

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:	RWTH Aachen University, Fakultät für Naturwissenschaften, Informatik und Mathematik, Lehrstuhl Informatik 5 (Datenbanken & Informationssysteme) Ahornstraße 55, 52074 Aachen
Projektleitung:	Alexander Neumann
Projektmitarbeiter*innen:	Alexander Neumann, Benedikt Hensen, Anika Martin, René Reiners
Förderkennzeichen:	16DHB2213
Vorhabenbezeichnung (Thema):	tech4compKI — Personalisierte Kompetenzentwicklung und hybrides KI-Mentoring Teilvorhaben: Verteilte Datenanalyse zur Bestimmung von Personalmerkmalen
Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2022 — 30.09.2024

Inhaltsverzeichnis

1 Teil I: Kurzbericht	3
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4 Überblick der Ergebnisse & Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
2 Teil II: Eingehende Darstellung	5
2.1 Ziele des Projekts und Ergebnisse auf AP-Ebene	5
2.1.1 AP 1 Didaktische Modellierung	5
2.1.2 AP 2 Domänenmodellierung	7
2.1.3 AP 3 Verteilte Datenanalyse	7
2.1.4 AP 4 Mentoring-Werkzeuge	8
2.1.5 AP 5 KI-basierte Adaptivität	11
2.1.6 AP 6 Organisationale und technologische Begleitung & Implementierung	14
2.1.7 AP 7 Wirksamkeit	15
2.1.8 AP 8 Testbed	15
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	16
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	17
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses	18
2.5 Bekannt gewordener Fortschritt	18

Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt den Abschlussbericht des Vorhabens tech4compKI dar.

tech4compKI wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, FKZ 16DHB2213) gefördert. Dieser Abschlussbericht folgt dabei dem in der Anlage 2 zum NKBF 2017 gegebenen Muster. In Kapitel 1 wird eine kurze Darstellung des Projektes gemäß Teil I gegeben, Kapitel 2 stellt die inhaltlichen Entwicklungen in einer eingehenden Darstellung gemäß Teil II des Musters dar. Der Teil III (Erfolgskontrollbericht) wird durch ein gesondert abgegebenes Dokument erfüllt.

Die dargestellten Arbeiten umfassen alle von der RWTH geleisteten Arbeiten im Vorhaben tech4compKI.

1. Teil I: Kurzbericht

Das Projekt *tech4compKI* hatte das Ziel, die Qualität von digital gestützten, intelligenten Mentoring-Prozessen in der Hochschulbildung zu verbessern und skalierbar zu machen. Im Mittelpunkt stand die Unterstützung von Studierenden beim selbstgesteuerten Lernen, da viele diese Fähigkeit nicht ausreichend aus ihrer schulischen Bildung mitbringen.

1.1 Aufgabenstellung

Die adressierte Leitfrage im Gesamtprojekt lautet: Wie müssen Gestaltungskonzepte aussehen, die die Qualität von digital-gestützten, intelligenten mentoriellen Prozessen studienbegleitend innerhalb eines intelligenten Bildungsnetzwerks skalierbar machen? Das Projekt *tech4compKI* baut auf den Ergebnissen der ersten Förderphase auf und erweitert diese um KI-basierte Ansätze für personalisiertes Mentoring. Die Hauptaufgabe des Teilvorhabens „Verteilte Datenanalyse zur Bestimmung von Personmerkmalen“ an der RWTH Aachen bestand darin, Konzepte und Technologien zu entwickeln, die mentorische Prozesse durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) effizient und in großem Maßstab umsetzbar machen. Dabei konzentrierte sich das Teilvorhaben auf folgende Schwerpunkte:

Cloud-Infrastruktur für Hybride KI-Systeme: Die Konzipierung, Implementierung und Evaluierung einer hybriden Cloud-Umgebung, die eine sichere und effiziente Verwaltung großer Datenmengen ermöglicht und als Grundlage für personalisierte Interaktionen dient. Hierzu wurden Mechanismen zur Aggregation und Anonymisierung entwickelt, die eine datenschutzkonforme Speicherung und Nutzung der Lerninformationen gewährleisten. Mit Hilfe der Kombination von regelbasierten Ansätzen mit maschinellen Lernverfahren sollten die Services auch bei begrenzten Datenmengen effektive Unterstützung bieten. Es wurden heterogene und verteilte Datenquellen (LMS, Chatbots, soziale Medien, Sensoren, Mixed Reality-Umgebungen) zur automatischen, nachvollziehbaren, standardisierten (xAPI) Sammlung relevanter Personmerkmale angebunden.

