

Technologien und Architekturen

Zur Entwicklung eines digitalen Lernangebots

STEPHAN KLINGNER, MIHAIL MILLER¹

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt aus technischer Perspektive das Vorgehen bei der Implementierung des Lehr-/Lernpakets *ComDigiS**, einem Angebot zur Diagnose und zielgerichteten Vermittlung digitaler Kompetenzen von Studierenden. Der Beitrag beginnt mit einer Darstellung der Rahmenbedingungen, innerhalb derer der Entwicklungsprozess stattfand. Im weiteren Verlauf erfolgt eine Betrachtung der Erhebung, Kategorisierung und Gewichtung der Anforderungen verschiedener Interessengruppen. In Bezug auf die technischen Aspekte werden verschiedene Optionen, Standards und Entwicklungswerkzeuge vorgestellt und hinsichtlich projektbezogener Kriterien unterschieden. Außerdem wird ein Überblick der daraus abgeleiteten Systemarchitektur gegeben, wobei der Schwerpunkt auf den Interaktionen zwischen den Softwarekomponenten liegt. Die Projektergebnisse werden abschließend im Rahmen der Evaluation von *ComDigiS** anhand verschiedener Methoden und Zielgruppen überprüft.

Die Ergebnisse des Projekts dienen als Grundlage für die Entwicklung weiterer Bildungsformate und werden quelloffen (Open Source) und als Open Educational Resources (OER) zur Verfügung gestellt.

Schlüsselwörter: digitales Lernportal, IT-Infrastruktur, Anforderungen, Adaptierbarkeit, digitale Kompetenzen

Abstract

This article presents the technical development of the *ComDigiS** teaching and learning package. *ComDigiS** was developed to diagnose and teach digital competencies to students in higher education. The article begins with a description of the conditions and requirements for the development process. This is followed by an examination, categorisation, and weighting of the requirements of various stakeholders. Regarding technical aspects, various options, standards, and development tools are presented and differentiated according to project-related criteria. In addition, an overview of the resulting system architecture is given, focusing on the interactions between the software components. The evaluation of *ComDigiS** used various methods and target groups to demonstrate the importance of harmonising different requirements.

1 Institut für Angewandte Informatik (InfAI) e.V. Kontakt: klingner@infai.org; miller@infai.org

The results of the project will serve as a basis for the development of further educational formats and will be made available as open source (OS) and open educational resources (OER).

Keywords: digital learning platform, it infrastructure, requirements, adaptability, digital competencies

1 Einführung

Aus softwaretechnischer Sicht spielen für die Entwicklung eines digitalen Lehr-/Lernpakets insbesondere die gewählten Technologien und Architekturen eine entscheidende Rolle, um Bedienbarkeit, Passgenauigkeit und Nachhaltigkeit eines Angebots zu gewährleisten. Während die Gestaltung der Nutzersicht schon vielfach betrachtet wurde (Freire, Arezes & Campos, 2012), fokussiert dieser Beitrag primär die Perspektive von Autor:innen und Betreiber:innen und skizziert aus dieser Anforderungsperspektive ein systematisches Vorgehen für die Entwicklung einer langfristig lebendigen IT-Infrastruktur. An einem konkreten Praxisbeispiel sollen Designentscheidungen hergeleitet und transparent gemacht, Beispiele für Umsetzungen gegeben und das Evaluationsvorgehen vorgestellt werden. Ziel ist es, durch die Transparenz über den vollständigen Implementierungsprozess auch auf andere Entwicklungsprojekte übertragbare Erkenntnisse zu vermitteln. Die Zielgruppe sind dabei weniger technische Expert:innen als vielmehr Praktiker:innen, wodurch die Betonung auf der Anwendbarkeit und Praxisrelevanz der erzielten Ergebnisse liegt.

Im folgenden Beitrag werden zunächst die statischen Rahmenbedingungen vorgestellt, welche die nicht änderbaren Voraussetzungen des Entwicklungsprozesses definieren. Dies ist zugleich für die Übertragbarkeit der Ergebnisse relevant, denn signifikante Abweichungen von diesen Parametern in anderen Projekten können zu anderen Ergebnissen führen.

Der weitere Verlauf des Beitrags orientiert sich chronologisch an dem Softwareentwurfsprozess nach Balzert (2011a), von dem eine Auswahl der Arbeitsschritte dargestellt wird. Dabei werden zunächst die Schritte zur Erhebung der Anforderungen aufgeführt (Abschnitt 2). Anschließend werden aus den Anforderungen konkrete Schritte für die Softwareinfrastruktur sowie die Implementierungsergebnisse vorgestellt (Abschnitt 3). Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Darstellung von Funktionalitäten und Datentransferprozessen und weniger auf technischen Details. Den Abschluss des Papers bildet die Präsentation der verschiedenen, den Entwicklungsprozess begleitenden Evaluationschritte (Abschnitt 4).

2 Anforderungserhebung

Anforderungen an ein Lernangebot können auf verschiedenen Ebenen und aus verschiedenen Perspektiven entstehen. Nachfolgend wird ein Blick auf die organisatorischen, inhaltlichen und wissenschaftlichen Aspekte geworfen, welche das Potenzial haben, die Ausgestaltung der Lösung zu beeinflussen.

2.1 Projektrahmen

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen des geförderten Forschungsprojekts „DigiTaKS“ durchgeführt, dessen Ziele, Partner:innen und Inhalte detaillierter in der Einleitung zum Sammelband (vgl. Schmidt-Lauff im vorliegenden Sammelband) beschrieben werden. Der Projektkontext ist insofern von Relevanz, als dass Drittmittelprojekte hinsichtlich Rollen oder Anforderungsgeber:innen im Kontext des Requirements Engineerings eine andere Akteursstruktur und -hierarchie im Vergleich zu herkömmlichen Softwareprojekten aufweisen.

Dies beginnt bereits in der Initiierungsphase des Projekts vor seiner Laufzeit, indem die Anforderungen zunächst im Projektantrag bzw. im Arbeitsplan definiert werden, wobei sie einerseits abstrakt gehalten sind und andererseits direkt aus dem Konsortium heraus festgelegt werden. Während der Projektlaufzeit ist die Rolle des Auftraggebers nicht explizit festgelegt und wird nur mittelbar durch die Konsortialführung oder den Projektträger übernommen. Die Umsetzung im Projekt erfolgt somit eher in Eigenverantwortung der Konsortialpartner:innen, möglichst im Einklang mit den zuvor definierten Zielen. Im Projekt selbst werden, insbesondere im Falle der Förderung durch Gelder der öffentlichen Hand, oft auch konsortiumsübergreifende Ziele verfolgt, die von gesamtgesellschaftlicher Relevanz sind. Dies kann zur Folge haben, dass einige relevante Stakeholder nicht unmittelbar im Projekt vertreten sind. Dies betrifft nicht nur Endkund:innen oder Benutzer:innen, sondern auch Betreiber:innen und andere Beteiligte. Aus diesem Grund ist es wichtig, den durch das Projekt definierten Rahmen darzustellen. Zugleich ist festzuhalten, dass dieser keine zwingende Maßgabe darstellt. Abweichungen vom Projektplan sind möglich, sollten jedoch stets gut begründet sein.

Die Ziele des Teilprojekts sind in der Projektbeschreibung definiert und umfassen die Entwicklung eines Tools zur Diagnose und Vermittlung digitaler Kompetenzen für Studierende. Das Tool soll es ihnen ermöglichen, die gesamte Bandbreite digitaler Kompetenzen auf unterschiedlichen Niveaustufen im Selbststudium zu erlernen, basierend auf individuellen Bedürfnissen und Vorkenntnissen. Primär wurde dabei der Einsatz an der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU) anvisiert. Daraus folgten beispielsweise die Notwendigkeit der Kompatibilität mit dem dort eingesetzten Lernmanagementsystem ILIAS sowie die Notwendigkeit der Berücksichtigung einiger, teilweise sehr spezifischer Rollen in der Anforderungserhebung.

Darüber hinaus sollten die im Projekt entstandenen Ergebnisartefakte auch die Entwicklung weiterer Angebotsformate an Hochschulen oder in der Erwachsenenbildung unterstützen. Dafür wurde die Bereitstellung der Projektergebnisse als Open Educational Resource (OER) für den hochschulübergreifenden Transfer definiert. Hier zeigt

sich bereits eine zu lösende Dichotomie zwischen Spezifität und Allgemeingültigkeit – sowohl auf inhaltlicher als auch auf technischer Ebene.

In der Projektarbeit wurde angestrebt, die zunächst abstrakten Anforderungen zu substantiieren und konkretisieren, inhaltlich-technische Details auszuarbeiten und gegebenenfalls Kompromisse bei konträren Anforderungen zu finden. Dieser Prozess erfolgte, neben verschiedenen Workshops zu angrenzenden Themen innerhalb des Konsortiums, auch im Rahmen eines User-Story-Workshops, dessen Methodik und Ergebnis im folgenden Abschnitt dargestellt werden.

2.2 Anforderungen aus der Praxis

Bei der Entwicklung eines E-Learning-Angebots existiert eine Vielzahl von Parteien mit unterschiedlichen Anforderungen an dieses Lernangebot (Choudhury & Pattnaik, 2020). Zu den Anforderungsgebern gehörten Lehrende, Lernende, Betreiber:innen und Entwickler:innen, aber auch, aus dem Projektkontext heraus, Vorgesetzte oder Mittelgeber:innen. Im Projektkonsortium selbst waren nur einige Stakeholder direkt vertreten. Weiterhin bestand zwischen den Stakeholdern nur in wenigen Fällen eine Hierarchie, was die Priorisierung oder Aggregation von Anforderungen erschwerte.

Um dennoch die Anforderungen möglichst in ganzer Breite und gesichert mit limitierten Projektressourcen zu erheben, wurde ein Workshop mit dem Konzept der User Stories mit Vertreterinnen und Vertretern aus dem Projektkonsortium umgesetzt. Dies ist insbesondere für nicht-technische Akteure ein wirkungsvoller Ansatz zur Strukturierung des Requirements Engineerings (Lucassen, Dalpiaz, van der Werf & Brinkkemper, 2016). Das Aufgreifen von Perspektiven sollte hierbei keineswegs auf die Endbenutzer (Studierenden) beschränkt sein, sondern die Interessen aller Rollen aggregieren, die an der Lösung ein irgendwie geartetes Interesse besitzen (Stakeholder). Dementsprechend könnte auch von „Stakeholder Stories“ gesprochen werden, zum besseren Verständnis wird jedoch der gebräuchliche Begriff der User Stories verwendet.

Die Integration der Anforderungen von im Konsortium nicht vertretenen Rollen wurde indirekt erzielt. Zum einen geschah dies über die langjährige Erfahrung der Workshop-Teilnehmer:innen in dem Themenfeld, zum anderen konnten auch Erkenntnisse von im Projektverlauf durchgeführten Interviews über die Teilnehmenden integriert und auf diese Weise Anforderungen an die Lösung gesammelt und priorisiert werden.

Zur Förderung eines tieferen Verständnisses und einer verbesserten Einfühlung in die unterschiedlichen Rollen innerhalb des Erhebungsprozesses wurde das Konzept der Personas implementiert. Dieses methodische Vorgehen ermöglicht es, fiktive, aber realitätsnahe Charaktere zu entwickeln, die auf typischen Merkmalen und Verhaltensweisen der Zielgruppen basieren. Durch die Nutzung dieser Personas können die verschiedenen Perspektiven und Bedürfnisse der beteiligten Akteure besser erfasst und in den Erhebungsprozess integriert werden, was zu einer höheren Relevanz und Präzision der erhobenen Daten führt.

Der Workshop wurde als ganztägige Veranstaltung umgesetzt. Aufgrund verschiedener interaktiver Elemente erfolgte die Teilnahme ausschließlich in Präsenz. Das Vorgehen im Workshop gliederte sich in fünf Schritte:

1. Sammlung verschiedener Stakeholder
2. Clustering der Stakeholder nach Interessen- bzw. Tätigkeitsgebieten
3. Erstellung von Personas
4. Erstellung von User Stories
5. Priorisierung der User Stories durch gemeinsame Bewertung der Bedeutsamkeit der User Stories für den Erfolg der zu entwickelnden Lösung

Die Schritte wurden in einer Gruppe von sieben Teilnehmenden (vier Teilnehmerinnen und drei Teilnehmer) und einem Moderator durchgeführt. Die Erhebung erfolgte in selbstständiger Erarbeitung durch die Teilnehmenden und anschließender gemeinsamer Diskussion mit Unterstützung üblicher, nicht-digitaler Moderationshilfsmittel (Post-its, Poster, ...).

Ziel des ersten Schrittes war es, möglichst vollständig alle potenziellen Stakeholder zu erfassen. Diese sind die Personen oder Personengruppen, welche mit der Lösung interagieren, Ansprüche an die Lösung oder Einfluss auf den Erfolg oder die Art der Nutzung haben werden.

