open-Source Anwendung vor mit der eine kompetenzbasierte Bildung möglich ist und darüber hinaus ein Kompetenzbewertungsmodell und eine LA-Applikation implementiert. Mit dem Competency Assessment and Monitoring Framework (C-A&M) beantworten [62] vier Problemstellungen, die bei einer Neugestaltung von Ausbildungsgängen auftreten:

- Definition des Kompetenzmodell
- Nachweis für Kompetenzzuwachs
- Erheben der notwendigen Daten
- Auswertung der Daten

Das Feedback an die Lernenden erfolgt durch eine Kombination aus Textelementen und numerischer Bewertung. Forschungsbedarf wird in der Integration von linguistischen Aspekten und das Überprüfen des Konzeptes in anderen Ausbildungsgängen gesehen. Die Erforschung von intelligenten Applikationen in der beruflichen Bildung, so Gedrimiene et al. [22], ist unterrepräsentiert. Sie stellen heraus, dass es von hoher Bedeutung ist, dass technische und ethische Problemstellungen vor einem breiten Einsatz in der beruflichen Bildung gelöst sein müssen. [22] empfehlen den Einsatz von intelligenten Applikationen in der beruflichen Bildung, um den Wissenstransfer zwischen schulischer und betrieblicher Ausbildungsstätte zu ermöglichen und eine engere Kooperation beider Akteure zu etablieren. Eine Möglichkeit den Erwerb von beruflichen Kompetenzen zu messen, stellen computerbasierte Simulationsspiele oder auch Serious Games (SG) dar. Konkrete berufliche Handlungen können in diesem digitalen Arrangement abgebildet werden. Dies ermöglicht das Üben von Handlungen, die dann im Betrieb ausgeführt werden können. Alonso-Fernández et al. [63] führten im Kontext

von SG eine systematische Literaturanalyse über den Einsatz von Data-Science-Techniken durch und erlangen drei Erkenntnisse, die für die Entwicklung von intelligenten Applikationen Beachtung finden sollten:

- Vorhersage der Auswirkungen (z.B. Kompetenzerwerb) von Spielen mit Game Learning Analytics (GLA)-Daten,
- Bedeutung der Erstellung von Schülerprofilen zur Individualisierung von Lernprozessen,
- Gestaltung von Serious Games für die Bewertung des Lernprozesses

[63] zeigen auf, dass für die Validierung mit GLA-Daten die Stichprobengröße ausreichend groß sein muss, um aussagekräftige Schlussfolgerungen tätigen zu können. Die Bedeutung des Forschungsdesigns für Game Based Learning (GBL) zeigen Mayer et al. [64] auf. Sie stellten das quasi-experimentelle Forschungsdesign und den sehr großen Datensatz, der Daten von 2488 Befragten enthält, vor. Der Forschungsbedarf liegt laut [64] in drei Bereichen. Es sollte eine Vergleichsanalyse zur Identifizierung der Faktoren, die die Wirksamkeit von GBL beeinflussen durchgeführt werden. Darüber hinaus sollten das Konstrukt und die Skalen, in denen GBL in SG erfolgt, konsistenter werden und ein Tool zur Datenauswertung (pregame, ingame und postgame) zur Kompetenzdiagnostik entwickelt werden. Für die Bewertung von Kompetenzen stellen Balderas et al. [65] die Simple Assessment-Specific Query Language (SASQL) vor. Mit dieser domänenspezifischen Sprache ist die Bewertung von überfachlichen Kompetenzen darstellbar. Die Diagnostik erfolgt in diesem Konstrukt über Indikatoren, die aus LMS-basierten Moodle-Kursen extrahiert werden. Der Forschungsbedarf liegt in der Identifizierung von weiteren Indikatoren, die aus den im LMS gespeicherten Informationen gewonnen werden könnten. Eine Auswertung der personellen Kompetenzen durch einen mathematisch-statistischen Ansatz verfolgen Bohlouli et al. [66] und Cowley et al. [67]. [66] berechneten die Lücke zwischen individuell vorhandenen Kompetenzen und benötigten beruflichen Kompetenzen und sehen den Forschungsbedarf für das untersuchte Framework, unter dem Gesichtspunkt der Generalisierung, im Testen der entwickelten Algorithmen zur Kompetenzmessung in anderen Bereichen. [67] analysierten Reflexionsprozesse von Gruppendiskussionen und verortet die algorithmisch erhobenen Kompetenzen auf den Bloom-Taxonomieebenen 1-5. Bei zukünftigen Forschungen sollte die Spielzeit unter gleichen Assessmentbedingungen auf Wochen und Monate ausdehnt werden. Westera et al. [68] sehen in der Kompetenzdiagnostik mit intelligenten Applikationen eine Möglichkeit, die Arbeitsbelastung von Lehrpersonen zu reduzieren. Im Zentrum der Applikation steht die Erstellung von Aufsätzen durch Lernende und deren Bewertung durch Lehrpersonen. Das probabilistische Modell ermöglicht es, Veränderungen hinsichtlich der Validität der automatischen Punktevorschau und der Arbeitsbelastung bei der manuellen Bewertung durch die Lehrpersonen, durchzuführen. [68] sieht eine Herausforderung darin, bei Expertenlösungen auf Validität der Korrekturen zu achten, da sich die Lösungen unmittelbar auf den automatisierten Bewertungsprozess auswirken.

Auswertung der Funde auf Makro-Ebene

Modelle und Theorien:

Eine Individualisierung und Binnendifferenzierung bei immer heterogeneren Kursstrukturen und dem Ziel, die Lernhistorien von Lernenden zu nutzen, kann mit statischen Lernmanagementsystemen nicht erreicht werden, da es zu einer Überforderung von Lehrenden führt, welche durch den Einsatz von KI und LA verringert werden kann. Chen et al. [39] empfehlen deshalb bei komplexen Lernarrangements die Weiterentwicklung von statischen hin zu dynamischen bzw. smarten Learning Environments. Hierfür ist eine Umgestaltung der Unterrichte über die technologische Entwicklung von LMS zu SLE hinaus nötig. Die SLE sind idealerweise in ein pädagogisches Konzept eingebettet, das mit dem Flipped Classroom-Modell arbeitet und überdies spielbasiertes und gestenbasiertes Lernen ermöglicht. Darüber hinaus sollten SLE ein lebenslanges Lernen durch die Einbindung von Lernportfolios ermöglichen. Eine Kontextualisierung der Lernprozesse mit der Arbeits- und Lebensumgebung in die SLE kann zur Verbesserung des Lernens beitragen. Die Akzeptanz von KI- und LA-basierten Systemen hängt stark vom Vertrauen in die smarten Systeme ab. Von Qin et al. [69] wurden Faktoren identifiziert, die dieses Vertrauen beeinflussen. Die Faktoren wurden in technologie-, kontext- und Individuenbezogene Faktoren kategorisiert. [69] zeigt den Forschungsbedarf auf, umfassendere qualitative und quantitative Untersuchungen über den Einsatz von KI-basierten Systemen in Bezug auf die genannten Faktoren durchzuführen, um ihre Auswirkungen auf die Vertrauensbildung besser verstehen zu können. Die Umsetzung von solch vertrauensbildenden Faktoren für den Einsatz von KI- und LA-basierten Anwendungen in kompetenzbasierten Lerntheorien wird im Kontext der Interest-Driven Creator (IDC) Theorie von Dillenbourg et al. [70] aus europäischer Sicht beleuchtet. Die Theorie wird am Beispiel einer VR-Applikation gezeigt, in der Lernende in einer 3D-Simulation berufliche Handlungen durchführen sollen. Dabei wird untersucht, wie in einem solchen Lernarrangement das Klassenzimmer orchestriert werden sollte. In diesem Zusammenhang diskutieren sie die Herausforderungen von konstruktivistischen und behavioristischen Unterrichtsumsetzung, wenn intelligente Systeme in den Unterricht Einzug halten, da Unterrichtsmodelle mit intelligenten Applikationen komplexer sind als traditionelle. Drachler und Kalz [71] untersuchen das Zusammenspiel von Learning Analytics und MOOCs und zeigen den Forschungsbedarf für vier Bereiche auf, die weiter untersucht werden sollten, wenn das learning analytics innovation cycle (MOLAC)-Framework für die Entwicklung von intelligenten MOOCs Kursen genutzt werden. Die vier Bereiche sind:

- Standardisierung der Beschreibung des Bildungsdesigns von MOOCs,
- Möglichkeiten zum Datenaustausch über Institutionen hinweg,
- gemeinsame Politikgestaltung und ethische Leitlinien und
- standardisierte Evaluationsansätze.