Mixed Reality: Entwicklung und Einsatz von Mixed Reality Agenten, die als virtuelle Mentoren fungieren und in immersiven Umgebungen mit Lernenden interagieren. Ein besonderer Fokus lag auf der semantischen Verarbeitung von Interaktionsdaten aus Mixed Reality Umgebungen und der Erforschung, wie Wissenslandkarten semantisch beschrieben werden müssen, um Darstellungsmodi zur Wissensbegegnung für Mixed Reality Umgebungen zu generieren.

Bot-Framework: Entwicklung eines modularen Frameworks für Chatbots und Mixed Reality Agents, das sich flexibel an die individuellen Bedürfnisse und Lernsituationen der Studierenden anpassen lässt. Ziel war es, durch personalisierte Rückmeldungen und Empfehlungen Mentoring-Prozesse effizient zu unterstützen und Lernenden direkt nutzbare Hilfestellungen zu bieten. Hierbei kamen Machine-Learning-Algorithmen sowie KI-basierte Modelle zum Einsatz, um die Mentoring-Dienste/Technologien wie Chatbots, Mixed Reality Anwendungen oder auch Blockchain als skalierbare Services anzubieten.

1.2 Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand

Hochschulbildung erfordert von Studierenden eine hohe Fähigkeit zum selbstgesteuerten Lernen, die im Rahmen der schulischen Sozialisation häufig nicht ausreichend ausgebildet wird [20]. Dieses Problem hat sich durch pandemiebedingte Online-Lehre weiter verstärkt [15]. Intelligente Systeme und KI-gestützte Ansätze bieten hier ein erhebliches Potential zur Unterstützung von Lernprozessen [22].

Als besonders effektiv haben sich hybride KI-Ansätze erwiesen, die bei begrenzten Datenbeständen regelbasierte mit lernenden Verfahren kombinieren [16]. Diese ermöglichen beispielsweise die gezielte Reflexion durch automatische Rückmeldung zu Lernenden-Texten mit Naive-Bayes-Klassifikatoren in Verbindung mit Domänenwissen [24]. Besonders innovativ ist dabei der Einsatz wissensintensiver und wissensinterner Anwendungen, die das Wissen der Lernenden nutzen und als Teil der Lernumgebung zurückspiegeln [21]. Diese machen Lernende zu gestaltenden Akteuren ihrer eigenen Bildungsräume.

Im Bereich der immersiven Technologien erlauben Mixed Reality (MR)-Räume sowohl eine ästhetische Bereicherung von Lernumgebungen als auch eine Erweiterung der Interaktionsmuster. Aktuelle Forschungen zur (semi-)automatischen Generierung von Mixed Reality Agenten in Kombination mit Chatbots und

deren Einsatz als virtuelle, teilautonome Entitäten zeigen das Potential dieser Technologie auf [18]. Neuere Ansätze ermöglichen bereits die Generierung hochpersonalisierter, photorealistischer Animationen, die lippensynchron und emotional kommunizieren [19].

Die Erhebung und Auswertung bildungsbezogener Interaktionsdaten erfolgt zunehmend durch soziale Netzwerkanalysen in Kombination mit inhaltlichen Analysen oder KI-gestützten Sentiment-Analysen [23]. Social Learning Analytics erlauben dabei die Untersuchung des Einflusses von Interaktionen auf den Lernerfolg auf individueller Ebene [14]. Forschungsbedarf besteht jedoch noch in Bezug auf die erfolgreiche Implementierung von gruppenorientierten KI-Instrumenten, Lernerinteraktion und Personalisierung [24].