Im Anschluss an die Sammlung der verschiedenen Rollen wurden diese thematischen Clustern, nach Interessenlagen bzw. Tätigkeitsbereichen, zugeordnet, um Gruppen zu bilden, die sich in ihren Bedürfnissen und Problemen ähnlich sind. Auf Basis der geclusterten Stakeholder wurden durch die Gruppe der Teilnehmenden des Workshops sieben Personas identifiziert (siehe Tabelle 1).

Für diese wurden zur Förderung der Empathie für die Stakeholder die Teilnehmenden um die Erstellung eines Steckbriefs gebeten. Hierzu sollte eine kurze Beschreibung der Biografie sowie des gegenwärtigen Verhaltens der Persona erstellt werden. Die Teilnehmenden konnten die Zuordnung dabei frei wählen. Es wurden jeweils die Parameter

- Name/Bild (optional),
- Biografie,
- Verhalten sowie
- Wünsche, Bedürfnisse und Probleme

zusammengetragen und daraus konsistente Personas erstellt. Der Cluster der übergeordneten Interessensträger wurde ausgeklammert, da sie keine direkten Anforderungsgeber sind bzw. deren Bedarfe zudem im Projektrahmen definiert sind.

Tabelle 1: Stakeholder, Cluster und zugehörige Persona

Stakeholder	Cluster	Persona
Bundeswehr-Bildungszentrum	Prüfende	Melanie, Prüfende
Prüfungsamtmitarbeitende	Prüfende	
Personalentwickler Bundeswehr	Prüfende	
HSU-Qualitätssicherung	Prüfende	
Gesellschaft	Übergeordnet	Keine Repräsentation als Persona, weil keine direkten Anforderungsgeber, nur sekundär von Interesse
Politiker:innen	Übergeordnet	
Arbeitsmarkt	Übergeordnet	
Zukünftiger Arbeitgeber	Übergeordnet	
Professoren, Lehrende, Dozierende	Dozierende	Felix, Dozierender
Partneruniversitäten	Dozierende	
Dekanin	Dozierende	
Nutzungsforschung	Forschende	Julia, Forschende
Sektion EB/DG E Wissenschaft	Forschende	
Forschungsteam	Forschende	
Studierende BW/HSU	Studierende	Paula, Studierende
Studierende Partnerunis	Studierende	
Familie der Teilnehmenden	Studierende	
Projekträger/BMVG/Mittelgeber	Militär	Fr. Müller, militärische Vorgesetzte
Bundeswehr/Militärische Vorgesetzte	Militär	
Sicherheitsbeauftragter	Militär	
Militärische Ausbildung (DVO)	Militär	
Content-Entwickler	Inhaltlich-technische Weiterentwicklung	Johann, (Weiter-)Entwickler
e-Tutoren	Weiterentwickelnde	
Dozierende	Weiterentwickelnde	
Technische Umsetzer:in	Weiterentwickelnde	
IT HSU	IT	Peter, IT-Admin
IT-Admins/Systemadministratoren	IT	
Plattformbesitzer (HSU, andere Unis)	IT	

Aus den Personas heraus wurden im nächsten Schritt zahlreiche User Stories erstellt. Diese entsprachen der üblichen Struktur „Als (Rolle/Stakeholder) möchte ich (durchzuführende Aktion), um (Ziel zu erreichen)“ (Cohn, 2004). Diese wurden im Workshop auf Zetteln erstellt und den Bedarfen, Wünschen und Problemen der Personas zugeordnet.

Abschließend wurden die 28 gesammelten User Stories priorisiert. Dazu bekamen alle Teilnehmenden vier Klebepunkte, die frei über alle User Stories platziert werden konnten. Mehrfachnennungen waren möglich. Die daraus entstehenden 16 User Stories (5 × 3 Punkte, 5 × 2 Punkte, 6 × 1 Punkt) stellen somit die durch die Teilnehmenden am relevantesten empfundenen Anforderungen an die Lösung dar, Tabelle 2 zeigt diese in der Übersicht.

Tabelle 2: Priorisierte User Stories

Bewertung	User Story
3 Punkte	<p>Als Studierende:r möchte ich klare Anweisungen, die an mich angepasst sind, um meine Lernziele effektiv und effizient zu erreichen.</p> <p>Als Studierende:r möchte ich, dass meine Vorkenntnisse berücksichtigt werden, um redundantes Lernen zu vermeiden.</p> <p>Als Militärische:r Vorgesetzte möchte ich, dass Studierende auf (potentielle) Gefahren digitaler Technologien vorbereitet werden, damit sie sich sicher im digitalen (Cyber- und Informations-) Raum bewegen können.</p> <p>Als Weiterentwickler:in möchte ich eine vollständige und übersichtliche Dokumentation, um Strukturlosigkeit zu vermeiden und Codesauberkeit bzw. Verständnis zu ermöglichen.</p> <p>Als Dozierende:r möchte ich, dass Studierende eine kritisch-reflexive Haltung entwickeln, damit sie Inhalte/Diskurse hinterfragen können. Transferleistungen sind ebenfalls erwünscht.</p>
2 Punkte	<p>Als Studierende:r möchte ich ein kurzes, knappes Instrument, um mein Studium schnell abzuschließen.</p> <p>Als Studierende:r möchte ich einen Kurs zum wissenschaftlichen Arbeiten belegen, um meine Recherchefähigkeiten und Kenntnisse der Erstellung einer Hausarbeit zu verbessern.</p> <p>Als Militärische:r Vorgesetzte möchte ich, dass das Tool kreative (Lern-) Prozesse bei den Studierenden anregt, damit sie während ihrer militärischen Verwendung innovative, zielgerichtete und handlungsbezogene Prozesse ausführen.</p> <p>Als Prüfende:r möchte ich ein selbsterklärendes, informatives Instrument, damit mich weniger nervende Anfragen erreichen.</p> <p>Als Dozierende:r möchte ich mit dem System interagieren und Inhalte einspeisen, um Lernfortschritte sicherzustellen.</p>
1 Punkt	<p>Als Studierende:r möchte ich von überall/mit jedem Endgerät und (ggf.) mit Hilfsgeräten auf die Inhalte zugreifen können, um in jedem Kontext lernen zu können.</p> <p>Als Studierende:r möchte ich eine Einführung in digitale Systeme und Abläufe/Techniken erhalten, um erfolgreich zu studieren.</p> <p>Als Prüfende:r möchte ich ein Prüfschema anwenden, um Modulaktualisierungen in die Zertifizierung aufzunehmen.</p> <p>Als Weiterentwickler:in möchte ich (technische und inhaltliche) Entwicklungsziele kennen, um effizient nachgefragte Angebote zu erschaffen.</p> <p>Als Forschende:r möchte ich, dass das Tool stets auf dem aktuellsten Stand ist, um Studierenden die aktuellen Kompetenzen zu vermitteln.</p> <p>Als IT-Admin möchte ich eine geringe Ressourcenauslastung durch wenige neue Technologien, um die Vielfalt der Systeme beherrschbar zu halten.</p>

Da es im weiteren Verlauf weder zielführend noch dem Umfang angemessen ist, einzelne implementierte Funktionalitäten den User Stories zuzuordnen, erfolgt diese

Zuordnung aggregiert und indirekt. Dazu werden die Anforderungen abstrakt unter den beiden übergeordneten Zielen *Adaptierbarkeit* und *Transparenz* zusammengefasst. Diese bilden demzufolge auch den strukturellen Rahmen des Abschnitts 3. Ebenso werden an dieser Stelle nur die technikbezogenen User Stories betrachtet, die Beschreibung des Vorgehens bei der Inhaltserstellung ist in dem Beitrag von Schubert et al. dieses Sammelbandes beschrieben.

Adaptierbarkeit umfasst zum einen die Perspektive der/des Lernenden, u. a. indem durch Vorwissensprüfung und -aktivierung die Präsentation redundanter Inhalte vermieden werden soll, um so einen effizienten und effektiven Lernprozess zu ermöglichen. Dafür sollte eine größtmögliche Relevanz der Inhalte erreicht werden, was aufgrund der thematischen Breite digitaler Kompetenzen und der Zielgruppe wiederum eine große inhaltliche Varianz erfordert. Daher, und auch aus dem Wunsch einer selbstgesteuerten Nutzung, ergibt sich die Notwendigkeit für entsprechende Freiheiten bei der nutzerindividuellen Ausgestaltung der Lernpfade. Weitere Nebenbedingungen für die Optimierung der Lernpfade bestehen in Anpassungen der Darstellung der Lerninhalte an verschiedene Endgeräte und in der Berücksichtigung individueller Lerntempi.

Zum anderen umfasst die Adaptierbarkeit auch die Perspektive der Lehrenden bzw. des Anbieters. Hierbei sind Anforderungen wie Aktualisierbarkeit und Erweiterbarkeit zu berücksichtigen, ebenso sollten Funktionalitäten zur pädagogisch geleiteten Individualisierung der Lerninhalte umgesetzt werden.

Diese Aspekte spielen auch eine Rolle bei der Realisierung des Ziels der Transparenz. Um Autor:innen oder Betreiber:innen eine effiziente Aktualisierung von Inhalten in einem umfangreichen Lernangebot zu ermöglichen, bedarf es eines Überblicks vorhandener Informationen. Daher ist eine transparente Darstellung der Lerninhalte von großer Bedeutung. Auf technischer Ebene erfordert Transparenz weiterhin eine klare Anforderungsspezifikation und Dokumentation hinsichtlich Hard- und Software. Gleichzeitig empfiehlt sich unterstützend noch eine geringe Komplexität der Umsetzung, um einen reibungslosen Betrieb und ggf. eine zielgerichtete Fehlersuche zu gewährleisten. Im Hinblick auf die Lernenden steht Transparenz in direkter Verbindung zur Benutzeroberfläche, wobei eine klare Nutzerführung und die Minimierung unnötiger Funktionen insbesondere bei großem inhaltlichem Umfang von essenzieller Bedeutung sind. Es wird deutlich, dass die Ziele der Adaptierbarkeit und Transparenz mitunter im Widerspruch zueinanderstehen und somit Kompromisse notwendig machen.

2.3 Technologien und Datenaustauschformate

Im Folgenden werden verschiedene technologische Optionen – Werkzeuge und Datenaustauschformate – vorgestellt, die im Rahmen der Entwicklung, Bereitstellung und Verwaltung von Lerninhalten im Kontext des Projekts DigiTaKS* bewertet und teilweise adaptiert wurden. Die Wahl der technologischen Optionen hing von den spezifischen Anforderungen und Zielen ab, die im vorangegangenen Abschnitt näher erläutert wurden. In diesem Abschnitt sollen die entsprechenden Optionen vorgestellt und damit verbundene Entscheidungsprozesse transparent dargestellt werden.

2.3.1 Lernmanagementsysteme (LMS)

Lernmanagementsysteme (LMS) sind darauf ausgelegt, verschiedene Aspekte des Lehr- und Lernprozesses zu unterstützen (Jafari et al., 2016; Bere et al., 2019). Um den Dialog zwischen Lehrenden und Lernenden zu fördern, unterstützen sie verschiedene Kommunikationskanäle wie Foren und Direktnachrichten. Darüber hinaus ermöglichen LMS die einheitliche Bereitstellung, Organisation und Verwaltung von Kursen, einschließlich der Verfolgung des Lernfortschritts der Studierenden. In diesem Zusammenhang können die Dozierenden Lernmaterialien in verschiedenen Formaten bereitstellen.

LMS spielen in der Hochschulbildung in Deutschland eine zentrale Rolle. Eine Umfrage des ZKI-Arbeitskreises „Strategie und Organisation von Softwarelösungen an Hochschulen“ aus dem Jahr 2021 bestätigt dies (Dreyer, 2021). Von den 89 befragten Hochschulen haben 71 über den Einsatz eines LMS berichtet. Laut der Umfrage nutzen um die 83,1 % dieser Universitäten mindestens eines der folgenden drei LMS: Moodle (52,1 %), ILIAS (18,3 %) und Stud.IP (12,7 %). Ebendiese haben einiges gemeinsam:

- Alle drei LMS sind Open-Source-Software (OS). Das bedeutet, dass der Quelltext frei zugänglich ist und von Interessenten eingesehen, kopiert und verändert werden kann.
- Diese LMS können ohne Lizenzgebühren genutzt werden, was die Hürden eines Einsatzes reduziert.
- Die LMS verfügen über gut vernetzte Gemeinschaften von Interessengruppen und Entwicklern. Diese Netzwerke fördern die kontinuierliche Entwicklung und Verbesserung der Software. Die Initiative „Open Source LMS“ ist aus einer gemeinsamen Community-Arbeitsgruppe des Hochschulforums Digitalisierung entstanden und treibt die Weiterentwicklung von Open-Source-Lösungen in den Bereichen OER und LMS voran (Kater & Deimann, 2022).