Für die Entwicklung von Kursen mittels MOLAC auf der Mikro-, Meso- und Makroebene müssen die bildungstheoretischen Grundlagen für eine Anwendung umfassend beschrieben sein. Mangaroska und Giannakos

[72] untersuchen die Thematik Learning Analytics und Learning Design (LD) und führen hierzu ein systematisches Review durch. Im Zentrum des Reviews steht die Überprüfung empirischer Evidenz von LA und LD. Herausgearbeitet werden dabei die Designmuster und Lernphänomene, die sich aus den untersuchten Studien aus der Synergie von LA und Lerntheorie ergeben. Für eine systematische Erforschung dieser Synergien sollte nach [72] zukünftig ein Rahmen entwickelt werden, mit dem ein Nachweis über pädagogische Entscheidungen bezüglich des LDs und die daraus resultierenden Lernaktivitäten und -leistungen möglich ist. Matcha et al. [73] untersuchten das Lernen und Lehren in selbstregulierten Lernarrangements, in denen über LA-Dashboards Feedback gegeben wird. [73] zeigen, dass LA-Dashboards selten lerntheoretisch eingebettet sind und definieren hierfür das „model for user-centered learning analytics systems“ (MULAS), welches die vier Dimensionen Theorie, Design, Feedback und Evaluation zyklisch und rekursiv miteinander verbindet. Die Lernmotivation als ein sehr zentraler Aspekt des selbstregulierten Lernens, haben Douglas et al. [74] untersucht. Sie werteten Userdaten über das gezeigte Online-Verhalten der Lernenden aus und verglichen sie mit einer Bewertung über ihre Lernmotivation. [74] zeigen die Herausforderungen auf, die bei komplexen algorithmischen Annäherungen (Faktorenanalyse, Item-Response-Theorie und lineare Regression) auftreten. Eine flexible Einbeziehung von neuartigen Informationen zur Bewertung des Lernprozesses scheint erforderlich. Für den Bereich der SG zeigen Manuel et al. [75] einen Ansatz, bei dem Lernsituationen und LA-Applikationen in Zusammenarbeit von Entwickler/-innen und Pädagog/-innen gelingen kann. Die formative Überprüfung des Ansatzes zeigte eine Nutzbarkeit der Anwendung als Lehrmittel, bei der sich Lernsituationen auch von nicht fachkundigen Autor/-innen erstellen lassen. Der gezeigte Ansatz wird unter dem Aspekt der Generalisierung in verschiedenen Bildungsbereichen überprüft. Die Untersuchung von Moizer et al. [76] zielt auf die Erlebniserfahrung der Lernenden in SG ab, um ein tieferes Verständnis über das Zusammenwirken der Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Dimensionen und Merkmalen von SG zu entwickeln. Dieses ist nach [76] wichtig, um SG in weiteren Bildungs- und Trainingsumgebungen implementieren zu können. Zukünftige Forschung adressieren die qualitativen Erkenntnisse aus Evaluationsprozessen, welche sorgfältig unter Beachtung des Arrangements ausgewertet werden müssen. Ruipérez-Valiente und Kim [77] untersuchten das digitale Gameplay hinsichtlich Einzelspielaktivitäten und Partnerspielaktivitäten. Dabei wurden signifikante Unterschiede zwischen den Spielformen erkannt. Die Aufgaben wurden in Einzelarbeit linearer durchgespielt, während in Partnerarbeit die Aufgaben eher exploratorisch durchgespielt wurden. [77] sehen den Forschungsbedarf in der Entwicklung eines Modells zur Unterstützung von pädagogischen Entscheidungen hinsichtlich der Entwicklung von Unterricht mit SG. Ros et al. [78] untersuchen das Erlernen einer beruflichen Kompetenz durch den Einsatz von VR zum Darstellen eines 3D-Erklärvideos. [78] vergleicht das gezeigte VR-Konzept mit einer traditionellen Inhaltsvermittlung. Die Lernenden mit tradiertem Lernarrangement zeigten in der mündlichen Prüfung bessere Ergebnisse, ohne Signifikanz. Bei der Messung der praktischen Handlung zeigte sich, dass Lernende mit dem VR-Lernumgebung das Verfahren effizienter mit weniger Fehlern und in kürzer Zeit

durchführten. Santamaría-Bonfil et al. [79] erforschten eine Virtual Reality Training Systems (VRTS), dass eine LA-Applikation mit einbindet und die Vermittlung von beruflichen Kompetenzen ermöglicht. Das intelligente System konnte geschulte und ungeschulte Lernende unterscheiden, sodass ein individuelles Lernen ermöglicht wird. Nach [79] ist es für die Applikation wichtig, unausgeglichene Datensatzentstehungen zu vermeiden. Castillo-Segura et al. [20] führten eine systematische Literaturanalyse durch, um eine objektive und automatisierte Bewertung von beruflichen Handlungen mittels IoT-Systeme durchführen zu können. Sie zeigen auf, wie aus Sensoren die Daten erhoben werden und aus den Rohdaten (Metriken) die Indikatoren zur Kompetenzdiagnostik abgeleitet werden. Mittels Klassifikation (wie z.B. Support Vector Machines (SVM) und Neuronale Netzen (NN)) erfolgt die Einstufung in das Kompetenzniveau. Das Feedback erfolgt über 2D- oder 3D-Visualisierung oder über Diagramme. Die Einbindung von IoT-Sensoren in eine Applikation sollte weiter untersucht werden, um die Daten besser auswertbar zu machen, sodass eine genaue Kompetenzdiagnostik möglich ist. Ramasamy und Pilz [80] rücken ebenfalls die Kompetenzentwicklung von Lernen in das Zentrum ihrer Untersuchungen. Sie fokussieren sich dabei auf einen nachfrageorientierten Ansatz auf Mikro-Ebene, um die Anforderungen aller Beteiligten der beruflichen Bildung an Ausbildungsmodellen zu definieren, um individuelles Lernen zu ermöglichen. [80] zeigen ihre Ergebnisse am Beispiel eines Kurses speziell für Frauen. Sie konnten zeigen, dass

- der Zugang zu Schulungszentren,
- die Schulungsdauer,
- der wirtschaftliche Nutzen und
- soziokulturellen Faktoren

wichtige Faktoren für die Entwicklung von kompetenzbasierten Kursen und dem dahinter liegenden Modell sind. Soziale Beziehungen in MOOCs werden von Wise und Cui [81] untersucht. Dabei analysierten sie inhaltsbezogene und nicht-inhaltsbezogene Diskussionen. Die Auswertung bezüglich der Netzwerkstrukturen der Lernenden, Gemeinschaften und individuellen Ebenen zeige Unterschiede in den Diskussionsformaten. Sie empfehlen eine tiefere Forschung über den Zusammenhang zwischen Lernergebnissen und inhaltsbezogenen Interaktionen. Chen et al. [82] haben mittels Delphi-Studie den Kompetenzbedarf für berufliche Handlungen evaluiert, bei denen die KI ein Hilfsmittel in der beruflichen Tätigkeit darstellt. Mit dem vorgestellten Erhebungsmodell ist es für Lehrende möglich, notwendige Kompetenzen zu identifizieren, die ihre Lernenden für den Umgang mit KIs in ihrem Berufsfeld benötigen. Die identifizierten Kompetenzen können dann in die Curriculumentwicklung mit aufgenommen werden. Ocaña-Fernandez et al. [83] thematisieren in ihrer Untersuchung die Aspekte „digital skills“ und „digital literacy“ in der beruflichen Bildung und unterstreichen die Wichtigkeit für künftige Lehrpersonen im Bereich der digitalen Kompetenzen ein hohes Kompetenzniveau im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien zu erlangen, um den Veränderungen in der Bildungsarbeit gerecht zu werden.