Trotz dieser vielversprechenden Ansätze gibt es bislang kaum Belege für den erfolgreichen Einsatz von KI-basierter Bildungstechnologie im nationalen Hochschulsystem und für die Weiterentwicklung von Lerntheorien im Zusammenhang mit solchen Technologien [25]. Insbesondere die Kombination aus hybridem KI-Ansatz, Mixed Reality Agenten und verteilter Datenanalyse zur Schaffung eines intelligenten Bildungsnetzwerks für skalierbares Mentoring stellt ein Forschungsdesiderat dar, das tech4compKI adressiert.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die RWTH Aachen hat aktiv an allen Arbeitspaketen des Verbundprojekts teilgenommen und sich an den Maßnahmen beteiligt. Der Stand des Vorhabens im Berichtszeitraum entspricht der in der Vorhabensbeschreibung der Antragsstellung und Verlängerung formulierten Planung. Die RWTH Aachen hat die erforderlichen Maßnahmen und Aktivitäten im Arbeitspaket (AP) 3 (Verteilte Datenanalyse) als Arbeitspaketleiter koordiniert und verantwortet. In diesem Rahmen wurden regelmäßige Abstimmungstreffen mit den Verbundpartnern durchgeführt und die Entwicklung der verteilten Datenanalyse-Komponenten vorangetrieben.

In den anderen Arbeitspaketen hat die RWTH Aachen aktiv mitgewirkt und an allen projektrelevanten Maßnahmen wie monatlichen Treffen, Videokonferenzen und Workshops teilgenommen. Die Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern verlief konstruktiv und zielführend. Durch regelmäßigen Austausch konnten Synergien zwischen den verschiedenen Arbeitspaketen genutzt und eine kontinuierliche Integration der Teilkomponenten in das Gesamtsystem sichergestellt werden. Die zeitliche und inhaltliche Umsetzung der Arbeitspakete erfolgte gemäß der im Projektantrag festgelegten Meilensteine, sodass die geplanten Projektergebnisse erfolgreich erarbeitet und fertiggestellt werden konnten.

1.4 Überblick der Ergebnisse & Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projekts „tech4compKI - Personalisierte Kompetenzentwicklung und hybrides KI-Mentoring“ wurden wesentliche technische und methodische Innovationen zur Unterstützung digitaler Mentoring-Prozesse entwickelt. Zentrale Projektergebnisse umfassen die Bereitstellung einer skalierbaren hybriden Cloud-Infrastruktur, welche eine datenschutzkonforme Sammlung und Analyse großer Datenmengen aus heterogenen Quellen ermöglicht, darunter Lernmanagementsysteme (LMS), Chatbots und MR-Umgebungen. Ein entscheidender technischer Beitrag war die Entwicklung eines modularen Bot-Frameworks, das KI-basierte Chatbots sowie Mixed Reality Agenten integriert. Diese ermöglichen personalisierte Rückmeldungen und Hilfestellungen für Studierende und fördern somit eigenverantwortliches Lernen. Hervorzuheben ist dabei insbesondere der erfolgreiche Einsatz von Large Language Models (LLMs) in Kombination mit Retrieval-Augmented Generation (RAG), welche in Evaluierungen eine hohe Antwortgenauigkeit und Nutzerzufriedenheit erzielten.

Die intensive Kooperation mit externen Partnern wie der Universität Leipzig, der Technischen Universität Dresden, der HTWK Leipzig sowie dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) spielte eine zentrale Rolle. Diese Zusammenarbeit erfolgte durch regelmäßige Workshops, gemeinsame technische Entwicklung und wechselseitige Nutzung der entwickelten Technologien in standortübergreifenden Testbeds. Die enge Kooperation mit Bildungseinrichtungen und Forschungseinrichtungen gewährleistete einen kontinuierlichen Wissenstransfer und die Anpassung der Technologien an reale Bildungsbedarfe. Insgesamt hat die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Informatik, Bildungs- und Sozialwissenschaften erheblich dazu beigetragen, dass die entwickelten Lösungen sowohl technisch robust als auch didaktisch wirksam gestaltet werden konnten. Diese Projektergebnisse erfüllen maßgeblich die ursprünglichen Ziele, skalierbare und innovative KI-gestützte Mentoring-Systeme für die Hochschulbildung bereitzustellen.

2. Teil II: Eingehende Darstellung

Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten und Untersuchungen sowie deren Ergebnisse im Teilvorhaben tech4compKI eingehend beschrieben.