2.3.2 Datenaustauschformate

Standardisierte Datenaustauschformate sind für Interoperabilität unerlässlich. Sie legen einheitliche Spezifikationen für die Implementierung von Schnittstellen fest und lösen so das „Vendor-Lock-in“-²-Problem, sodass die Lerninhalte mit LMS verschiedener Anbieter:innen kompatibel sind. Die wichtigsten Standardisierungsorganisationen in diesem Kontext und ihre Datenaustauschformate werden im Folgenden kurz vorgestellt.

2.3.2.1 AICC

Das Aviation Industry Computer-based Training Committee (AICC) wurde 1988 gegründet, um Richtlinien und Standards für computergestützte Schulungen in der Luftfahrtindustrie zu entwickeln. Die AICC-Richtlinien bildeten die Grundlage für viele nachfolgende Spezifikationen. Das von ihnen entwickelte Datenmodell für Computer Managed Instruction (CMI) wurde von der ADL Initiative in SCORM und CMI-5 adaptiert (Bergstrom, 2004).

2 Durch die Nutzung spezifischer Soft- oder Hardwareangebote eines Anbieters entsteht eine so starke Abhängigkeit an diesen, dass ein Wechsel zu einem anderen Anbieter mit erheblichen Kosten oder Schwierigkeiten verbunden ist.

2.3.2.2 ADL

Die Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative ist eine vom Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten geführte Organisation, die sich mit der Entwicklung von E-Learning-Standards beschäftigt. ADL ist für die Entwicklung mehrerer stark verbreiteter Standards im Bereich des E-Learning verantwortlich, darunter SCORM, xAPI und CMI-5.

2.3.2.2.1 SCORM

Der Standard SCORM (Shareable Content Objects Reference Model) basiert auf einer objektorientierten Architektur. Die am weitesten verbreitete Version, SCORM 1.2, umfasst zwei Hauptkomponenten (ADL Initiative, 2001):

- **Content Aggregation Model (CAM):** definiert, wie Lerninhalte in Paketen aggregiert und organisiert werden sollen.
- **Run-Time Environment (RTE):** definiert, wie SCOs mit dem LMS interagieren und wie Lernstandsdaten ausgetauscht werden (über eine JavaScript-API).

SCORM 2004 definiert darüber hinaus, wie Lernpfade und Navigationsregeln implementiert werden können (Jesukiewicz, 2009).

2.3.2.2.2 xAPI

Die xAPI (Experience API), auch bekannt als Tin Can API, basiert auf einer flexiblen und erweiterbaren Architektur, die es ermöglicht, Lernaktivitäten über verschiedene Plattformen und Geräte hinweg nachzuverfolgen (Johnson, Werkentin & Hernandez, 2020). Hauptkomponenten von xAPI sind:

- **Statements:** JSON-basierte Aussagen, die Lernerfahrungen in einem „Actor-Verb-Object“-Format beschreiben.
- **Learning Record Store (LRS):** Speichert die Statements und stellt sie zur Analyse bereit.

Die xAPI ermöglicht die Aufzeichnung und Analyse von formellen und informellen Lernaktivitäten an verschiedenen Orten, nicht nur innerhalb eines LMS.

2.3.2.2.3 CMI-5

CMI-5 beschreibt ein Profil mit spezifischen Regeln für die Verwendung von xAPI innerhalb eines LMS (Miller, Rutherford, Pack, Vilches & Ingram, 2021). Die Kombination der SCORM-artigen Kursstruktur und der Unterstützung verschiedener Lernmodalitäten durch xAPI macht CMI-5 zu einem attraktiven Format, da es die Vorteile beider Ansätze vereint. Dennoch erfordert es die Einrichtung eines LRS und damit – zumindest im Fall von ILIAS (Version ≤ 9.1) – den Ausbau der technischen Infrastruktur über das LMS hinaus.

2.3.2.4 TLA

Die Total Learning Architecture (TLA) ist ein ganzheitlicher Ansatz, der verschiedene Normen und Standards integriert, um ein umfassendes und interoperables Lernökosystem zu schaffen (Johnson & Miller, 2023). Dazu gehören Standards wie **IEEE 1484.12.1** (IEEE, 2020) und **IEEE 1484.20.1** (IEEE, 2008), welche die Beschreibung und Verwaltung von Lernressourcen und Kompetenzen unterstützen.

TLA hat klare Stärken, wie z. B. die explizite Trennung von Kompetenzen und ein starker Fokus auf Adaptivität. Demgegenüber stehen jedoch die höhere technische Komplexität und die damit verbundenen Kosten.

Das ADL Maturity Capability Model bietet einen strukturierten Ansatz für die Migration von xAPI zu einer vollwertigen TLA-Implementierung (Malone, Hernandez, Reardon & Liu, 2020). Der Übergang umfasst mehrere Schritte, darunter die Erstellung und Verwaltung von Lernprofilen, die Entwicklung eines Systems zur dynamischen Bereitstellung von Lerninhalten und die Implementierung eines Kompetenzmanagementsystems.

2.3.2.3 1EdTech

1EdTech ist eine globale Non-Profit-Organisation, die auf gemeinschaftlicher Basis E-Learning-Standards entwickelt (1EdTech Consortium, 2024). Zu den wichtigsten Standards von 1EdTech gehören:

- **Question and Test Interoperability (QTI):** Die einheitliche Formatierung von Tests und Fragen für den einfachen Austausch und die Wiederverwendung wird über QTI definiert.³
- **Learning Tools Interoperability (LTI):** Die Kommunikation zwischen Lernwerkzeugen kann mittels LTI umgesetzt werden (z. B. Lernpaket \Leftrightarrow LMS).⁴ LTI bietet Flexibilität bei der Integration externer Lernwerkzeuge, erfordert jedoch eine komplexe Einrichtung, einen zusätzlichen Server und eine weniger umfangreiche Berichterstattung über Lernaktivitäten (McLean, 2023).

Darüber hinaus definiert 1EdTech mit der Common Cartridge Architecture ein integriertes Format zur Standardisierung der Organisation von Lerninhalten, welches neben den oben erwähnten Standards auch die Paketierung von Lerninhalten festlegt.

2.3.2.4 Fazit zu Datenaustauschformaten

SCORM 1.2 eignet sich bestens für eine zügige Integration und direkte Anwendung. Obwohl dieser Standard aufgrund seines langjährigen Bestehens in Fachkreisen oft als veraltet angesehen wird, genießt er immer noch die breiteste Unterstützung und die höchste Portabilität zwischen LMS (Mair, 2022). Außerdem können dank zahlreicher Authoring-Tools SCORM-kompatible Inhalte mit geringem Entwicklungsaufwand erstellt werden. Die Entscheidung für ein geeignetes Datenaustauschformat für die zu erstellenden Lerninhalte hängt auch von der technischen Infrastruktur und der Res-

3 <https://www.1edtech.org/standards/qti>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

4 <https://www.1edtech.org/standards/lti>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

sourcesverfügbarkeit der Bildungseinrichtungen ab, die es nutzen. Langfristig können fortschrittlichere Standards wie xAPI und TLA, die eine Erweiterung der technischen Infrastruktur erfordern, mehr Interaktivität und Adaptivität bieten. Für die vorliegenden Rahmenbedingungen wurde sich jedoch gemeinsam im Konsortium für eine SCORM-basierte Lösung entschieden. Zu diesem Zweck wurde eine Umfrage erstellt, bei der die Teilnehmenden des Verbundmeetings am 01.12.2021 mit folgenden drei Aussagen konfrontiert wurden, nachdem ihnen die Eigenschaften von SCORM, xAPI und TLA erläutert wurden:

1. **e-Learning-Technologien sollten vor allem Folgendes erlauben:**
 - Einfache Einbindung in unterschiedliche Lernmanagementsysteme [1 Punkt]
 - Vielfalt an Interaktionsmöglichkeiten des Lernenden [2 Punkte]
 - Kompetenzorientierung und -management [3 Punkte]
2. **Adaptierbarkeit bzw. Adaptivität sollte vor allem sichergestellt werden durch:**
 - Vorwissenstest, um bereits beherrschte Kursinhalte auszublenden [1 Punkt]
 - Blended-Learning-Szenarien auf Basis von Analysen vielfältiger Interaktionsmöglichkeiten [2 Punkte]
 - Vollständige Transparenz über bereits erlangte Kompetenzen und automatisierte Empfehlungen zur Erweiterung des Kompetenzstandes [3 Punkte]
3. **Das zu entwickelnde System sollte vor allem:**
 - Ohne großen Betriebs-/Wartungsaufwand mehrere Jahre lang funktionsfähig und dementsprechend leicht transferierbar sein. [1 Punkt]
 - Unter mittlerem Betriebs-/Wartungsaufwand zukunftsfähig sein (u. a. Dokumentierung und Analyse diverser Interaktionen erlauben) [2 Punkte]
 - Trotz hohem Betriebs-/Wartungsaufwand alle Aspekte eines lebenslangen Lernprozesses zusammenhängend abdecken. [3 Punkte]

Jede teilnehmende Person sollte jede der drei o. g. Aussagen nach ihren Prioritäten vervollständigen. Die Punkte für die Optionen verhalten sich proportional zum Implementierungsaufwand und stehen stellvertretend für die drei Standards in ihrer Nennungsreihenfolge. Nach Aufsummierung wurde in dem Wertebereich 3–5 Punkte SCORM als gewünschte Lösung zugeordnet (6-mal), bei 5–7 Punkten xAPI (3-mal) und bei 7–9 Punkten TLA (2-mal). An der Umfrage nahmen 11 Personen teil. Die Autoren dieses Artikels und damit die Verantwortlichen für die Umsetzung waren von der Abstimmung ausgeschlossen.

2.3.3 Authoring-Tools

Bei einigen LMS, wie ILIAS, besteht die Möglichkeit, Lerninhalte gemäß den Standards direkt auf der Plattform zu erstellen. Allerdings zeigt die Entscheidung, den SCORM-Online-Editor in ILIAS ab der Version 8 nicht mehr anzubieten (Killing, 2022), dass die langfristige Pflege von Funktionen, die nicht zum Kernbereich des LMS gehören, fragil ist. Der Verzicht auf diese Funktion war eine strategische Entscheidung des ILIAS-Konsortiums, um die Ressourcen auf wesentliche und stärker nachgefragte Funktionen zu konzentrieren und damit die Gesamtqualität des LMS zu verbessern.

Für die Erstellung von LMS-kompatiblen Lerninhalten gibt es zahlreiche spezialisierte Werkzeuge – sogenannte Authoring-Tools. Sie versprechen eine schnelle Erstellung von Lerninhalten, die an die sich ständig ändernden Lerngewohnheiten angepasst sind und standardisierte Austauschformate unterstützen. Außerdem haben externe Authoring-Tools aus kommerzieller Sicht einen viel stärkeren Anreiz, die Übertragbarkeit von Lerninhalten auf verschiedene LMS zu gewährleisten, als LMS-interne Tools.

2.3.3.1 Suchkriterien

Die Wahl des richtigen Authoring-Tools hat einen erfolgskritischen Einfluss auf die Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit der Lösung und ist daher von entscheidender Bedeutung. Bei der Auswahl des geeigneten Authoring-Tools für die integrierten Lerneinheiten in ComDigiS* wurden die folgenden Kriterien berücksichtigt:

- **Open Source:** Das Tool musste quelloffen sein.
- **Adaptierbarkeit:** Das Tool sollte die Entwicklung von Lerninhalten ermöglichen, die an die unterschiedlichen Bedarfe von Lehrenden und Lernenden angepasst werden können.
- **Transparenz:** Der Betrieb und die Entwicklung des Tools sollten transparent sein, einschließlich einer öffentlichen Dokumentation und einer regen Community-Beteiligung.

Diese Suchkriterien sollten sicherstellen, dass das ausgewählte Authoring-Tool nicht nur den aktuellen Bedarfen entspricht, sondern auch zukünftigen Entwicklungen und Anforderungen standhalten kann (Berking, 2016).

2.3.3.2 Identifizierte Tools

Bei der Recherche wurden mehrere quelloffene Authoring-Tools identifiziert, deren GitHub-Repositories untersucht wurden, um deren Aktivität und Community-Reichweite einzuschätzen (Tabelle 3).