5.3. Curriculares Setting

Barrio et al. [84] rücken die Entwicklung kulturell angepasster und individueller Bildungsprogramme (IEP) in den Fokus ihrer Untersuchung, in der sie den Culturally Responsive and Relevant IEP Builder (CRRIB) vorstellen. Dieser kann IEP-Teams bei der Durchführung von Beurteilungen, Bewertung aktueller Praktiken und der Entwicklung von Interventionen, Strategien und Unterstützungsmaßnahmen für Lernende unterstützen. Die Generierung einer großen Stichprobengröße zur validen Analyse des Konzeptes scheint notwendig, um kulturell angepasste und individuelle Bildungsprogramme zu entwickeln. Neben individuellen und bedarfsgerechten Bildungsprogrammen wirkt der rasante technologische Wandel auf die Lehrpläne. Jiang [85] untersucht den Einsatz von VR und stellt eine interaktive Lernplattform vor. Diese nutzt VR-Brillen und Smartphones, um eine Echtzeit-Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden zu ermöglichen. Die Lernplattform stellt alle für den Lernprozess notwendigen Materialien und Informationen bereit. Im Vordergrund der Untersuchung steht die technologische Umsetzung, es zeigt sich aber auch, dass immersive VR-Techniken ein didaktisch passendes Fundament benötigen, um den tradierten Unterricht zu bereichern. Eine weitere Möglichkeit tradierten Unterricht zu bereichern, stellen die „Educational Robotics (ER)“ dar. Castro et al. [86] führten eine Studie über pädagogische Roboter im Bereich der MINT-Fächer durch, um die Ergebnisse in die Curriculumentwicklung einfließen zu lassen. Für den Robotik-Unterricht wurde die Wirksamkeit eines ER-Protokolls evaluiert. Dieses befähigt als intelligente Applikation zu Interventionen im Unterricht. [86] zeigen, dass die Interventionen erfolgreich waren, es zu einem signifikanten Kompetenzzuwachs kommt und es keine signifikanten geschlechterspezifischen Unterschiede bezüglich des Kompetenzzuwachses gibt. Zur Validierung der Ergebnisse ist es notwendig, eine größere Stichprobe zu generieren.

6. DISKUSSION

Für die Entwicklung von Lernarrangements mit intelligenten Applikationen, die für den Einsatz in der beruflichen Aus- und Weiterbildung von Pilot/-innen und luftfahrttechnischen Personal bestimmt sind, erfolgt die Zusammenfassung als Antwort für die Forschungsfragen 1 und 2 unter dem Aspekt der Validität und Reliabilität. Die Zusammenfassungen als Antworten für Forschungsfragen 3 und 4 erfolgt über die Mikro-, Meso- und Makro-Ebene hinaus mit einem Fokus auf den Bildungskontext.

Transferierbarkeit von Studienergebnissen

FF 1: Wie werden die Gütekriterien innerhalb der Forschungsvorhaben umgesetzt?

Der von [2] gewünschte Nachweis über die Wirksamkeit von intelligenten Applikationen und die von [5] definierten Kriterien Validität und Reliabilität, stellen an die Stakeholder von Ausbildungsprogrammen hohe Ansprüche. Der Transfer von Forschungsergebnissen in zertifizierbare KI- und LA-unterstützte Lehr-/ Lernarrangements kann nur sinnvoll erfolgen, wenn die Erkenntnisse aus Studien, die in das Arrangement mit einfließen sollen, den genannten Gütekriterien und der Objektivität genügen. Die durchgeführte und hier vorgestellte Auswertung zeigte, dass die Forschungsvorhaben nur teilweise eine

konsequente und umfassende Umsetzung der Gütekriterien verfolgt haben. Im Bereich der Validität wird der Pre-Test, zum Auffinden von Logikfehlern oder zum Aufdecken von Konstruktfehlern oftmals nicht durchgeführt. Mögliche Fehlerquellen ziehen sich sodann durch die komplette Studie. Das Vergleichen der Ergebnisse mit einer Kontrollgruppe findet ebenfalls nicht statt, sodass die interne Validität selten erfüllt ist. Eine abschließende Generalisierung der Forschungsergebnisse auf z.B. andere Berufsgruppen findet überwiegend nicht statt, wodurch die externe Validität nicht gegeben ist. Die Reliabilität wurde oftmals nicht berechnet. Die Gründe mögen mannigfaltig sein, doch selbst bei einer sehr geringen Stichprobengröße $N < 200$, könnte die tau-äquivalente Reliabilität eine verlässliche Abschätzung liefern. Die Objektivität wird so gut wie immer erfüllt. Zumeist erfolgt die Auswertung maschinell, teilweise mit einem Mixed-Method-Ansatz oder rein qualitativ.

FF 2: Mit welchen forschungsmethodischen Zugängen wurden die Anwendungen untersucht?

Die forschungsmethodischen Zugänge über den Einsatz von intelligenten Applikationen teilen sich in sieben Bereich auf:

- deskriptive quantitative Ansätze,
- effektorientierte quantitative Ansätze,
- Explorative qualitative Ansätze,
- Qualitative Handlungsforschung,
- Kombination von quantitativen und qualitativen Ansätzen,
- Kasuistik und Fallstudien und
- Reviews / Bilanzierungen / Dokumentenanalyse.

Die tiefgehende Analyse der Studien zeigte, dass kein Unterricht vollständig in seinem jeweiligen Anwendungsbereich parametrisch aufgelöst dargestellt wurde. Rückschlüsse von Messungen und Lernwirksamkeit sind somit nur schwer möglich, da eine Korrelation der lernwirksamen Parameter beider Settings nicht möglich ist. Dies erschwert die Übertragbarkeit von Befunden auf neu zu entwickelnde Lernarrangements.

Kompetenzorientierung

FF 3: Wie erfolgen Wissensexplikation, Kompetenzvermittlung und -diagnostik in LA- und KI-basierten Lernarrangements?