Hochschulbildung verlangt von Studierenden zunehmend, ihre Lernprozesse selbstständig und eigenverantwortlich zu gestalten, was jedoch häufig aufgrund mangelnder Vorbereitung in der schulischen Sozialisation nicht ausreichend ausgeprägt ist. Die Covid-19-Pandemie hat diese Herausforderung zusätzlich verschärft, gleichzeitig aber auch das Potential digitaler und insbesondere KI-gestützter Bildungstechnologien sichtbar gemacht. Das Projekt tech4compKI greift diese Problematik auf, indem es erforscht, wie individualisierte, intelligente Mentoring-Prozesse mittels hybrider KI-Systeme skalierbar in den Hochschulalltag integriert werden können. Ziel des Teilvorhabens der RWTH Aachen „Verteilte Datenanalyse zur Bestimmung von Personmerkmalen“ war es, durch innovative technologische, didaktische und organisationale Gestaltungskonzepte diese individuelle mentorielle Unterstützung in der Hochschulbildung effizient, skalierbar und datenschutzkonform zu gestalten. Im Fokus der Arbeiten stand die Entwicklung und Implementierung einer verteilten hybriden Cloud-Infrastruktur, die eine datenschutzkonforme Verwaltung großer Datenmengen aus heterogenen Quellen (z.B. Lernmanagementsysteme, Chatbots, soziale Medien, Sensoren, Mixed Reality-Umgebungen) ermöglicht. Die hierbei eingesetzten Verfahren kombinieren regelbasierte Ansätze mit maschinellen Lernverfahren und ermöglichen somit eine effektive Verarbeitung auch bei begrenzten oder heterogenen Datenbeständen. Durch die standardisierte Erfassung relevanter Personmerkmale und Kompetenzabschätzungen mittels xAPI konnten aussagekräftige Analysen zur gezielten Unterstützung von Lernenden ermöglicht werden. Ein zentraler technologischer Beitrag war zudem die Entwicklung eines modularen Frameworks für Chatbots und Mixed Reality-Agenten. Diese Systeme ermöglichten eine intensive, personalisierte Lernbegleitung durch KI-basierte adaptiven Dialogsysteme, welche Studierende sowohl auf organisatorischer Ebene (etwa durch den MoodleBot) als auch auf fachlicher Ebene (z.B. Fachspezifische Empfehlungssysteme und Mentoring-Dienste) unterstützten. Besonders hervorzuheben ist die erfolgreiche Nutzung von LLMs in Kombination mit Retrieval-Augmented Generation (RAG), welche eine hohe Genauigkeit in der Beantwortung fachspezifischer Fragen erzielten und gleichzeitig eine umfassende Nutzung bestehender Wissensressourcen ermöglichten. Parallel wurden innovative Mixed Reality Agenten realisiert, die als virtuelle Mentoren fungieren und in immersiven Lernumgebungen mit Lernenden interagieren. Hierbei wurden KI-basierte Sprach- und Gestenerkennung sowie semantische Verfahren eingesetzt, um eine intuitive und natürliche Interaktion zwischen Agenten und Lernenden zu ermöglichen. Die entwickelten Wissensvisualisierungen auf Basis von Knowledge Graphs trugen wesentlich zur Veranschaulichung komplexer Lerninhalte bei und eröffneten neue Möglichkeiten des explorativen und kollaborativen Lernens. Die Arbeiten erfolgten in enger interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Informatik, Bildungswissenschaften und Sozialwissenschaften, was die methodische und theoretische Fundierung der Ergebnisse sicherstellte. Das iterative Vorgehen nach der eigens entwickelten DevOpsUse-Methodik erlaubte die kontinuierliche Weiterentwicklung und Optimierung der eingesetzten Technologien auf Grundlage regelmäßiger Nutzerfeedbacks und Evaluationen. Die Ergebnisse der Evaluierungen bestätigten sowohl die technische Qualität als auch die hohe Nutzerakzeptanz und den Mehrwert für das selbstregulierte Lernen.