Tabelle 3: GitHub-Statistiken zu beliebten Open-Source-Authoring-Tools; dabei gilt S = Stars, B = Beobachter, F = Forks, C = Commits (Stand 12.06.24)

Repository	Lizenz	S	B	F	C	Letzter Commit
Adapt Framework	GPL-3.0	569	80	241	2879	11.06.24
Adapt Authoring	GPL-3.0	509	60	276	3898	23.02.24
Google Course Builder	CC BY 3.0	146	24	111	2433	08.12.16
H5P Moodle-Plug-in	GPL-3.0	130	57	168	1274	25.12.23
eXeLearning	GPL-2.0	124	27	47	5307	07.06.24
Xerte Online Toolkits	Apache-2.0	62	24	61	8465	07.06.24
eXeLearning Online-Version	GPL-2.0	2	5	0	3823	07.06.24

Adapt und H5P wurden näher untersucht, da die hohe Anzahl von Stars⁵ (|S|), Beobachter:innen (|B|), Forks⁶ (|F|) und Commits (|C|) sowie die Aktualität der letzten Commits auf GitHub auf eine besonders aktive Community hinwiesen, was auf ihre Zuverlässigkeit und kontinuierliche Entwicklung hindeutete. Die Tools wurden anhand der folgenden Kriterien qualitativ evaluiert:

- **Portable Ausgabeformate:** Das Authoring-Tool sollte Ausgabeformate unterstützen, die mit verschiedenen LMSs kompatibel sind.
- **Integration von Lerninhalten:** Das Authoring-Tool sollte die Integration von Lerninhalten auf verschiedenen Ebenen ermöglichen.
- **Usability:** Das Authoring-Tool sollte einfach zu erlernen und zu benutzen sein.
- **Kollaboratives Arbeiten:** Das Authoring-Tool sollte kollaborative Arbeitsmethoden unterstützen.

Die nachstehende Tabelle 4 fasst die Bewertung der beiden Authoring-Tools anhand der oben genannten Kriterien zusammen. Diese Bewertung ermöglicht einen direkten Vergleich der beiden Instrumente und zeigt ihre jeweiligen Stärken und Schwächen in Bezug auf die festgelegten Kriterien auf.

Tabelle 4: Bewertung der Authoring-Tools Adapt und H5P

Kriterium	Adapt	H5P
Portierbare Ausgabeformate	SCORM 1.2, xAPI	LTI, xAPI
Integration von Lerninhalten	hierarchische Kursstruktur	einzelne Lernkomponenten
Usability	kann für Nutzer:innen ohne technische Vorkenntnisse herausfordernd sein	sehr benutzerfreundlich und einfach zu erlernen
Kollaborative Arbeit	durch die hierarchische Kursstruktur auf mehreren Ebenen möglich	über H5P.com (kostenpflichtige Version), LMS-Plug-in (Moodle) oder in Selbstorganisation über Git-Repository

H5P konzentriert sich auf die Erstellung interaktiver Lernkomponenten. LMS-Integrationen ermöglichen die Erstellung übergeordneter Strukturen, die aber nicht einfach in ein anderes LMS übertragen werden können. Die Integration über LTI 1.1 ermöglicht den Aufruf von H5P-Inhalten. LTI 1.1 übermittelt jedoch lediglich den Lernstatus in Form von Punkten, aber keine detaillierten Interaktionen (Kohnle, 2019). Ohne xAPI und LRS gehen wichtige Lerndaten verloren, die für weiterführende Analysen notwendig sind. Daher ist die Anwendung von H5P hinsichtlich der Portierbarkeit einge-

5 Stars auf GitHub dienen als Indikator für die Beliebtheit und Relevanz eines Projekts. Sie ermöglichen Nutzenden, interessante oder nützliche Repositories zu markieren.

6 Forks auf GitHub ermöglichen es Nutzenden, den in einem Repository vorhandenen Code zu kopieren, um unabhängig daran zu arbeiten, eigene Anpassungen vorzunehmen oder zur Weiterentwicklung des Originalprojekts beizutragen.

schränkt. Insgesamt erwies sich das Adapt-Framework aufgrund seiner Anpassungs- und Integrationsmöglichkeiten sowie der SCORM-Kompatibilität als geeigneter für den spezifischen Anwendungsfall.

2.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lassen sich folgende zentrale, wenngleich auch noch nicht konkrete Anforderungen an die zu implementierende Lösung festhalten:

1. Abdeckung eines großen inhaltlichen Umfangs auf drei Niveaustufen
2. Vielfältige Einsatzbereiche sollen unterstützt werden, die anvisierte inhaltliche Breite ist auch auf technischer Ebene zu unterstützen
3. Größtmögliche Flexibilität bei Anpassung der Inhalte an individuelle Szenarien
4. Eigenständige Nutzbarkeit des Lernangebots, aber auch geleiteter Einsatz in Lehrveranstaltungen

Eine zentrale Aufgabe im Entwicklungsprozess war der multiperspektivische Abgleich zwischen den in den vorigen Abschnitten aufgeführten Projektzielen, den Anforderungen der unterschiedlichen Stakeholder:innen sowie den technologischen Rahmenbedingungen und Optionen. Die Aufgaben bei der Entwicklung umfassten somit nicht nur die Umsetzung von Anforderungen, sondern auch die Identifikation möglicher Widersprüche zwischen den genannten Aspekten sowie deren Auflösung. Darüber hinaus war nicht jede Anforderung bzw. deren Priorität von Anfang an klar definiert. Wie wurde im Projekt also damit um- und weiter vorgegangen?

Zur Entwicklung einer Softwarelösung werden üblicherweise funktionale und nicht-funktionale Anforderungen gesammelt (Balzert, 2011b). Diese können zur Bewertung der Qualität bzw. der Reife des Produkts eingesetzt werden (z. B. nach ISO/IEC 25010). Die Anforderungen dienen dabei als Ziele (Was? Warum?) und werden den zu implementierenden Bestandteilen der Lösung (Wie? Womit?) entgegengesetzt. Formell können Anforderungen in einem Lastenheft festgehalten werden, während die zu implementierenden Maßnahmen in einem Pflichtenheft beschrieben werden. Die vollumfängliche Überführung obiger Anforderungen in ein Lasten- bzw. Pflichtenheft war in dem skizzierten Projektkontext nicht zielführend. Um mit den dynamischen Anforderungen umzugehen, wurde ein agilen Entwicklungsprozessen ähnlicher, iterativer Ansatz gewählt, der kontinuierliche Feedbackschleifen und Evaluationen während der gesamten Projektlaufzeit integrierte (siehe auch Abschnitt 4). Dies ermöglichte eine flexible Ausrichtung der Entwicklungsziele. Der Fokus nachfolgender Ausführungen liegt daher auch nicht auf dem gesamten dynamischen Entwicklungsprozess, sondern primär auf der Darstellung der entstandenen Ergebnisse. Die vollumfängliche Überführung obiger Anforderungen in ein Lasten- bzw. Pflichtenheft war in dem skizzierten Projektkontext nicht zielführend. Um mit den dynamischen Anforderungen umzugehen, wurde ein agilen Entwicklungsprozessen ähnlicher, iterativer Ansatz gewählt, der kontinuierliche Feedbackschleifen und Evaluationen während der gesamten Projektlaufzeit integrierte (siehe auch Abschnitt 4). Dies ermöglichte eine flexible Ausrichtung

der Entwicklungsziele. Der Fokus nachfolgender Ausführungen liegt daher auch nicht auf dem gesamten dynamischen Entwicklungsprozess, sondern primär auf der Darstellung der entstandenen Ergebnisse.

3 Infrastruktur & Implementierung

In diesem Abschnitt wird die Implementierung von ComDigiS* im Detail vorgestellt. Ziel ist es, einen umfassenden Überblick darüber zu geben, was die einzelnen Systemkomponenten leisten und wie sie zusammenarbeiten, um eine effektive und effiziente Lernumgebung zu schaffen.

ComDigiS* unterstützt den Arbeitsablauf von der didaktischen und methodischen Planung der Lerneinheiten bis zur Bereitstellung des Lernpakets, wie Abbildung 1 zeigt. Die zentralen Werkzeuge, die in diesem Prozess zum Einsatz kommen, werden in den folgenden Abschnitten im Hinblick auf ihren Aufbau und ihre Funktion näher vorgestellt.

Da Adapt als Authoring-Tool nicht nur zur Erstellung der Inhalte, sondern auch technologisch eine zentrale Rolle in der Infrastruktur spielt, erfolgt zunächst ein Blick auf die Software und die damit einhergehenden technologischen Implikationen, bevor abschließend die vier implementierten ComDigiS* Komponenten vorgestellt werden.

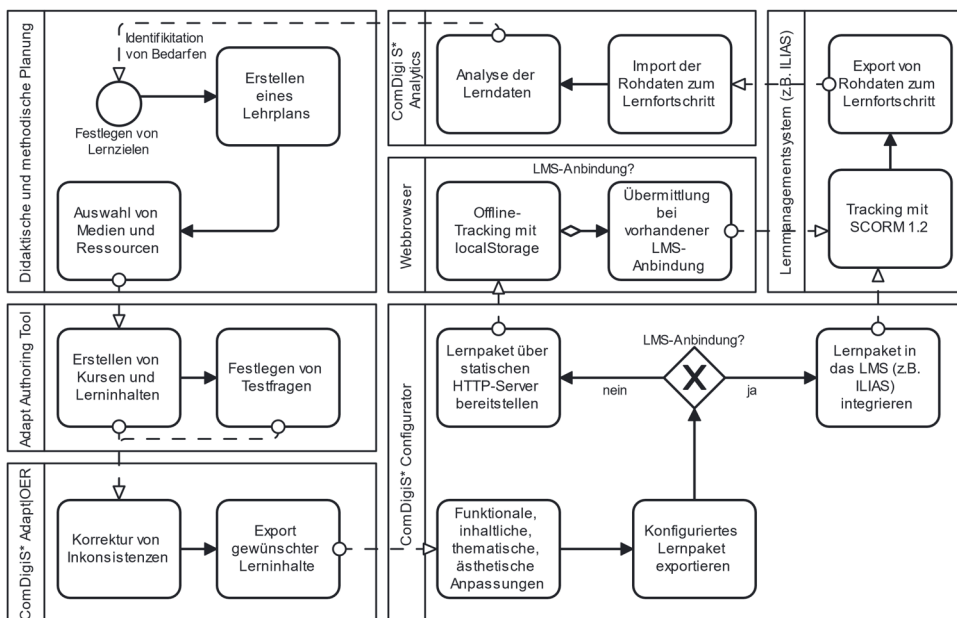


Abbildung 1: Darstellung des Arbeitsablaufs mit dem ComDigiS* System (Eigene Darstellung)

3.1 Adapt

Adapt ist ein quelloffenes Projekt unter der GPL-3.0-Lizenz zur Erstellung interaktiver und responsiver Lerninhalte. Das Herzstück des Projekts ist das Adapt Framework, das von und für Webentwickler:innen entwickelt wird. Das Adapt Authoring Tool baut auf diesem Framework auf und bietet eine komfortable Weboberfläche, mit der Lerninhalte auch von Bildungsexpert:innen ohne ausgeprägte technische Expertise erstellt werden können. In diesem Kapitel werden die für dessen Verwendung im DigiTaKS*-Projekt relevanten Aspekte des Frameworks vorgestellt.⁷

3.1.1 Kurse: Merkmale, Aufbau, Komponenten und Plug-ins

Dieses Kapitel bietet einen detaillierten Überblick der Funktionen, der hierarchischen Struktur und der umfangreichen Möglichkeiten zur Erstellung und Anpassung von Lerninhalten, die mit dem Adapt Framework entwickelt werden.

Die Gestaltung digitaler Lerninhalte mit dem Adapt Framework entspricht mehreren nicht-funktionalen Anforderungen, die an die zu entwickelnde Bildungsumgebung erarbeitet wurden (siehe Abschnitt 2):

- **Responsives Design:** Die Darstellung der Kurse passt sich automatisch an verschiedene Bildschirmgrößen und Geräte an.
- **Bereitstellung:** Die Kurse können als statische Inhalte auf HTTP-Servern oder SCORM- und xAPI-kompatibel für die LMS-Integration bereitgestellt werden.
- **Barrierefreiheit:** Die Kurse entsprechen den Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) und sind daher weitgehend barrierefrei.
- **Mehrsprachigkeit:** Die Organisation und Konfiguration der Kurse im JSON-Format macht es vergleichsweise einfach, Mehrsprachigkeit zu unterstützen.

Die mit dem Adapt Framework erstellten Kurse sind nach einem einheitlichen Prinzip hierarchisch strukturiert. Diese Unterteilung hilft dabei, Informationen in verdauliche Portionen zu zerlegen. Dies wiederum unterstützt die Reduzierung der kognitiven Belastung und fördert so den Lernerfolg (Mayer, 2002).

In Adapt fungieren Artikel (*Articles*) als Themenkomplexe auf einer Seite (*Pages*) und kapseln Blöcke (*Blocks*) einer Lerneinheit. Blöcke gliedern die Informationen in Schwerpunktthemen und sind vergleichbar mit Folien in einer Präsentation. Ein Block kann maximal zwei Komponenten (*Components*) darstellen, wobei es sich entweder um Präsentations- oder Aufgabenelemente handelt. Adapt bietet eine Vielzahl von Komponenten, die sofort einsatzbereit sind. Diese Vielfalt ist entscheidend, um den unterschiedlichen Lernstilen und Bedürfnissen gerecht zu werden (Anderson L. et al., 2001).