Wissensexplikation:

Die Wissensexplikation erfolgt in den untersuchten Studien durch einen hohen Grad an Individualisierung. Der individuellen Anpassung der Lehrmaterialien kommt in den Studien eine hohe Bedeutung zu, um personalisiertes Lernen zu ermöglichen. Die Aneignung und die Wiedergabe von Wissen erfolgt idealerweise in Lernarrangements, die ein selbstreguliertes Lernen ermöglichen, um den individuellen und höchst eigenen Lernstrategien gerecht zu werden. Die Wissensarbeit innerhalb von Lernmanagementsystemen oder Smart Learning Environments können intelligente Applikationen unterstützen, indem sie eine authentische, adaptive und hybride Lernumgebung bereitstellen. Zentrales Element, mit dem die Lernenden ihr Wissen explizieren können, können z.B. Lernportfolios sein. Intelligente Applikationen

ermöglichen zur Echtzeit durch die Anwendung von LA und KI lernendenzentrierte Unterstützungsmaßnahmen, die bei der Wissensarbeit unterstützen und diesen effektiv gestalten. Das Wissen wird in den untersuchten Studien in vielfältigen Settings expliziert. Neben den oben genannten Umsetzungen zur Wissensarbeit stellten SG, Simulationen, Educational Robotics oder Remote-Labs weitere Möglichkeiten zur Wissensexplikation dar. Spielbasierte Modelle zeigen ihre Stärke in dem Sichtbarmachen von Wissen in den Bereichen der sozial-kommunikativen und personellen Kompetenzen.

In den dargestellten Modellen müssen die Lehrenden andere Rollen als in tradierten Lernarrangements einnehmen und einen Wechsel von Wissensvermittelnden hin zum Lernbegleitenden vollziehen, um personalisiertes Lernen zu ermöglichen. Wesentlich scheinen für eine erfolgreiche Wissensarbeit in asynchronen Phasen die Erreichbarkeit von Lehrenden oder der Einsatz von intelligenten Applikationen, sodass der Lernprozess auf Grund von, für den Lernenden, nicht lösbaeren Problem unterbrochen wird und die Lernenden somit nicht den benötigten Wissensstand für die anstehende synchrone Phase vorweisen.

Bezüglich der intelligenten Applikationen kann der Einsatz von Machine Learning dazu beitragen individuelle Entscheidungsprozesse zu unterstützen oder auch Echtzeit-Vorhersagen über Lernende zu tätigen, auf deren Grundlage Lehrende Interventionen in den Prozess der Wissensarbeit einbringen können. Hierfür sind Visualisierungen, die verständlich und für den Reflexionsprozess für Lernende gewinnbringend sind, notwendig. Mit dem Open Learner Model steht ein pädagogischer Ansatz zur Verfügung, mit dem Lernende den eigenen Lernprozess reflektieren können, Visualisierungen über ihren Wissensstand erhalten, einen Überblick über ihren Lernprozess erlangen und so das selbstregulierte Lernen unterstützt. Die Darstellung beider Inhalte erfolgt über ein Dashboard, dass neben den notwendigen Informationen für die Lernenden auch Informationen für Lehrende bereitstellt, mit deren Hilfe sie den Lernprozess unterstützen können.

Kompetenzvermittlung und -diagnostik:

Die Kompetenzdiagnostik spielt in den ausgewählten Studien eine untergeordnete Rolle und wird zumeist randständig thematisiert. Die Kompetenzvermittlung zeigt eine hohe Deckung mit den Settings der Wissensexplikation. Im Fokus stehen jedoch, im Gegensatz zur Wissensgenese, Handlungen, an denen eine Kompetenz abgeleitet wird. Für die Entwicklung von kompetenzorientierten Unterrichten wurden in den Studien z.B. das Competency Assessment and Monitoring Framework (C-A&M) und das Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)- Konzept vorgestellt. Mit dem C-A&M können die Stakeholder Ausbildungsgänge neugestalten. Im C-A&M ist ein Kompetenzmodell hinterlegt, mit dem ein Nachweis für den Kompetenzzuwachs, das Erheben der notwendigen Daten und die Auswertung der Daten möglich ist. Mit dem TPACK-Konzept sollen Lehrende als ein Stakeholder im Prozess der Unterrichtsentwicklung befähigt werden, Technologie in ihren Unterricht zu integrieren. Technologieversierte Lehrende neigen eher zu selbstregulierten Aktivitäten. Eine hohe TPACK-Leistung unter Stakeholdern (Lehrende) eher zur Verschmelzung von technologischen und didaktischen

Aspekten und den Lerninhalten. Für Lehrende gewinnt das Erlangen von ausgeprägten Kompetenzen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie stetig an Gewichtung, um den Veränderungen in der Bildungsarbeit gerecht zu werden. Ein weiterer Stakeholder bei der Entwicklung von Lernarrangements stellt die Gruppe der Lernenden dar, die eine positive Einstellung gegenüber E-Learning-Systemen aufzeigen. Für sie ist die individuelle Anpassung von Lernmaterialien von hoher Bedeutung. Mit der Anpassung von Lernmaterialien an die individuellen Bedürfnisse geht auch das personalisierte Lernen einher. Sollen leistungsschwächere Lernende im gleichen Maße wie leistungsstarke in einer kompetenzorientierten und personalisierten Lernumgebung profitieren, so ist es von hoher Bedeutung, dass Lernprozess und Lernprodukt in einer intelligenten Applikation miteinander verknüpft sind. Die enge Verknüpfung würde wiederum eine effizientere Kompetenzdiagnostik ermöglichen, die personalisierte Lernaktivität optimieren und zu einer verbesserten Nutzererfahrung führen. Die Diagnostik anhand von Handlungsprodukten und die personalisierten Interventionen sind mit statischen LMS in einem solchen Setup nicht möglich. Hierfür bieten sich SLE an, in denen die Wissensgenese und -explikation in selbstregulierten Setups erfolgt und zum Kompetenzerwerb in ein Handlungsprodukt einfließt.

Die Umsetzungsmöglichkeiten von geeigneten Handlungsprodukten im Kontext kompetenzorientierter Lernarrangements können sich auf den Bereich praktischer Tätigkeiten erweitern. So lassen sich z.B. Internet of Things (IoT)-Sensoren in Bedienelemente einbinden, um eine mögliche Korrelation von praktischen Handlungen und dem zugehörigen Wissen zu überprüfen. Eine weitere Möglichkeit der Kompetenzvermittlung stellen Lernarrangements in VR-Umgebungen dar. In ihnen können Handlungen umfassend gemessen und ausgewertet werden. Der Einsatz von VR zum Erlernen von berufstypischen Verfahren zeigte, im Vergleich zu einer tradierten Inhaltsvermittlung, dass die Gruppe in der VR-Lernumgebung das Verfahren effizienter durchführte. Die Gruppe mit dem tradierten Setting jedoch bessere Ergebnisse in den mündlichen Prüfungen erzielten [78]. Weitere Umsetzungen stehen mit SG, computerbasierte Simulationsspiele und Echtzeit-Simulationen zur Verfügung. Aber auch die sozial-kommunikativen und personellen Kompetenzbereiche wurden untersucht. Die Diagnostik von sozial-kommunikativen Kompetenzen wurde am Beispiel von inhalts- und nicht-inhaltsbezogenen Diskussion gezeigt und am Beispiel von SG wurde die Diagnostik von personellen Kompetenzen thematisiert. Dabei wurde nachgewiesen, dass sich die Lernprozesse zwischen Einzel- und Partnerspielaktivität signifikant ändern. Aufgaben werden nicht mehr linear bearbeitet. Die Partneraktivität führte zu einer exploratorischen Bearbeitung.

Die gesammelten Datenpunkte (Metriken) aus den dargestellten Setups aus den berufstypischen Handlungen werden zu Indikatoren abgeleitet und zur Kompetenzdiagnostik genutzt. Intelligente Applikationen können die Indikatoren mit den dahinter liegenden Metriken analysieren und so den individuellen Kompetenzerwerb unterstützen. Mittels Klassifikation erfolgt im Hintergrund die Einstufung in das Kompetenzniveau. Das Feedback über den Kompetenzerwerb erfolgt über Dashboards. Der eigene Lernprozess sollte für Lernende mittels des Dashboards reflektierbar sein. Das Feedback über die

Kompetenzausprägung und den Lernprozess kann dabei über 2D- oder 3D-Visualisierung oder über Diagramme erfolgen. Problematisch scheint, dass die Nutzung der Dashboards oft ohne lerntheoretische Einbettung erfolgt. Die Entwicklung eines Dashboards kann mit dem MULA-System erfolgen. Mit ihm werden die vier Dimensionen Theorie, Design, Feedback und Evaluation zyklisch und rekursiv miteinander verbunden und liefern so valide und reliable Ergebnisse.