Im Folgenden werden die im Rahmen des Teilvorhabens an der RWTH Aachen erzielten Ergebnisse ausführlich dargestellt, wobei die einzelnen Arbeitspakete detailliert beschrieben werden. Dabei erfolgt eine vergleichende Betrachtung der geplanten Zielstellungen mit den tatsächlich erreichten Resultaten, die relevanten technischen und wissenschaftlichen Innovationen sowie die konkreten Nutzungsmöglichkeiten der entwickelten Technologien.

2.1 Ziele des Projekts und Ergebnisse auf AP-Ebene

Tabelle 1 bietet einen Überblick der APs über zwei Jahren im Rahmen der Antragstellung von tech4compKI und Verlängerung von dem Vorgängerprojekts tech4comp.

2.1.1 AP 1 Didaktische Modellierung

Die RWTH Aachen beteiligte sich an regelmäßigen projektinternen Abstimmungs- und Vernetzungstreffen zur Konzeption und Weiterentwicklung datengestützter personalisierter Bildungsmodelle sowie theoretischer Regelsysteme. Diese Modelle unterstützen Mentor:innen und Mentees lehrveranstaltungsübergreifend und studienbegleitend.

Tabelle 1: Zeitliche Planung des Arbeitsprogramms.

AP. Arbeitspaket	2022					2023					2024														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Meilensteine																									
1 Didaktische Modellierung																									
1.1 Analyse																									
1.2 Konzeption																									
1.4 Evaluation																									
2 Domänenmodellierung																									
2.1 Analyse																									
2.2 Konzeption																									
2.3 Implementierung																									
2.4 Evaluation																									
3 Verteilte Datenanalyse																									
3.1 Analyse																									
3.2 Konzeption																									
3.3 Implementierung																									
3.4 Evaluation																									
4 Mentoring Werkzeuge																									
4.1 Analyse																									
4.2 Konzeption																									
4.3 Implementierung																									
4.4 Evaluation																									
5 KI-basierte Adaptivität																									
5.1 Analyse																									
5.2 Konzeption																									
5.3 Implementierung																									
5.4 Evaluation																									
6 Organisationale Implementierung																									
6.1 Analyse																									
6.2 Konzeption																									
6.3 Implementierung																									
6.4 Evaluation																									
7 Wirksamkeit																									
7.1 Analyse																									
7.2 Konzeption																									
7.3 Implementierung																									
7.4 Evaluation																									
8 Testbed																									
8.1 Analyse																									
8.2 Konzeption																									
8.3 Implementierung																									

2.1.2 AP 2 Domänenmodellierung

Im Arbeitspaket 2 nahm die RWTH Aachen regelmäßig an Abstimmungsterminen und Ergebnispräsentationen teil und kommentierte insbesondere Anforderungen bezüglich der verteilten Datensammlung, -speicherung, -verarbeitung und -visualisierung. Der Fokus lag hierbei auf der Vorbereitung und Unterstützung weiterer Arbeitspakete.

2.1.3 AP 3 Verteilte Datenanalyse

Das zentrale Ziel des Lehrstuhls Informatik 5 der RWTH Aachen im Arbeitspaket 3 bestand gemäß der Vorhabenbeschreibung in der Entwicklung und dem Betrieb einer skalierbaren hybriden Cloud-Umgebung zur verteilten Datenanalyse. Diese Infrastruktur ermöglicht die Sammlung, Verarbeitung und Analyse relevanter Personmerkmale, Kompetenzabschätzungen sowie Kontextinformationen aus heterogenen und verteilten Datenquellen. Das methodische Vorgehen basierte auf der eigens entwickelten DevOpsUse-Methodik, welche iterative Entwicklungsschritte und kontinuierliche Nutzerevaluierungen ermöglicht. Dabei kamen Technologien wie Kubernetes zur Orchestrierung, Single-Sign-On (SSO)-Systeme zur Authentifizierung sowie standardisierte Schnittstellen (xAPI) zur Datenerfassung zum Einsatz. Im Rahmen des Projekts wurde ei-