3.1.1.1 Präsentationselemente

Textelemente (*Text*) werden für Erklärungen verwendet, um die Lernenden durch den Inhalt zu führen. Bei Erzählelementen (*Narrative*) können die Lernenden eine Reihe von Bildern betrachten, die jeweils von einem erklärenden Text begleitet werden. Dies hat zwei pädagogische Vorteile: Erstens wecken Erzählungen die Aufmerksamkeit der

7 Wir sind in keiner Weise mit Adapt assoziiert.

Lernenden und fördern ihr emotionales Interesse (Green, 2004). Zweitens schaffen sie einen anschaulichen Kontext, der es den Lernenden erleichtert, neue Informationen mit bereits vorhandenem Wissen zu verknüpfen (Schank, 1990; Bruner, 2002). Das *Accordion* ist eine Präsentationskomponente, bei der Informationen in Form von zusammenklappbaren Abschnitten präsentiert werden. Die Lernenden können die Menge und Reihenfolge der angezeigten Informationen selbst steuern und so ihren Lernprozess selbst regulieren. Darüber hinaus ermöglichen die Komponenten *Graphic*, *Hot Graphic* und *Media* die Integration verschiedener multimedialer Inhalte, die den Lernprozess zusätzlich kognitiv unterstützen (Mayer, 2009). Selbstreguliertes Lernen (Artelt, Demmrich & Baumert, 2001) war ein wesentliches Konzept des Lernportals, das durch die Präsentationselemente gefördert wird.

3.1.1.2 Aufgabenelemente

Zuordnungsfragen (*Matching*) und **Multiple-Choice-Fragen** (*MCQ*): Zuordnungsfragen und Multiple-Choice-Fragen sind Fragen mit einer oder mehreren richtigen Antworten, um das Verständnis der Lernenden zu prüfen. Studien zeigen, dass Wissensabfragen nicht nur den Lernerfolg testen, sondern auch das langfristige Behalten des Wissens fördern (Roediger & Butler, 2011). Die formativen Assessments, die mit Hilfe dieser Aufgabentypen in den Lerneinheiten durchgeführt werden, erfüllen also eine doppelte Funktion: die frühzeitige Erkennung von Verständnisproblemen und die Förderung des Memorierens.

Die *Text Input*-Komponente ermöglicht freie Textantworten auf offene Fragen. Mithilfe der *Slider*-Komponente können Lernende detaillierte Einblicke in ihre Wahrnehmungen und Überzeugungen geben (Batterton & Hale, 2017). Diese Komponenten können zur Reflexion des Gelernten verwendet werden, wodurch kritisches Denken gefördert wird (Fook & Gardner, 2007).

3.1.1.3 Plug-ins

Adapt bietet eine Vielzahl von sofort einsetzbaren Plug-ins, welche die Kurse um Funktionalitäten erweitern, die den spezifischen Anforderungen digitaler Lernumgebungen gerecht werden. Die Fortschrittsverfolgung kann mit SCORM oder xAPI implementiert werden, was die formative Bewertung durch die Lehrenden und das Engagement der Lernenden erhöht (Gikandi, Morrow & Davis, 2011). Der Lernfortschritt kann den Lernenden über die Komponente *Page Level Progress* zur Bearbeitungszeit der Lerneinheit angezeigt werden. Das Plug-in *Tutor* bietet die Möglichkeit, direktes Feedback zu den Antworten der Lernenden zu geben⁸. Automatisch gesetzte Lesezeichen (*Bookmark*) ermöglichen es den Lernenden, ihren Lernfortschritt dort fortzusetzen, wo sie aufgehört haben. Zur Reduzierung kognitiver Belastung kann bspw. *Trickle* verwendet werden, um die Exposition von Blöcken zu verhindern, bevor die vorherigen Blöcke bearbeitet und verarbeitet wurden.

8 <https://github.com/adaptlearning/adapt-contrib-tutor>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

3.1.1.4 Erweiterungen von Drittanbietern und Eigenentwicklungen

Adapt ist mit selbst entwickelten oder von Drittanbietern angebotenen Komponenten und Plug-ins universell erweiterbar. Auf diese Weise können beliebige Lehr-/Lernmethoden nach Bedarf implementiert werden. Um die Wartungs- und Pflegekosten des Frameworks überschaubar zu halten, ist es jedoch ratsam, den Umfang zusätzlicher Erweiterungen zu begrenzen. Im Laufe des Projekts wurden die folgenden Plug-ins zusätzlich installiert und an die individuellen Anforderungen des Projekts angepasst:

- **Drag-and-Drop-Komponente:** Drag-and-Drop-Fragen sind ein beliebtes didaktisches Mittel für digitale Lerninhalte. Sie ermöglichen es Lernenden, die Fragen im Vergleich zu herkömmlichen Frageformaten schneller zu beantworten (Ponce, Mayer & Loyola, 2020). Um dieses Format zu integrieren, wurde ein Plug-in⁹ eines Drittanbieters als Ausgangspunkt verwendet. Das Design wurde angepasst, um Fragen und Antwortmöglichkeiten nebeneinander statt untereinander darzustellen. Ziel war es, dadurch die Verknüpfung der Elemente zu vereinfachen.
- **Interaktives Inhaltsverzeichnis:** Um den Lernenden das Navigieren zwischen den Lerneinheiten zu erleichtern, wurde das Plug-in „adapt-toc“ integriert¹⁰. Dieses zeigt die verfügbaren Lerninhalte des Kurses in einer flachen Struktur an, wenn nichts anderes konfiguriert wurde. Um die hierarchische Struktur des Kurses widerzuspiegeln, wurde das Plug-in im Rahmen des Projekts geforkt¹¹ und entsprechend angepasst.
- **Block-Navigator:** *Trickle* verhindert, dass Lernende zum nächsten Block gelangen, solange der vorherige Block nicht abgeschlossen ist. Dadurch wird der selbstgesteuerte Lernprozess gewissermaßen beeinträchtigt. Deshalb wurde stattdessen ein Block-Navigator-Plug-in¹² eingebunden und mithilfe von *Cascading Style Sheets* (CSS) so gestaltet, dass eine zusätzliche Navigationsleiste über jedem Block eine Vorschau auf die nächsten Blöcke anzeigt und den Lernenden eine interessenbasierte und selbstgesteuerte Möglichkeit bietet, Lerninhalte zu überfliegen, um schnell zu den für sie relevanten Informationen zu gelangen.
- **Diverse Designanpassungen:** Darüber hinaus wurde die Darstellung der Kurselemente mit CSS an die Anforderungen des Kooperationspartners WeTeK GmbH angepasst, der für die didaktische Umsetzung der Lerninhalte verantwortlich war.

3.2 ComDigiS* Adapt|OER

Die Entwicklung der Kurse war ein Teil eines iterativen und experimentellen Prozesses. Beginnend mit dem ersten Kurs gab es mehrere Anpassungen und Überarbeitungen in der Gestaltung und Konfiguration der Kurse. Um die Konsistenz langfristig zu gewährleisten, wurde zunächst ein Kursgerüst-Generator entwickelt, der die Kurse für alle Module auf Grundlage eines vordefinierten Lernplans vorkonfiguriert. Dies sollte die Darstellung und die Konfiguration allgemeiner Funktionselemente standardisieren. Allerdings änderten sich die Anforderungen im Laufe des Projekts und die ge-

9 <https://github.com/danielstorey/adapt-dragndrop>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

10 <https://github.com/cgkineo/adapt-toc>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

11 <https://github.com/MihailMiller/adapt-toc>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

12 <https://github.com/cgkineo/adapt-articleBlockSlider>, zuletzt aufgerufen am: 12.06.2024

wünschte Konsistenz wurde schnell durch die Flexibilität des Adapt Frameworks überholt. Um trotz dessen eine Einheitlichkeit zu erzielen, wurde neben einem manuellen Nachbearbeitungsschritt ein zusätzliches Werkzeug, *Adapt|OER*, eingeführt, welches eine Doppelfunktion erfüllt:

- Die Standardisierung von Lerninhalten über Kursgrenzen hinweg durch das Sichtbarmachen von Inkonsistenzen.
- Die Bereitstellung von Kursinhalten in unterschiedlichen Granularitätsstufen und Exportformaten.

ComDigiS* *Adapt|OER* ist ein Werkzeug zur Redaktion und Veröffentlichung von Lerninhalten, die mit dem Adapt Authoring Tool erstellt wurden. Das Werkzeug wurde entwickelt, um projektspezifische Anforderungen zu erfüllen, die bei der Verwendung des Authoring Tools entstanden sind.

Adapt|OER adressiert das Problem der Erstellung komplexer Lerninhalte, die in mehreren Kursen gleichzeitig erstellt werden. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn die Lerninhalte von mehreren Expert:innen erstellt werden, die gleichzeitig an verschiedenen Lerneinheiten arbeiten. Im Gegensatz zum Authoring Tool implementiert *Adapt|OER* verschiedene Ansichten, die für jede darstellbare Hierarchiestufe der Kurse die Lerninhalte tabellarisch auflisten.

Adapt|OER bietet somit einen umfassenden Überblick über den Erstellungstatus der Kurse und kann somit das Management von Aufgaben und Meilensteinen bei der Kurserstellung unterstützen. Das Werkzeug stellt damit eine Korrekturhilfe auf verschiedenen Ebenen des Lerninhalts zur Verfügung. Es kann zur Überprüfung der Formatierung von Bezeichnungen und der standardisierten Pflege von Datenfeldern eingesetzt werden. Damit leistete es im Projekt einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung der Lerninhalte vor ihrer Veröffentlichung.

Außerdem bietet *Adapt|OER* eine Glossar-Verwaltungsfunktion, in der Begriffe definiert werden können. Eine manuelle Verknüpfung mit den Lerninhalten ist nicht notwendig, da dies automatisch anhand des Vorkommens des Begriffs in selbigen erfolgt.

Adapt|OER bietet zudem umfangreiche Such- und Exportmöglichkeiten für Kursinhalte. Während mit dem Authoring Tool nur ganze Kurse angezeigt und exportiert werden können, erlaubt *Adapt|OER* das Filtern, Suchen und Exportieren, z. B. von Komponenten im H5P-Format oder Lerneinheiten als PDF-Handouts. Der Inhalt kann somit für verschiedene Plattformen und Zielgruppen angepasst und exportiert werden, was einer guten Praxis bei der Bereitstellung von OER-Materialien entspricht (Downes, 2007).

Adapt|OER verwendet dieselbe Instanz einer Dokumentendatenbank (MongoDB, 2024) wie das Authoring Tool und wird im selben virtuellen Netzwerk betrieben. Diese Integration gewährleistet eine gemeinsame Datenbasis, wodurch die Lerninhalte synchron angezeigt werden. Um die Integrität der Daten zu gewährleisten und ungewollte Änderungen zu verhindern, werden die Lerninhalte nur im schreibgeschützten Modus angezeigt. Änderungen an diesen müssen weiterhin im Authoring Tool vorgenommen werden.

Neben der detaillierten Behandlung einzelner Kursbestandteile ermöglicht Adapt|OER auch den gebündelten Export von Kursen inklusive Einstiegs- und Abschlusstest als integriertes Lernportal, ComDigiS* LXP.

3.3 ComDigiS* LXP

ComDigiS* LXP (Learning Experience Plattform) ist Paket aus Lerninhalten sowie Einstiegs- und Abschlusstest (Assessments) sowie einem entsprechenden User Interface. Dieses Lernportal bietet die Möglichkeit der Integration in ein LMS oder der eigenständigen Bereitstellung auf einem HTTP-Server. ComDigiS* LXP organisiert Kurse und Assessments in übergeordneten Modulen, die über den darstellbaren Bereich des Adapt Authoring Tools hinausgehen. Zusätzlich bietet ComDigiS* LXP ein Glossar, welches automatische Querverweise zu enthaltenen Lerneinheiten und eine Suchfunktion bereitstellt. Tooltips mit Definitionen werden automatisch in die Lerninhalte eingefügt.

3.3.1 Assessments

Im Adapt Authoring Tool werden die Fragen, die für den Eingangs- und Abschlusstest relevant sind, wie folgt erstellt und annotiert:

1. Zusatzfragen, die nicht in der Lerneinheit sichtbar sein sollen, sich aber auf den Lernstoff beziehen, werden als verborgene Komponenten eingefügt.
2. Zusatzfragen und Wiederholungsfragen (Fragen, die in der Lerneinheit für die Lernenden sichtbar sind) werden durch spezifische CSS-Klassen gekennzeichnet, um sie als Bestandteil des Eingangs- bzw. Abschlusstests zu identifizieren:
 - **et**: Kennzeichnet Fragen für den Eingangstest.
 - **at**: Kennzeichnet Fragen für den Abschlusstest.
 - **facts**: Kennzeichnet Sachfragen und dient der Unterscheidung von Reflexionsfragen, um eine unterschiedliche Gewichtung in der Beurteilung und eine differenziertere Auswertung der Assessments zu ermöglichen.