Neben der erwünschten Wirksamkeit von intelligenten Applikationen durch den Nachweis der Validität und Reliabilität ist für Lernende das Vertrauen in eine SLE von hoher Bedeutung. Dies muss durch hohe Standards der Datensicherheit und dem Beachten von ethischen Aspekten bei der Entwicklung solcher Systeme beachtet werden.

Curriculares Setting

FF 4: Wie können die aktuellen Lehrpläne als Grundlage für KI- und LA-basierte Lernarrangements dienen?

Die ausgewerteten Studien thematisieren, ähnlich wie die Kompetenzdiagnostik, kaum konkrete Umsetzungen für die Entwicklungsarbeit auf curricularer Ebene.

Diese Thematik sollte jedoch an Gewichtung gewinnen, da z.B. der Einsatz von immersiven Technologien oder auch GBL andere Kompetenzen der Lernenden fördert aber auch von Lernenden fordert. Mittlerweile stehen Erhebungsmodelle zur Verfügung, die die entsprechenden Stakeholder, wie z.B. Wissenschaftler/-innen, das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) oder die Kultusministerkonferenz (KMK) für die Identifizierung von notwendigen Kompetenzen nutzen können, um Lernende mit den notwendigen Kompetenzen für den Umgang mit intelligenten Applikationen zu befähigen.

Learning Analytics und KI-basierte Systeme ermöglichen durch ihren hohen Grad an Individualisierung und der technologischen Affinität zum selbstregulierten Lernen die Umsetzung von Lernarrangements, die einer (auch auf kultureller Ebene) hohen Heterogenität gerecht werden kann. Solche Konzepte müssen jedoch noch weiter evaluiert werden, bevor sie zur Entwicklung von bedarfsgerechten Bildungsprogrammen genutzt werden können. Educational Robots können gerade in den MINT-Fächern geschlechterspezifische Lernunterschiede auflösen. Auch hier steht eine Validierung mit einer größeren Stichprobe noch aus, bevor diese Aspekte in die Curriculumsentwicklung mit einfließen können.

7. FAZIT

Zusammenfassung

Der Entwicklungsprozess einer intelligenten Applikation wird von einer Vielzahl von Stakeholdern und weiteren Variablen beeinflusst. Im Rahmen dieser Studie wurde aufgezeigt, inwieweit dies auf die Bildung von Kompetenzmodellen wirkt. Den eingangs dargestellten Kompetenzmodellen fehlen die Verknüpfungen einer beruflichen Handlung und den dahinter liegenden Wissensebenen. Zukünftige Kompetenzmodelle, die diesen Aspekt implementieren, müssen auf ihre Validität und Reliabilität hin untersucht werden. Die Auswertung der ausgewählten Studien zeigt, dass die gewählten forschungsmethodischen Ansätze oftmals nicht zielführend sind, da sie sich wohl nicht konsequent realisieren ließen. Die Umsetzung von Wissensexplikation und

Kompetenzerwerb sind umfassend dargestellt und es bieten zahlreiche Möglichkeiten zur Anwendung. Für die erfolgreiche Implementierung muss aus didaktischer Perspektive ein intelligentes LMS im hohen Maße eine Individualisierung ermöglichen. Das Flipped Classroom Concept scheint sich in den untersuchten Studien bewährt zu haben, obwohl es von den Lernenden und Lehrenden viel Selbstdisziplin abverlangt. Problematisch scheinen Feedback und Interventionen in der asynchronen Phase zu sein. Die vielfältigen Umsetzungen von Lernarrangements in Form von SLE, SG, Echtzeit-Simulatoren, VR/AR- und IoT-Systemen zeigen ihre spezifischen Stärken im Lernprozess, die durchaus auch als multimediale Umsetzungen in einem tradierten Lernarrangement eingebunden werden können, wenn dieses noch mit intelligenten Applikationen ergänzt wird. Die Auswertung der Lehrpläne machte deutlich, dass intelligente Applikationen nicht in die Lehrpläne eingebunden sind und das in ihnen liegende Potenzial noch nicht abrufen. Lehrende stehen somit vor der Herausforderung, aus einer Vielzahl von Umsetzungen, die für den jeweiligen Kompetenzerwerb notwendig zu finden.

Implikationen

Bei der Entwicklung eines KI- bzw. LA-basierten Systems in der Aus- und Weiterbildung von Pilot/-innen und luftfahrttechnischem Personal sollten Stakeholder aus verschiedenen Bereichen eingebunden sein. Das Feedback über die Lernwirksamkeit einer intelligenten Applikation sollte aus Lernenden, Lehrenden, Wissenschaftler/-innen und ggf. weiteren Expert/-innen bestehen. Um die Lernwirksamkeit von Implementierungen, deren Validität und Reliabilität zu erheben, scheinen iterative Schleifen notwendig. Die ausgeführten Punkte können mit einem Design Based Research (DBR)-Ansatz umgesetzt werden, sodass eine systematische und flexible Evaluierung der Implementierung unter bildungstheoretischen Gesichtspunkten möglich ist und eine SLE den Gütekriterien der Validität und Reliabilität entspricht. Der Kompetenzerwerb in einer SLE sollte neben einer hohen Individualisierung der Lernmaterialien auch das selbstregulierte Lernen ermöglichen und in einem PDCA-Zyklus erfolgen. Die Einbindung multipler Medien erhöht die Motivation und setzt verschiedene Akzente von Lernanreizen [87]. Für den Erwerb von fachlich-methodischen Kompetenzen ist in Multimedia Smart Learning Environments (MSLE) eine engere Vernetzung von Wissen und beruflicher Handlung notwendig, um die Lernenden zum Lösen neuartiger Probleme in ihrer Profession zu befähigen. Hierfür ist jedoch eine Anpassung der Kompetenzmodelle notwendig, die sich aus der curricularen Gestaltung ergeben. Ein Beispiel (BILD 16: Mögliche Umsetzung für Rahmenlehrplan) für eine

gelungene Umsetzung eines curricularen Settings mit der sowohl ein Handlungsprodukt als auch eine Wissenszuordnung möglich ist, zeigt sich in der curricularen (Lern-)Matrix nach [88], da hier zu einer Handlung verschieden ausgeprägtes Wissen zugeordnet ist.

Die entwickelte Applikation sollte über die reine Ausbildung hinaus nutzbar sein und ein lebenslanges Lernen ermöglichen. Hierfür ist es sinnvoll, einen Standard wie xAPI in das SLE zu implementieren, sodass das digitale Abbild des Kompetenzerwerbs in andere Systeme übertragbar ist.

Forschungsdesiderate

Aus den Implikationen heraus ergeben sich drei Forschungsdesiderate, die für die Entwicklung eines Lernarrangements mit intelligenten Applikationen von Bedeutung zu sein scheinen:

1. Entwicklung einer MSLE unter Einbeziehung eines tragfähigen Kompetenzmodells, bei dem berufliche Handlungen (PDCA-Zyklus) und Wissens Ebenen hinterlegt sind.
2. Algorithmische Umsetzung von (descriptive, predictive, prescriptive, diagnostic) LA- und KI-basierten Applikationen zur Kompetenzdiagnostik in MSLE.
3. Feedback und Interventionen in MSLE zur Unterstützung des SRL in synchronen und asynchronen Phasen.