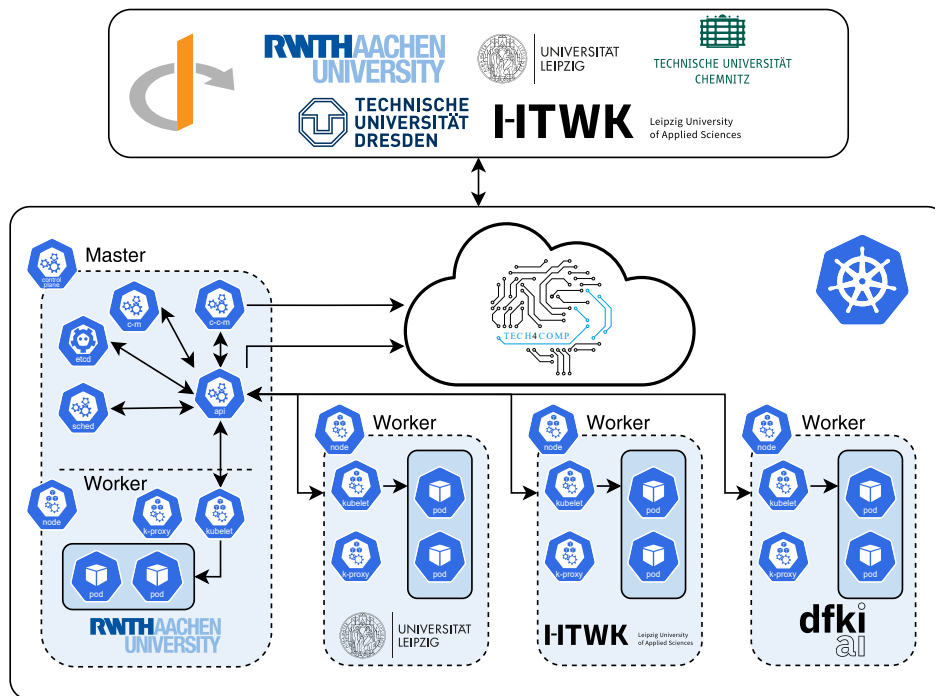


Abbildung 1: Überblick über die tech4comp Kubernetes-Cloud-Architektur: Die verteilte Infrastruktur verbindet verschiedene Hochschulstandorte über einen Master-Knoten und mehrere Worker-Knoten, was eine effiziente Ressourcennutzung und standortübergreifende Zusammenarbeit ermöglicht.

ne standortübergreifend verteilte Kubernetes-Infrastruktur entwickelt und betrieben (siehe Abbildung 1). Diese Cloud-Architektur ermöglichte die effiziente Zusammenarbeit der beteiligten Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Der Aufbau besteht aus einem zentralen Master-Knoten, der von der RWTH Aachen betrieben wird, sowie mehreren Worker-Knoten an den verschiedenen Standorten. Diese Architektur bietet entscheidende Vorteile wie dynamische Skalierbarkeit, effiziente Ressourcennutzung und zentralisierte Verwaltung bei gleichzeitiger Datenhoheit der einzelnen Institutionen. Die Authentifizierung erfolgt über einen SSO-Dienst, der einen sicheren und einheitlichen Zugang zu allen Diensten gewährleistet und dabei Role-Based Access Control (RBAC) implementiert. Die entwickelte Infrastruktur hostet eine Vielzahl spezialisierter Dienste (siehe Abbildung 2), die eng miteinander interagieren, um ein umfassendes Mentoringökosystem zu schaffen.

Im Projektverlauf wurden basierend auf den initialen Analysen und Konzepten spezifische wissenschaftliche und technische Ergebnisse erzielt. Dazu zählen die Operationalisierung der hybriden Cloud-Infrastruktur,