Beim Export aus ComDigiS* Adapt|OER werden Eingangs- und Abschlusstest anhand dieser Zuordnungen automatisch zusammengestellt.

3.3.2 Funktionen zur Übersicht und Lernfortschrittsverfolgung

ComDigiS* bietet umfangreiche Funktionen zur Kursübersicht und Fortschrittsverfolgung sowie Gamification-Elemente zur Steigerung der Lernmotivation. Ein JavaScript-basierter Wrapper bietet eine Abstraktionsebene, die es ermöglicht, Lernfortschrittsdaten kursübergreifend zu verwalten. Er fängt die Aufrufe der einzelnen Kurse ab, ordnet sie in eine übergeordnete Struktur ein und leitet die Daten an ein angeschlossenes LMS weiter, sofern möglich. Der Wrapper unterstützt derzeit nur SCORM 1.2-Aufrufe, eine Erweiterung für andere APIs könnte aber bei Bedarf zukünftig implementiert werden.

Gleichzeitig speichert der Wrapper die Daten im *localStorage* des Browsers. Damit ist sichergestellt, dass die Lernfortschrittsdaten ohne aktive Internetverbindung verfügbar sind. Die Daten werden in einer hierarchischen Struktur organisiert, beginnend mit

Modulen, welche die Daten der Kurse schachteln. Für jeden Kurs werden die Adapt-seitigen Lernfortschrittsdaten hinterlegt.

Die Zeichenkette `suspend_data` wird vom Adapt Plug-in Spoor für SCORM-Tracking verwendet, um einen Ansatz zu implementieren, Datenfelder außerhalb der vom SCORM-Standard vorgesehenen Felder zu unterstützen. Die Zeichenkette kann maximal 4096 Zeichen kodieren, was eine effiziente Datenstruktur und Kompression erfordert.

Spoor ermöglicht einen effizienten Ansatz zur Serialisierung, Deserialisierung und Komprimierung dieser Zeichenkette. Darauf aufbauend wurde ein Mechanismus für die im Rahmen des Projekts entwickelte kursübergreifende Datenstruktur implementiert: Sollen die Lernfortschrittsdaten gespeichert werden („`LMSSetValue`“), wird ein JSON-Objekt, das die kursbezogenen und kursübergreifenden Daten enthält, zur Speicherung in die Zeichenkette serialisiert. Die Zeichenkette wird mit LZMA komprimiert. Werden die Lernfortschrittsdaten abgerufen („`LMSGetValue`“), müssen sie zunächst dekomprimiert und dann deserialisiert werden.

ComDigiS* LXP bietet verschiedene Visualisierungen des Lernfortschritts im Sinne einer Gamification, um die Lernmotivation zu fördern (Friedrich et al., 2020; Abu-Dawood, 2016; Khaldi et al., 2023; Pesare et al., 2016):

- **Experience Points (XP):** Für jede erfolgreich abgeschlossene Komponente wird ein XP vergeben. Die Präsentationskomponenten werden durch vollständiges Anschauen abgeschlossen, während die Fragekomponente richtig beantwortet werden müssen, um einen Erfahrungspunkt zu erhalten. Dadurch wird eine kompetitive Note eingeführt, durch die sich Teilnehmer:innen untereinander vergleichen können.
- **LernPuls:** Dieses Element zeigt einen „Puls“ des aktuellen Lernstatus an, in dem es angibt, wie viele XP im Laufe eines Tages erworben wurden. Dadurch lassen sich Lernaktivitäten im Laufe der Zeit typisieren und Muster wie z. B. Binge Learning (Aker, 2023) erkennen.
- **LernRadar:** Dieses Element bietet einen visuellen Überblick über den Lernfortschritt in verschiedenen Modulen in Form eines Spinnennetzdiagramms.

Tabelle 5 zeigt, wie das Lernportal auf die Limitationen von SCORM 1.2 eingeht, um trotz der Einschränkungen des Formats eine moderne Lernumgebung zu verwirklichen.

Tabelle 5: Lösungen von ComDigiS* LXP für Limitationen von SCORM 1.2

Eigenschaft	Limitierung SCORM 1.2	Lösung ComDigiS* LXP
Datenmodell	Organisiert Lerninhalte in einer einzigen hierarchischen Struktur (XML), was eine parallele Bearbeitung und Aktualisierung erschwert; Beschränkt auf Attribute wie Abschlusszeiten und Punktzahlen, begrenzte sitzungsübergreifende Datenspeicherung.	Lernpaket ist als Multi-SCO-Paket organisiert; jeder Kurs stellt ein eigenes SCO dar, unterstützt durch einen JavaScript-basierten Wrapper, der den Datenaustausch verarbeitet und weiterleitet; Learning Experience Points (LXP) und weitere Informationen werden in einer freien Datenstruktur gespeichert.

(Fortsetzung Tabelle 5)

Eigenschaft	Limitierung SCORM 1.2	Lösung ComDigiS* LXP
Interaktivität	Unterstützt hauptsächlich klassische Interaktionen wie Wissensabfragen und Kursabschlüsse.	Ermöglicht informelle Lernaktivitäten und spielerische Interaktionen.
Lernpfade	Erlaubt keine Sequenzregeln, was für ComDigiS* aber auch nicht erwünscht war.	Lehrende können thematisch inspirierte Lernpfade definieren.
Offline-Tracking	Nicht vorhanden; erfordert eine aktive Verbindung zum LMS.	Nutzung als Standalone-Applikation möglich; Interaktionen der Lernenden werden im Webbrowser gespeichert.

3.4 ComDigiS* Configurator

ComDigiS* LXP ist ein umfangreiches Lernportal mit zahlreichen integrierten Funktionen und Komponenten. Der ComDigiS* Configurator bietet eine Reihe von Konfigurationsmöglichkeiten, um das Portal an die individuellen Bedürfnisse von Lehrenden und Lernenden anzupassen, darunter

- Begrenzung der Anzahl von Testfragen
- Konfiguration von Lernpfaden
- Festlegen der für den Abschluss erforderlichen Mindestpunktzahl
- Anpassen des Glossars

Durch die Konfiguration der Testfragen und Lernpfade können Lehrende die Lerninhalte speziell auf ihre Lehrziele und -pläne abstimmen. Die Möglichkeit, die erforderliche Mindestpunktzahl für den Abschluss der Kurse festzulegen, hilft den Lehrenden, die Fortschritte der Studierenden zu überwachen. Indem sie die Glossareinträge für ihre individuelle Version des Lernpakets anpassen, erleichtern sie Lernenden die Navigation zu den relevanten Lerninhalten und passen das Lernpaket an ihre spezifischen Bedarfe an. Um den Funktionsumfang des ComDigiS* Configurators weiter zu erhöhen, sind mehrere zukünftige Erweiterungen geplant, darunter

- **Layoutoptionen:** Auswahl an Layouts und Designs, um die visuelle Präsentation des Lernportals an verschiedene Zielgruppen anzupassen.
- **Gamification:** Anpassungsoptionen für Gamification-Elemente (z. B. LernPuls und LernRadar); Einführung neuer Gamification-Elemente wie Abzeichen (z. B. in Verbindung mit dem Abschluss von Lernpfaden oder bestimmten Kursen), um das Engagement der Lernenden weiter zu erhöhen.

3.5 ComDigiS* Analytics

Digitale Lerninhalte können von Lernenden unabhängig von Ort und Zeit bearbeitet werden. Diese Flexibilität führt jedoch zu einer heterogenen Datenflut, deren Auswertung Schwierigkeiten bereiten kann. Allerdings kann die Analyse dieser Daten Bildungsexpert:innen dabei helfen, Muster in den Interaktionen der Lernenden zu erkennen. Solche Erkenntnisse sind entscheidend für die frühzeitige Erkennung von Defiziten

und die Entwicklung effektiverer Lehrstrategien (Srinivasa K G, 2021; Lodge et al., 2019; Stokes et al., 2023).

ComDigiS* Analytics wurde entwickelt, um Bildungsexpert:innen dabei zu unterstützen, Einblicke in die Interaktionen der Lernenden mit dem bereitgestellten Lernmaterial zu gewinnen. Zu diesem Zweck wird mit ComDigiS* Analytics eine Software zur Datenverarbeitung, statistischen Analyse und Visualisierung der ILIAS-Rohdaten aus ComDigiS* LXP bereitgestellt:

- **Datenverarbeitung:** ComDigiS* Analytics wird verwendet, um die ILIAS-Rohdaten zu formatieren und in eine für die Analyse geeignete Form zu bringen.
- **Statistische Analyse:** Es werden verschiedene deskriptive Metriken berechnet. Die Berechnung des Mittelwerts kann beispielsweise zeigen, wie viel Zeit die Lernenden im Durchschnitt für einen bestimmten Kurs aufwenden.
- **Visualisierung:** ComDigiS* Analytics verwendet Darstellungen wie Heatmaps, Balken- und Liniendiagramme, um Interaktionsdaten zu visualisieren. Eine Heatmap kann zum Beispiel Spitzen in der Aktivität der Lernenden im Laufe eines Tages/einer Woche/eines Monats zeigen, während Balkendiagramme die Häufigkeit der Interaktionen verschiedener Nutzer:innen mit bestimmten Arten von Lerninhalten vergleichen können. Solche Visualisierungen erleichtern es Lehrenden und Learning Designer:innen, komplexe Daten schnell zu erfassen und geeignete Maßnahmen abzuleiten.

3.6 Zusammenfassung

ComDigiS* ist mit Kernsystemen wie LMS (z. B. ILIAS) und dem Adapt Framework lose gekoppelt. Die damit erzielte Unabhängigkeit verringert das Risiko, dass zukünftige Versionen von LMS und Adapt die Funktionalität und Integrität der ComDigiS* Werkzeuge beeinträchtigen. Umgekehrt können die ComDigiS* Werkzeuge und ihre Funktionen ohne Auswirkungen auf die Kernsysteme erweitert werden. Das Ergebnis ist eine zukunftssichere Systemlandschaft für die Entwicklung von Lehr-/Lernpaketen.

4 Evaluation

Begleitend zum Entwicklungsprozess wurden mit unterschiedlichen Entwicklungsständen verschiedene Evaluationsmaßnahmen mit unterschiedlichen Zielgruppen vorgenommen. Damit wurde versucht, zum einen die Heterogenität der Stakeholder zu adressieren und zum anderen mit einer Adaption eines agilen Entwicklungsprozesses frühzeitig Entwicklungsschritte zu evaluieren. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der Evaluationsmaßnahmen im Verlauf des Entwicklungszeitraums. Diese beginnen prinzipbedingt mit einer stärker explorativen Ausrichtung. Die Rahmenbedingungen und eine Auswahl der Erkenntnisse werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Tabelle 6: Übersicht der Evaluationsmaßnahmen

Datum	Evaluations- rahmen	Zielgruppe, Umfang	Methode	Ergebnisse
06/22 Evaluation 1	Open Campus	Studierende, Alumni, Gäste // 12 Teil- nehmende	Moderierte Usability- Tests	Qualitatives Feedback
			Interaktions- tracking, On- lineumfrage	Quantitative Nutzungs- daten
11/22 Evaluation 2	Lehre	Seminar 1: Dozierende, Bachelorstudierende (4. Trimester) // 19 Teilnehmende Seminar 2: Dozierende, Bachelorstudierende (1. Trimester) // 11 Teilnehmende Lehrforschungsprojekt: Dozierende, Masterstudierende (10. Trimester) // 20 Teilnehmende	Interaktions- tracking	Quantitative Nutzungs- daten
11/22	Seminar	Dozierende, Bachelorstudierende (1. Trimester) // 11 Teilnehmende	Online- umfrage	Quantitatives Feedback
11/22	Lehr- forschungs- projekt	Dozierende, Masterstudierende (10. Trimester) // 20 Teilnehmende	Diskussion	Qualitatives Feedback
11/23 Evaluation 3	Studiumsbe- gleitend & Seminar	Studierende, 1. Trimester Gruppe 1: 18 Teilnehmende Gruppe 2: 22 Teilnehmende	Interaktions- tracking	Quantitative Nutzungs- daten
			Online- umfrage	Quantitatives Feedback

4.1 Open Campus – Evaluation 1

Die erste Erprobung fand im Juni 2022 im Rahmen der „Open Campus“-Veranstaltung der HSU statt. Dort wurde interessierten Besucher:innen die Möglichkeit gegeben, die Prototypen von ComDigiS* LXP auszuprobieren.