8. LIMITIERUNGEN

Durch die hohe Dynamik in dem Forschungsgebiet LA und KI ist nicht auszuschließen, dass ein Suchbegriff oder eine Zeitschrift nicht in den Suchbereich fiel. Um diesen Bias zu minimieren, wurden Suchbegriffe z.B. durch die Nutzung von Wildcards ergänzt oder austauschbare Begriffe benutzt. Um der hohen Dynamik bezüglich der Veröffentlichungen in der Vielzahl von Zeitschriften gerecht zu werden, wurde die Suche auf Zeitschriften der oberen Quadrille beschränkt. Es lässt sich nicht vollständig ausschließen, dass es relevante Veröffentlichungen gibt, die nicht in den Suchbereich fielen.

Curriculare Matrix: Fluggerätmechaniker				
Lernfeld 9I: Steuerungsanlagen für Luftfahrzeuge prüfen und instand halten				
Index	Berufliche Handlung	Korrespondierendes Wissen		
		Sachwissen	Prozesswissen	Reflexionswissen
LF9-1	... führen die Prüfung von mechanischen Komponenten unterschiedlicher Steuerungsanlagen durch.	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau • Zugspannung • Torsionsspannung • Hebel und Drehmoment • Längenänderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtprüfung • Zerstörungsfreie Prüfung • Fehlerauswertung • Instandhaltungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlerursachen

BILD 16: Mögliche Umsetzung für Rahmenlehrplan

LITERATUR

- [1] H. Defalque, "Competency-based training and assessment," 2017. [Online]. Available: <https://www.icao.int/ESAF/Documents/meetings/2017/LOC-1%20and%20UPRT%202017/Updated%20Documents/Amdt%205%20to%20PANS-TRG%20v2.pdf>.
- [2] L. Gehr and L. Dunagan, "Companion Proceedings of the 10th International Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK'20)," in *International Learning Analytics and Knowledge Conference*, 2020, pp. 9-12. [Online]. Available: https://www.solaresearch.org/wp-content/uploads/2020/06/LAK20_Companion_Proceedings.pdf. [Online]. Available: https://www.solaresearch.org/wp-content/uploads/2020/06/LAK20_Companion_Proceedings.pdf
- [3] S. Knight and S. Buckingham Shum, "Theory and Learning Analytics," in *The Handbook of Learning Analytics*, C. Lang, G. Siemens, A. F. Wise, and D. Gašević Eds., 1 ed. Alberta, Canada: Society for Learning Analytics Research (SoLAR), 2017, pp. 17-22.
- [4] R. Tenberg, D. Pittich, and A. Bach, *Didaktik technischer Berufe Band 1 Theorie & Grundlagen*. 2019, pp. 1 Online-Ressource (227 Seiten).
- [5] I. Doc, "4444-procedures for air navigation services-air traffic management," *Montreal, QC, Canada: The International Civil Aviation Organization (ICAO)*, 2016.
- [6] EASA, "AMC1 FCL.310; FCL.515(b); FCL.615(b); FCL.835(d) Theoretical knowledge examinations." [Online]. Available: https://www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/L/L2/Lernziele_neu.pdf?blob=publicationFile&v=6
- [7] KMK, *RAHMENLEHRPLAN für den Ausbildungsberuf Fluggerätmechaniker und Fluggerätmechanikerin*, 2013. [Online]. Available: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Fluggeraetmechaniker13-04-25-E.pdf>.
- [8] D. Pittich and R. Tenberg, "Hybrid Learning Landscapes in vocational education," *Journal of Technical Education (JOTED)*, vol. 8, no. 2, pp. 1-12, 2020.
- [9] D. Pittich and T. Ludwig, "Competence development in a student-centered learning environment," in *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 28-31 March 2022, 2022, pp. 1208-1212, doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766790.
- [10] S. Seeber et al., *Kompetenzdiagnostik in der Berufsbildung: Begründung und Ausgestaltung eines Forschungsprogramms*. Bundesinst. für Berufsbildung, 2010.
- [11] B. Rienties, H. Køhler Simonsen, and C. Herodotou, "Defining the boundaries between artificial intelligence in education, computer-supported collaborative learning, educational data mining, and learning analytics: A need for coherence," in *Frontiers in Education*, 2020, vol. 5: Frontiers Media SA, p. 128.
- [12] H. Aldowah, H. Al-Samarraie, and W. M. Fauzy, "Educational data mining and learning analytics for 21st century higher education: A review and synthesis," (in English), *Telemat Inform*, vol. 37, pp. 13-49, Apr 2019, doi: 10.1016/j.tele.2019.01.007.
- [13] P. H. Winne, "Learning analytics for self-regulated learning," *Handbook of learning analytics*, pp. 241-249, 2017.
- [14] M. L. Berger and V. Doban, "Big data, advanced analytics and the future of comparative effectiveness research," *Journal of comparative effectiveness research*, vol. 3, no. 2, pp. 167-176, 2014.
- [15] J. Krumeich, D. Werth, and P. Loos, "Prescriptive control of business processes," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 58, no. 4, pp. 261-280, 2016.
- [16] K. Lepenioti, A. Bousdekis, D. Apostolou, and G. Mentzas, "Prescriptive analytics: Literature review and research challenges," *International Journal of Information Management*, vol. 50, pp. 57-70, 2020.
- [17] A. Riedl, "Didaktik der beruflichen Bildung," in *Pädagogik*, 2., komplett überarb. und erheblich erw. Aufl. ed. Stuttgart, 2011.
- [18] B. Kitchenham, O. P. Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey, and S. Linkman, "Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review," *Information and software technology*, vol. 51, no. 1, pp. 7-15, 2009.
- [19] A. Ruiz-Calleja, L. P. Prieto, T. Ley, M. J. Rodríguez-Triana, and S. Dennerlein, "Learning analytics for professional and workplace learning: A literature review," in *European Conference on Technology Enhanced Learning*, 2017: Springer, pp. 164-178.
- [20] P. Castillo-Segura, C. Fernández-Panadero, C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino, and C. Delgado Kloos, "Objective and automated assessment of surgical technical skills with IoT systems: A systematic literature review," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 112, p. 102007, 2021/02/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.102007>.
- [21] A. K. M. Chan, M. G. Botelho, and O. L. T. Lam, "Use of Learning Analytics Data in Health Care-Related Educational Disciplines: Systematic Review," (in English), *Journal of Medical Internet Research*, Review vol. 21, no. 2, Feb 2019, doi: 10.2196/11241.
- [22] E. Gedrimiene, A. Silvola, J. Pursiainen, J. Rusanen, and H. Muukkonen, "Learning analytics in education: Literature review and case examples from vocational education," *Scandinavian Journal of Educational Research*, vol. 64, no. 7, pp. 1105-1119, Nov 9 2020, doi: 10.1080/00313831.2019.1649718.
- [23] L. M. Oliva-Córdova, A. Garcia-Cabot, and H. R. Amado-Salvatierra, "Learning Analytics to Support Teaching Skills: A Systematic Literature Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 58351-58363, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070294.
- [24] A. Charitopoulos, M. Rangoussi, and D. Koulouriotis, "On the Use of Soft Computing Methods in Educational Data Mining and Learning

- Analytics Research: a Review of Years 2010-2018," *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 30, no. 3, pp. 371-430, Oct 2020, doi: 10.1007/s40593-020-00200-8.
- [25] M. Blumenstein, "Synergies of Learning Analytics and Learning Design: A Systematic Review of Student Outcomes," *Journal of Learning Analytics*, vol. 7, no. 3, pp. 13-32, 2020 2020, doi: 10.18608/jla.2020.73.3.
- [26] Z. Papamitsiou and A. A. Economides, "Learning Analytics and Educational Data Mining in Practice: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence," *Educational Technology & Society*, vol. 17, no. 4, pp. 49-64, Oct 2014.
- [27] M. Liu, Z. Pan, C. Li, S. Han, Y. Shi, and X. Pan, "Using Learning Analytics to Support Teaching and Learning in Higher Education: A Systematic Focused Review of Journal Publications from 2016 to Present," (in English), vol. 20, no. 2, pp. 137-169, 2021 2021.
- [28] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman, and a. t. P. Group, "Reprint—Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement," *Physical Therapy*, vol. 89, no. 9, pp. 873-880, 2009, doi: 10.1093/ptj/89.9.873.
- [29] P. Khatri, K. Raina, C. Wilson, and M. Kickmeier-Rust, "Towards mapping competencies through learning analytics: real-time competency assessment for career direction through interactive simulation," *Assessment & Evaluation in Higher Education*, vol. 45, no. 6, pp. 875-887, 2020.
- [30] C. Chou et al., "Open Student Models of Core Competencies at the Curriculum Level: Using Learning Analytics for Student Reflection," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 32-44, 2017, doi: 10.1109/TETC.2015.2501805.
- [31] S. Buckingham Shum and R. D. Crick, "Learning Analytics for 21st Century Competencies," *Journal of Learning Analytics*, vol. 3, no. 2, pp. 6-21, 2016.
- [32] S. B. Shum and R. D. Crick, "Learning dispositions and transferable competencies: pedagogy, modelling and learning analytics," presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge, Vancouver, British Columbia, Canada, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2330601.2330629>.
- [33] P. Zervas and D. G. Sampson, "Supporting reflective lesson planning based on inquiry learning analytics for facilitating students' problem solving competence development: The inspiring science education tools," in *Authentic Learning Through Advances in Technologies*: Springer, 2018, pp. 91-114.
- [34] A. Rayón, M. Guenaga, and A. Núñez, "Supporting competency-assessment through a learning analytics approach using enriched rubrics," in *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 2014, pp. 291-298.
- [35] M. Buehner, "Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion," 01/01 2011.
- [36] W. Hussy, M. Schreier, G. Echterhoff, and M. Schreier, *Forschungsmethoden in psychologie und sozialwissenschaften für bachelor*. Springer, 2013.
- [37] D. Danner, "Reliabilität—die Genauigkeit einer Messung," *GESIS-Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines): Mannheim, Germany*, pp. 1-12, 2015.
- [38] A. Fuchs, "Methodische aspekte linearer strukturgleichungsmodelle. ein vergleich von kovarianz-und varianzbasierten kausalanalyseverfahren," Research papers on marketing strategy, 3000343628, 2011.
- [39] N.-S. Chen, I.-L. Cheng, and S. W. Chew, "Evolution is not enough: Revolutionizing current learning environments to smart learning environments," *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 26, pp. 561-581, 2016.
- [40] V. Kolchenko, "Can modern AI replace teachers? Not so fast! Artificial intelligence and adaptive learning: Personalized education in the AI age," *HAPS educator*, vol. 22, no. 3, pp. 249-252, 2018.
- [41] S. d. Kultusministerkonferenz, "Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe," *Berlin: Sekretariat der Kultusministerkonferenz*, 2018.
- [42] A. Nussbaumer, E.-C. Hillemann, C. Gütl, and D. Albert, "A competence-based service for supporting self-regulated learning in virtual environments," (in English), *Journal of Learning Analytics*, vol. 2, no. 1, pp. 101-133, 2015.
- [43] R. Heradio, L. de la Torre, and S. Dormido, "Virtual and remote labs in control education: A survey," *Annual Reviews in Control*, vol. 42, pp. 1-10, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.08.001>.
- [44] R. Heradio, L. de la Torre, D. Galan, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, and S. Dormido, "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis," *Computers & Education*, vol. 98, pp. 14-38, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010>.
- [45] J. ter Vrugte, T. de Jong, P. Wouters, S. Vandercruysse, J. Elen, and H. van Oostendorp, "When a game supports prevocational math education but integrated reflection does not," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 31, no. 5, pp. 462-480, 2015, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12104>.
- [46] C. A. Bodnar, D. Anastasio, J. A. Enszer, and D. D. Burkey, "Engineers at Play: Games as Teaching Tools for Undergraduate Engineering Students," *Journal of Engineering Education*, vol. 105, no. 1, pp. 147-200, 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/jee.20106>.
- [47] K. Kiili, K. Moeller, and M. Ninaus, "Evaluating the effectiveness of a game-based rational number training - In-game metrics as learning indicators," *Computers & Education*, vol. 120, pp. 13-28, 2018/05/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.01.012>.

- [48] J. Knobbout and E. van der Stappen, "Where is the Learning in Learning Analytics? A Systematic Literature Review on the Operationalization of Learning-Related Constructs in the Evaluation of Learning Analytics Interventions," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 13, no. 3, pp. 631-645, Jul-Sep 2020, doi: 10.1109/TLT.2020.2999970.
- [49] M.-T. Cheng, L. Rosenheck, C.-Y. Lin, and E. Klopfer, "Analyzing gameplay data to inform feedback loops in The Radix Endeavor," *Computers & Education*, vol. 111, pp. 60-73, 2017/08/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.015>.
- [50] M. Siadaty, D. Gašević, and M. Hatala, "Measuring the impact of technological scaffolding interventions on micro-level processes of self-regulated workplace learning," *Computers in Human Behavior*, vol. 59, pp. 469-482, 2016.
- [51] P. De Lange, A. T. Neumann, P. Nicolaescu, and R. Klamma, "An integrated learning analytics approach for virtual vocational training centers," *IJIMAI*, vol. 5, no. 2, pp. 32-38, 2018.
- [52] D. Hooshyar, M. Pedaste, K. Saks, Ä. Leijen, E. Bardone, and M. Wang, "Open learner models in supporting self-regulated learning in higher education: A systematic literature review," *Computers & Education*, vol. 154, p. 103878, 2020/09/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103878>.
- [53] F. Manganello, F. Pozzi, M. Passarelli, D. Persico, and F. M. Dagnino, "A Dashboard to Monitor Self-Regulated Learning Behaviours in Online Professional Development," *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, vol. 19, no. 1, pp. 18-34, 2021.
- [54] L. Huang and S. P. Lajoie, "Process analysis of teachers' self-regulated learning patterns in technological pedagogical content knowledge development," *Computers & Education*, vol. 166, p. 104169, 2021/06/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104169>.
- [55] E. B. Gregori, J. Zhang, C. Galván-Fernández, and F. d. A. Fernández-Navarro, "Learner support in MOOCs: Identifying variables linked to completion," *Computers & Education*, vol. 122, pp. 153-168, 2018/07/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.014>.
- [56] K. Li, "MOOC learners' demographics, self-regulated learning strategy, perceived learning and satisfaction: A structural equation modeling approach," *Computers & Education*, vol. 132, pp. 16-30, 2019/04/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.003>.
- [57] S. Li, H. Du, W. Xing, J. Zheng, G. Chen, and C. Xie, "Examining temporal dynamics of self-regulated learning behaviors in STEM learning: A network approach," *Computers & Education*, vol. 158, p. 103987, 2020/12/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103987>.
- [58] W. Toh and D. Kirschner, "Self-directed learning in video games, affordances and pedagogical implications for teaching and learning," *Computers & Education*, vol. 154, p. 103912, 2020/09/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103912>.
- [59] T.-T. Wu, "Improving the effectiveness of English vocabulary review by integrating ARCS with mobile game-based learning," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 34, no. 3, pp. 315-323, 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12244>.
- [60] I. Garcia, C. Pacheco, F. Méndez, and J. A. Calvo-Manzano, "The effects of game-based learning in the acquisition of "soft skills" on undergraduate software engineering courses: A systematic literature review," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no. 5, pp. 1327-1354, 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/cae.22304>.
- [61] J. Q. Young, E. S. Holmboe, and J. R. Frank, "Competency-Based Assessment in Psychiatric Education: A Systems Approach," *Psychiatric Clinics of North America*, vol. 44, no. 2, pp. 217-235, 2021/06/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psc.2020.12.005>.
- [62] H. Vargas et al., "Automated assessment and monitoring support for competency-based courses," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 41043-41051, 2019.
- [63] C. Alonso-Fernández, A. Calvo-Morata, M. Freire, I. Martínez-Ortiz, and B. Fernández-Manjón, "Applications of data science to game learning analytics data: A systematic literature review," *Computers & Education*, vol. 141, p. 103612, 2019/11/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103612>.
- [64] I. Mayer et al., "The research and evaluation of serious games: Toward a comprehensive methodology," *British Journal of Educational Technology*, vol. 45, no. 3, pp. 502-527, 2014, doi: <https://doi.org/10.1111/bjet.12067>.
- [65] A. Balderas, J. M. Doderó, M. Palomo-Duarte, and I. Ruiz-Rube, "A domain specific language for online learning competence assessments," *International Journal of Engineering Education*, vol. 31, no. 3, pp. 851-862, 2015.
- [66] M. Bohlouli, N. Mittas, G. Kakarontzas, T. Theodosiou, L. Angelis, and M. Fathi, "Competence assessment as an expert system for human resource management: A mathematical approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 70, pp. 83-102, 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2017.04.017.
- [67] B. Cowley, T. Heikura, and N. Ravaja, "Learning loops – interactions between guided reflection and experience-based learning in a serious game activity," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 29, no. 4, pp. 348-370, 2013, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12013>.
- [68] W. Westera, M. Dascalu, H. Kurvers, S. Ruseti, and S. Trausan-Matu, "Automated essay scoring in applied games: Reducing the teacher bandwidth problem in online training," *Computers & Education*, vol. 123, pp. 212-224, 2018/08/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.010>.
- [69] F. Qin, K. Li, and J. Yan, "Understanding user trust in artificial intelligence-based educational systems: Evidence from China," *British Journal of Educational Technology*, vol. 51, no. 5, pp. 1693-1710, 2020, doi: <https://doi.org/10.1111/bjet.12994>.