Zunächst wurde den Teilnehmenden empfohlen, einen Einstiegstest auszuprobieren, um den Stand ihrer Vorkenntnisse zu ermitteln. Darauf aufbauend wurde den Teilnehmenden nahegelegt, eine von drei Lerneinheiten aus Modul 1 Kurs 1 („Browsen, Suchen und Filtern von Informationen“) auszuprobieren. Dabei wurden die Teilnehmenden während der Interaktion beobachtet und es wurde auf Nachfragen eingegangen. Die Teilnehmenden wurden eingeladen, frei zu assoziieren bzw. laut zu denken. Gelegentlich gaben die Teilnehmenden im Verlauf der Versuchsdurchführung Feedback. Sobald sie den Platz zu verlassen gedachten, erhielten sie ein Handout mit einem Link zu einer Onlineumfrage, um Feedback zu hinterlassen. Insgesamt absolvierten 12 Teilnehmende den Eingangstest, 10 Teilnehmende probierten das Trainingsmodul, 4 Teilnehmende testeten beide Lösungsbausteine und 4 Teilnehmende gaben Feedback über die Onlineumfrage.

Diese ermöglichte einen ersten Einblick in die Wahrnehmung der pilotierten Lösungsbausteine. Aus den Beobachtungen, Fragen und Anmerkungen der Teilnehmenden konnten Maßnahmen für die weitere Entwicklung abgeleitet werden. Verbesserungsvorschläge wurden zu Aspekten der Usability vorgebracht, wobei jedoch grundsätzlich ein positives Sentiment in Umfrage und direktem Feedback zu verzeichnen war.

Trotz zahlreicher Erkenntnisse erlaubte die Versuchsumgebung keine strukturierte und vergleichbare Forschung. Ein systematisches Forschungsdesign in einer kontrollierten Umgebung unter gleichen Bedingungen und mit einer größeren Stichprobe fördert die Verwertbarkeit der Ergebnisse, was in den nachfolgenden Evaluationsmaßnahmen umgesetzt wurde.

4.2 Lehrveranstaltungen – Evaluation 2

Als zweiter Baustein der Evaluation wurde die Nutzung der beiden entwickelten Prototypen ComDigiS* Train sowie ComDigiS* Test in einem möglichst realistischen Szenario und mit erhöhtem Stichprobenumfang untersucht (siehe Tabelle 3). Dabei wurde nicht nur die Lernenden-, sondern auch die der Lehrendenperspektive adressiert. Damit konnte die Nutzung der erstellten Lernressourcen auch unabhängig vom Projektkontext erprobt und so die mittel- und langfristige Nutzung der erstellten Lernressourcen außerhalb des Projektkontexts vorbereitet werden. Die Evaluation fand im Rahmen von drei Lehrveranstaltungen an der HSU im November 2022 statt.

Die Evaluationsphase wurde so konzipiert, dass die Nutzung des Lernpakets möglichst ohne aktive Anleitung/Begleitung der entwickelnden Personen erfolgt. Dies diente in erster Linie dazu, die Nutzung des Lernpakets durch die Dozierenden zu bewerten. Dazu wurden Begleitmaterialien erstellt, welche die Einbindung und Nutzung des Lernpakets im Ziel-LMS (ILIAS) erläutern sollten. Zudem wurde die Interaktion der Entwickler:innen beim Einsatz des Lernpakets in den Lehrveranstaltungen auf ein Mindestmaß reduziert.

Weiterhin wurde durch die Integration der Evaluation in drei verschiedene Lehrveranstaltungen in der HSU die Lernressource von einer weitaus größeren Zahl an Nutzenden evaluiert als bei der ersten Evaluationsphase, sodass eine mittlere zweistellige Zahl Studierender der HSU erreicht werden konnte. Dazu wurden zwei Seminare und ein Lehrforschungsprojekt ausgewählt und jeweils eine Sitzung reserviert, in welcher die Einführung und Durchführung der Evaluation stattfand.

Um möglichst umfassendes Feedback abzuleiten, wurden verschiedene Erhebungsinstrumente eingesetzt. Ziel war es, hinsichtlich Erhebungsfokus und Detaillierungsgrad sich ergänzende Methoden zu verwenden. Die Interaktion der Studierenden mit dem Lernpaket wurde während der gesamten Nutzungsdauer innerhalb der Veranstaltungen und darüber hinaus über die an das LMS übermittelten Lerndaten erfasst. Weiterhin wurden am Schluss der Veranstaltung alle Studierenden gebeten, mittels Fragebogen strukturiertes Feedback zur Nutzung des Lernangebots zu geben. Ergänzend zu dem engen und vordefinierten Fokus der beiden technischen Erhebungsinstrumente wurde als Abschluss einer jeden Veranstaltung noch eine offene

Feedbackrunde integriert. Die Nutzung dieser Methoden war in allen drei Veranstaltungen identisch.

Insgesamt konnten damit eine deutliche Abgrenzung und ein Erkenntniszugewinn gegenüber der ersten Vorführung im Rahmen des Open Campus der HSU erreicht werden. Zu den identifizierten Verbesserungsansätzen gehörten insbesondere Fehlerbehebungen (z. B. bei der Nutzung älterer Apple-Geräte), Verbesserung von Inkonsistenzen in der Nutzerführung und -interaktion (bessere Verknüpfung der einzelnen Bestandteile des Kurses, deskriptivere Rückmeldungen bei Reflexionsfragen und beim Abschluss von Lerneinheiten) sowie Ansätze und Ideen zur funktionalen Erweiterung (Einbindung eines Glossars). Auf inhaltlicher Ebene ist insbesondere eine Verbesserung des Bezugs zum Studium anzustreben, die didaktische Einbindung der Reflexionsfragen zu verbessern sowie die Einteilung der Inhalte in Kursniveaus zu hinterfragen.

4.3 Gegenüberstellung Lehrveranstaltungen – Evaluation 3

Als abschließende Evaluationsmaßnahme wurde ein vergleichendes Setting gewählt, in welchem zwei Gruppen von Studierenden die gleiche Aufgabe (erfolgreiche Absolvierung mindestens eines Kurses) in unterschiedlichen Nutzungsszenarien (innerhalb einer Lehrveranstaltung und über einen Zeitraum) aufgetragen bekamen. Die Gruppen sind vergleichbar (Studierende des ersten Trimesters), jedoch unterscheiden sich die Settings (Selbstlernen vs. Seminarsetting). Weiterhin wurde in beide Settings analog zu den Maßnahmen zwei Evaluationsperspektiven umgesetzt: die objektiv-technische Perspektive der technisch erhobenen Nutzungsdaten und die subjektiv-inhaltliche Perspektive der Fragebogenergebnisse. Als Evaluationsrahmen für die Fragebögen wurde dieses Mal das System zur Qualitätssicherung von OERs (IQOER) nach Zawacki-Richter et al. (2022) gewählt, da es einen standardisierten und ganzheitlichen Evaluationsrahmen darstellt, welcher auch eine Vergleichbarkeit der Evaluationsergebnisse anderer OERs ermöglicht. Der IQOER-Fragebogen besteht aus fünf Kernskalen (thematischen Dimensionen) sowie weiteren ergänzenden Skalen. Diese Skalen bestehen wiederum aus jeweils fünf bis sechs Fragen, welche auf einer Likert-Skala zwischen 1 (trifft überhaupt nicht zu) und 5 (trifft voll zu) bewertet werden. Für eine detaillierte Übersicht der Fragen sei auf Müskens et al. (2022) verwiesen.

Die Settings haben unterschiedliche Prämissen:

- a) Seminarsetting: die verfügbare Zeit ist festgesetzt auf 90 min, das zu erreichende Wissen ist variabel
- b) Selbstlernsetting: das Lernziel ist festgesetzt (der Kurs ist zu bestehen), die dafür aufzubringende Zeit ist variabel

Dies erlaubt vergleichende Analysen, insbesondere wie flexibel das Lernangebot in beiden Settings einsetzbar ist.

Vergleicht man die Ergebnisse des Fragebogens zwischen beiden Gruppen, zeigt sich zunächst ein über alle Fragebogenskalen leicht positives Sentiment (3,7 und 3,9 gemittelt über alle Skalen, siehe auch Abbildung 2). Deutlich sichtbar wird, dass in fast

allen Skalen das Selbstlernsetting (Phase 2 in der Abbildung) leicht positiver bewertet wird als das Seminarsetting (Phase 1). Insgesamt gab es jedoch nur leichte Abweichungen zwischen den Settings.

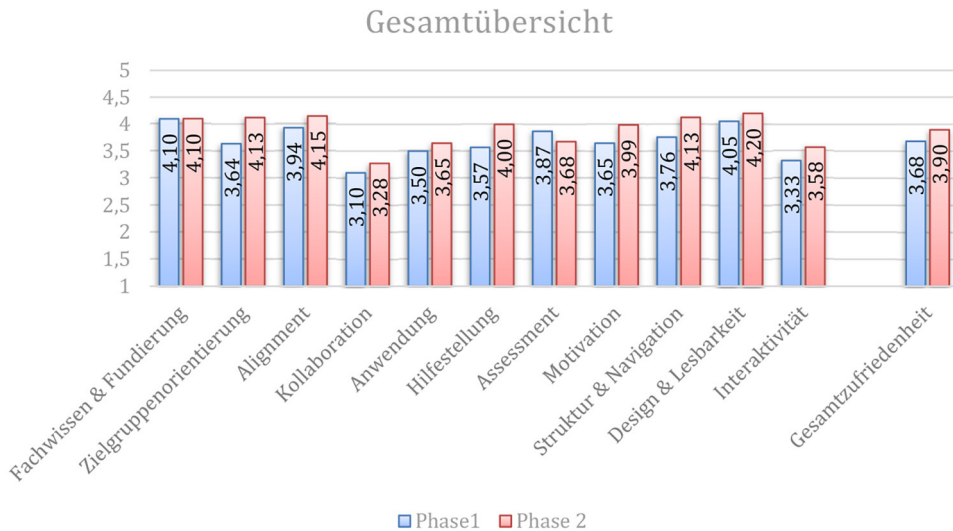


Abbildung 2: Evaluationsergebnisse IQOER (Eigene Darstellung)

Phase 1 – Seminarsetting (n = 16 von 18 Studierenden), Phase 2 – Selbstlernsetting (n = 8 von 22 Studierenden)

Die Analyse der Nutzungsintensität zeigt, dass mehr zur Verfügung stehende Zeit sowie deren flexible Einteilung im Selbstlernsetting positive Auswirkungen haben kann. Während im Seminarsetting 93 % der Teilnehmenden nur eine Lerneinheit absolvierten, schlossen im Selbstlernsetting 50 % der Teilnehmenden mehr als eine Lerneinheit ab.

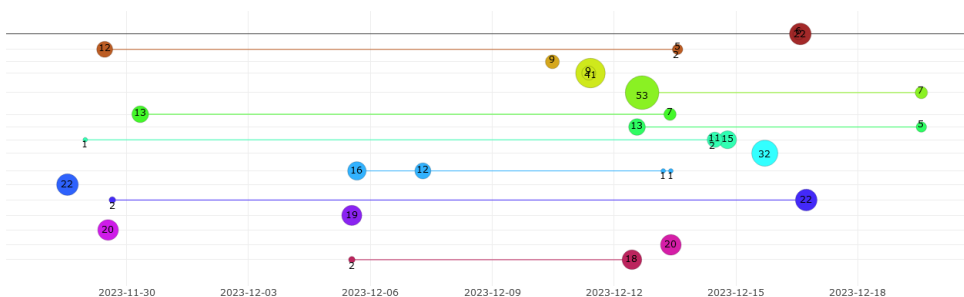


Abbildung 3: Interaktionszeitpunkte und Interaktionsmenge (Eigene Darstellung)

ein:e Studierende:r pro Zeile (n = 16)

Die Untersuchung des Nutzungsverhaltens offenbart zudem erhebliche individuelle Variation hinsichtlich Interaktionszeitpunkten und -menge mit dem Lernangebot (Abbildung 3). Dies gilt selbst für die relativ homogene Gruppe Studierender (selber Studien-

gang). Trotz dieser äußerlichen Homogenität könnte die Heterogenität der Lernenden hinsichtlich Aspekten wie Lerntyp, Lesegeschwindigkeit und Vorwissen als Erklärung dienen.

Die insgesamt positiven Ergebnisse belegen, dass das entwickelte Lernangebot in beiden Settings wirksam ist. Die Ursachen für die Unterschiede zwischen den Settings bedürfen jedoch weiterer Untersuchung, da sie beispielsweise auch auf den geringen Rücklauf aus der zweiten Phase im Selbstlernsetting zurückgeführt werden könnten. Hier konnte lediglich eine Rücklaufquote von 36 % erreicht werden (8 Rückläufer von 22 Teilnehmenden), wohingegen im Seminarsetting 89 % der Teilnehmenden den Fragebogen vollständig ausfüllten.