- [70] P. Dillenbourg, K. G. Kim, J. Nasir, S. T. Yeo, and J. K. Olsen, "Applying IDC theory to education in the Alps region: a response to Chan et al.'s contribution," *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 14, no. 1, pp. 1-10, 2019.
- [71] H. Drachsler and M. Kalz, "The MOOC and learning analytics innovation cycle (MOLAC): a reflective summary of ongoing research and its challenges," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 32, no. 3, pp. 281-290, 2016, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12135>.
- [72] K. Mangaroska and M. Giannakos, "Learning Analytics for Learning Design: A Systematic Literature Review of Analytics-Driven Design to Enhance Learning," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 12, no. 4, pp. 516-534, 2019, doi: 10.1109/TLT.2018.2868673.
- [73] W. Matcha, N. A. Uzir, D. Gašević, and A. Pardo, "A Systematic Review of Empirical Studies on Learning Analytics Dashboards: A Self-Regulated Learning Perspective," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 13, no. 2, pp. 226-245, 2020, doi: 10.1109/TLT.2019.2916802.
- [74] K. A. Douglas, H. E. Merzdorf, N. M. Hicks, M. I. Sarfraz, and P. Bermel, "Challenges to assessing motivation in MOOC learners: An application of an argument-based approach," *Computers & Education*, vol. 150, p. 103829, 2020/06/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103829>.
- [75] P.-C. V. Manuel, P.-C. I. José, F.-M. Manuel, M.-O. Iván, and F.-M. Baltasar, "Simplifying the Creation of Adventure Serious Games with Educational-Oriented Features," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 22, no. 3, pp. 32-46, 2019.
- [76] J. Moizer et al., "An approach to evaluating the user experience of serious games," *Computers & Education*, vol. 136, pp. 141-151, 2019/07/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.006>.
- [77] J. A. Ruipérez-Valiente and Y. J. Kim, "Effects of solo vs. collaborative play in a digital learning game on geometry: Results from a K12 experiment," *Computers & Education*, vol. 159, p. 104008, 2020/12/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104008>.
- [78] M. Ros et al., "The Effects of an Immersive Virtual Reality Application in First Person Point-of-View (IVRA-FPV) on The Learning and Generalized Performance of a Lumbar Puncture Medical Procedure," *Educational Technology Research and Development*, pp. 1-28, 2021.
- [79] G. Santamaría-Bonfil, M. B. Ibáñez, M. Pérez-Ramírez, G. Arroyo-Figueroa, and F. Martínez-Álvarez, "Learning analytics for student modeling in virtual reality training systems: Lineworkers case," *Computers & Education*, vol. 151, p. 103871, 2020/07/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103871>.
- [80] M. Ramasamy and M. Pilz, "Vocational training for rural populations: A demand-driven approach and its implications in India," (in English), *International journal for research in vocational education and training*, vol. 7, no. 3, pp. 256-277, 2020, doi: 10.1016/j.ijret.2020.101972.
- [81] A. F. Wise and Y. Cui, "Learning communities in the crowd: Characteristics of content related interactions and social relationships in MOOC discussion forums," *Computers & Education*, vol. 122, pp. 221-242, 2018/07/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.021>.
- [82] D.-C. Chen, C.-S. You, and M.-S. Su, "Development of professional competencies for artificial intelligence in finite element analysis," *Interactive Learning Environments*, 2020, doi: 10.1080/10494820.2020.1719162.
- [83] Y. Ocana-Fernandez, L. A. Valenzuela Fernandez, W. E. Mory Chiparra, and S. Gallarday-Morales, "Digital Skills and Digital Literacy: New Trends in Vocational Training," *International Journal of Early Childhood Special Education*, vol. 12, no. 1, pp. 370-377, Jun 2020, doi: 10.9756/INT-JECSE/1211.201016.
- [84] B. L. Barrio et al., "Designing Culturally Responsive and Relevant Individualized Educational Programs," (in English), vol. 53, no. 2, pp. 114-119, 2017 2017.
- [85] L. Jiang, "Virtual Reality Action Interactive Teaching Artificial Intelligence Education System," *Complexity*, vol. 2021, Apr 27 2021, doi: 10.1155/2021/5553211.
- [86] E. Castro, F. Cecchi, M. Valente, E. Buselli, P. Salvini, and P. Dario, "Can educational robotics introduce young children to robotics and how can we measure it?," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 34, no. 6, pp. 970-977, 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.12304>.
- [87] R. Tenberg, T. Backes, and H. Lilla, "Evaluierung von multimedialen Lehr-Lernpaketen in der ersten Phase der Lehrpersonenbildung im berufsbildenden Bereich." [Online]. Available: <https://www.twind.de/files/2023/05/SWOT-Analyse-Medienpakete.pdf>.
- [88] R. Tenberg, A. Bach, and D. Pittich, *Didaktik technischer Berufe Band 2 - Praxis & Reflexion*, 2 st ed. 2019, pp. 1 Online-Ressource (186 pages).