Entsprechend dem Entwicklungsstand wurden in den verschiedenen Evaluationsphasen unterschiedliche Aspekte analysiert, die von allgemeinem Feedback und der Prüfung von Funktionen und Kompatibilität bis hin zur Evaluierung der Funktionsweise in verschiedenen Lernszenarien reichen. Der Einsatz mehrerer Methoden pro Evaluationssetting ermöglichte eine umfassende Erfassung der Inhalte bei gleichzeitig vertretbarem Aufwand. Durch diesen methodischen Ansatz konnten die Erhebungen sich gegenseitig ergänzen und eine tiefere Einsicht in die Wirksamkeit und Akzeptanz des Lernangebots bieten.

5 Fazit

Dieser Beitrag beleuchtete die Anforderungen und Entscheidungen bei der Entwicklung und Evaluation des Lehr-/Lernpakets ComDigiS*.

Workshops und User Stories ermöglichten eine umfassende Erfassung und Priorisierung der Anforderungen. Die Anforderungen an das Projekt waren vielfältig und umfassten die Unterstützung verschiedener Anwendungsbereiche und ein hohes Maß an Flexibilität bei der Anpassung der Lerninhalte. Durch iterative Entwicklungsprozesse und kontinuierliche Feedbackschleifen war es möglich, flexibel auf Änderungen der Anforderungen zu reagieren.

Die Wahl der technologischen Lösungen spielte eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess. Durch die Entscheidung für das Adapt Framework und die Verwendung des etablierten Standards SCORM 1.2 wurde ein hohes Maß an Interoperabilität erreicht. Gleichzeitig wurden Lösungen implementiert, um die Beschränkungen von SCORM 1.2 zu überwinden, z. B. durch die Integration mehrerer unabhängig entwickelter Kurse in ein Lernpaket, Offline-Tracking und die Erweiterung erhobener Lerndaten. Die datengetriebene, lose Kopplung mit dem Adapt Framework und etablierten LMS wie ILIAS über SCORM 1.2 erleichtert die Erweiterung und Anpassung der Teillösungen und verringert das Risiko, dass zukünftige Entwicklungen der Kernsysteme die Funktionalität von ComDigiS* beeinträchtigen.

Bei der Evaluierung von ComDigiS* zeigte sich, dass das Lernportal in verschiedenen Lernumgebungen wirksam eingesetzt werden kann. Die aus den Evaluierungsmaßnahmen gewonnenen Erkenntnisse belegen die erfolgreiche Umsetzung der Pro-

jektziele. Insgesamt bietet ComDigiS* ein umfangreiches Angebot für die Vermittlung digitaler Kompetenzen, das sowohl im Selbststudium als auch in angeleiteten Seminaren effektiv zum Einsatz kommen kann. Die Veröffentlichung der Ergebnisse als Open-Source-Software und OER fördert die spätere Nutzung des Lehr-/Lernpakets. Diesem Thema ist der Beitrag von Klingner et al. in diesem Sammelband gewidmet.

Anmerkung

Dieser Beitrag ist im Rahmen des Projektes „Digitale Schlüsselkompetenzen für Studium und Beruf – Entwicklung eines Modells zur transformativen digitalen Kompetenzentwicklung Studierender (DigiTaKS*)“ (2021–2024) entstanden. Dieses wird vom Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr (dtec.bw) gefördert und von der Europäischen Union im Kontext „NextGenerationEU“ finanziert.

Literatur

- 1EdTech Consortium. (2024). *Home | 1EdTech*. <https://www.1edtech.org/>
- Abu-Dawood, S. (2016). The cognitive and social motivational affordances of gamification in e-learning environments. In *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (S. 373–375). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.126>
- ADL Initiative. (2001). *The SCORM Overview*. <http://www.adlnet.org/>
- Akter, N. (2023). Creating binge-worthy e-learning experiences. In D. Guralnick, M. E. Auer, & A. Poce (Hrsg.), *Creative Approaches to Technology-Enhanced Learning for the Workplace and Higher Education* (Bd. 767, S. 17–23). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41637-8_2
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Hrsg.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives* (Gesamtausgabe). Longman.
- Artelt, C., Demmrich, A., & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In *PISA 2000* (S. 271–298). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-322-83412-6_8
- Balzert, H. (Hrsg.). (2011a). *Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Balzert, H. (2011b). Nichtfunktionale Anforderungen. In H. Balzert (Hrsg.) *Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb* (S. 109–133). Spektrum Akademischer Verlag.
- Batterton, K. A., & Hale, K. N. (2017). The Likert Scale What It Is and How To Use It. *Phalanx*, 50, 32–39. <http://www.jstor.org/stable/26296382>

- Bere, A., Deng, H., & Tay, R. (2019). Investigating the Impact of eLearning Using LMS on the Performance of Teaching and Learning in Higher Education. *2018 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e)* (S. 6–10). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC3e.2018.8632648>
- Bergstrom, S. (2004). *CMI guidelines for interoperability* (Version 4.0). AICC. <https://github.com/ADL-AICC/AICC-Documents-Archive/releases/download/cmi001v4/cmi001v4.pdf>
- Berking, P. (2016). *Choosing Authoring Tools* (Version 9.5.7). ADL Initiative. <https://adlnet.gov/assets/uploads/ChoosingAuthoringTools.pdf>
- Bruner, J. S. (2002). *Acts of meaning* (10. print. Ausg.). Harvard Univ. Press.
- Choudhury, S., & Pattnaik, S. (2020). Emerging themes in e-learning: A review from the stakeholders' perspective. *Computers & Education*, 144, S. 103657. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103657>
- Cohn, M. (2004). *User stories applied*. Addison-Wesley.
- Downes, S. (2007). Models for Sustainable Open Educational Resources. *Interdisciplinary Journal of e-Skills and Lifelong Learning*, 3, 29–44. <https://doi.org/10.28945/384>
- Dreyer, M. (2021). *Ergebnisse der Umfrage des ZKI-Arbeitskreises Strategie und Organisation zu Softwarelösungen an den Hochschulen 2021*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4817794>
- Fook, J., & Gardner, F. (2007). *Practising critical reflection: a resource handbook*. Open University Press
- Freire, L. L., Arezes, P. M., & Campos, J. C. (2012). A literature review about usability evaluation methods for e-learning platforms. *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1, S. 1038–1044.
- Friedrich, J., Becker, M., Kramer, F., Wirth, M., & Schneider, M. (2020). Incentive design and gamification for knowledge management. *Journal of Business Research*, 106, S. 341–352. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.02.009>
- Gikandi, J. W., Morrow, D., & Davis, N. E. (2011). Online formative assessment in higher education: A review of the literature. *Computers & Education*, 57, S. 2333–2351. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.06.004>
- Green, M. (2004). Storytelling in Teaching. *Association for Psychological Science Observer*, 17.
- IEEE. (2008). *1484.20.1–2007 – IEEE Standard for Learning Technology-Data Model for Reusable Competency Definitions*. IEEE Computer Society.
- IEEE. (2020). *1484.12.1–2020 – IEEE Standard for Learning Object Metadata*. [S.1.]: IEEE Computer Society.
- Jafari, S. M., Salem, S. F., Moaddab, M. S., & Salem, S. O. (2016). Learning Management System (LMS) success: An investigation among the university students. *2015 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e)* (S. 64–69). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ic3e.2015.7403488>
- Jesukiewicz, P. (2009). *SCORM 2004 4th Edition Sequencing and Navigation [SN]*. www.adlnet.gov/

- Johnson, A., & Miller, S. (2023). *TLA Standards Digital Learning Acquisition Techniques*. ADL Initiative (SETA), Defense Acquisition University. <https://www.adlnet.gov/assets/uploads/TLA%20Standards%20Digital%20Learning%20Acquisition%20Techniques%20Report.pdf>
- Johnson, A., Werkentin, A., & Hernandez, M. (2020). Understanding and Applying cmi5 in an xAPI Solution. In *Proceedings of the 2020 Virtual Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (vIITSEC)*. National Training and Simulation Association.
- Kater, C., & Deimann, M. (2022). *Proposal: Strukturfonds für kritische Bildungsinfrastruktur*. https://www.opensourcelms.de/proposal_strukturfonds.html
- Khalidi, A., Bouzidi, R., & Nader, F. (2023). Gamification of e-learning in higher education: a systematic literature review. *Smart Learning Environments*, 10. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00227-z>
- Killing, A. (2022). *Abandon SCORM Online Editor*. https://docu.ilias.de/ilias.php?baseClass=ilwikihandlergui&cmdNode=16n:r6&cmdClass=ilobjwikigui&cmd=viewPage&ref_id=1357&page=Abandon_SCORM_Online_Editor
- Kohnle, U. (2019). *Combining Starting Mechanism of LTI with connection to xAPI-LRS*. https://docu.ilias.de/ilias.php?baseClass=ilwikihandlergui&cmdNode=16n:r6&cmdClass=ilobjwikigui&cmd=viewPage&ref_id=1357&page=Combining_Starting_Mechanism_of_LTI_with_connection_to_xAPI-LRS
- Lodge, J. M., Panadero, E., Broadbent, J., & Barba, P. G. (2019). *Supporting self-regulated learning with learning analytics*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351113038-4>
- Lucassen, G., Dalpiaz, F., van der Werf, J. M., & Brinkkemper, S. (2016). The Use and Effectiveness of User Stories in Practice. In M. Daneva, & O. Pastor, *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (Bd. 9619, S. 205–222). Springer International Publishing.
- Mair, F. (2022). *Analyse der Portierbarkeit von E-Learning Inhalten auf Basis von E-Learning Standards*. (Master's thesis, Universität Linz).
- Malone, N., Hernandez, M., Reardon, A., & Liu. (2020). *Advanced Distributed Learning: Capability Maturity Model*. (Tech. rep.). Advanced Distributed Learning Initiative.
- Mayer, R. E. (2002). Cognitive Theory and the Design of Multimedia Instruction: An Example of the Two-Way Street Between Cognition and Instruction. *New Directions for Teaching and Learning*, 2002, 55–71. <https://doi.org/10.1002/tl.47>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511811678>
- McLean, R. (2023). *Understanding LTI 1.3 vs. SCORM: Reed's LTIxcellent adventure*. https://rusticissoftware.com/blog/understanding-lti-13-vs-scorm-reeds-lti excellent-adventure/?utm_source=google&utm_medium=natural_search
- Miller, B., Rutherford, T., Pack, A., Vilches, G., & Ingram, J. (2021). *cmi5 Best Practices Guide: From Conception to Conformance*. <https://adlnet.gov/assets/uploads/cmi5%20Best%20Practices%20Guide%20-%20From%20Conception%20to%20Conformance.pdf>
- MongoDB. (2024). *MongoDB: The Developer Data Platform*. <https://www.mongodb.com/>

- Müskens, W., Zawacki-Richter, O., & Dolch, C. (2022). *Instrument zur Qualitätssicherung von OER – IQOer – Entwicklungsversion 17*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16987.03363/1>
- Pesare, E., Roselli, T., Corriero, N., & Rossano, V. (2016). Game-based learning and Gamification to promote engagement and motivation in medical learning contexts. *Smart Learning Environments*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/s40561-016-0028-0>
- Ponce, H. R., Mayer, R. E., & Loyola, M. S. (2020). Effects on Test Performance and Efficiency of Technology-Enhanced Items: An Analysis of Drag-and-Drop Response Interactions. *Journal of Educational Computing Research*, 59, 713–739. <https://doi.org/10.1177/0735633120969666>
- Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.003>
- Schank, R. C. (1990). *Tell me a story*. Scribner's [u. a.].
- Srinivasa K G, M. K. (2021). *The Pedagogical Perspective of Learning Analytics*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70258-8_8
- Stokes, J., & Fudge, A. (2023). Learning Analytics in Higher Education. <https://doi.org/10.93/obo/9780199756810-0297>
- Zawacki-Richter, O., Müskens, W., & Marín, V. I. (2022). Quality Assurance of Open Educational Resources. In *Handbook of Open, Distance and Digital Education* (S. 1–19). Springer Singapore.

Autoren

Dr. Stephan Klingner ist Produktentwickler im Anwendungslabor für KI und Big Data am Umweltbundesamt, wissenschaftl. Mitarbeiter am Rechenzentrum der Uni Leipzig sowie Gastwissenschaftler am InfAI. Seine Forschungsergebnisse sind in über 70 Konferenz-, Buch- und Journalbeiträgen publiziert.

Mihail Miller, M. Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter am Institut für Angewandte Informatik (InfAI) e.V. und am Rechenzentrum der Universität Leipzig (URZ). Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen statistische Modellierung, Webentwicklung und Prozessoptimierung.