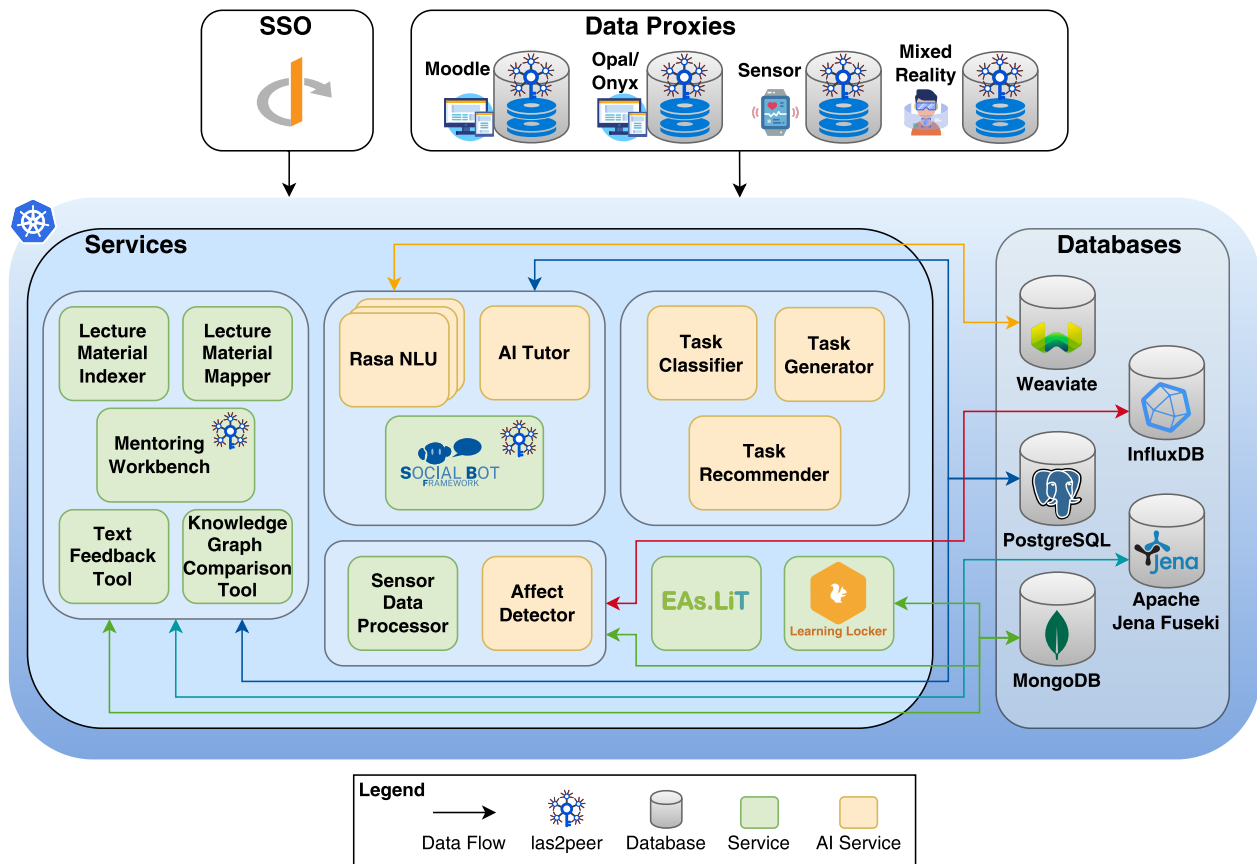


Abbildung 2: Überblick über die Dienste innerhalb der tech4comp Kubernetes-Cloud: Das Diagramm zeigt die komplexe Vernetzung von Datendiensten, KI-Services und Datenbanken sowie deren Datenflüsse, wobei verschiedene Technologien wie las2peer, Weaviate, InfluxDB und MongoDB integriert sind.

die Realisierung einer Sensor-Fusion-Plattform für heterogene Daten sowie die erfolgreiche Integration von skalierbaren KI-basierten Mentoring-Diensten. Konkret wurden Mentoring-Chatbots [8, 12] und Mixed Reality-Agenten [3, 5] entwickelt und implementiert, deren Funktionalitäten durch autonome Subsysteme und Behaviour Trees optimiert wurden [1, 4]. Neue automatisierte und datenschutzkonforme Datenanalyseverfahren wurden erfolgreich implementiert, insbesondere durch Technologien wie Mobile Deep Links [1] und WebXR, die webbasierte Inhalte mit Mixed Reality-Anwendungen verbinden [4]. Diese Ergebnisse wurden durch umfassende technische und soziotechnische Evaluierungen innerhalb von Microtestbeds überprüft, wobei zentrale Qualitätsindikatoren wie Systemqualität, Informationsqualität und Usability bestätigt wurden.

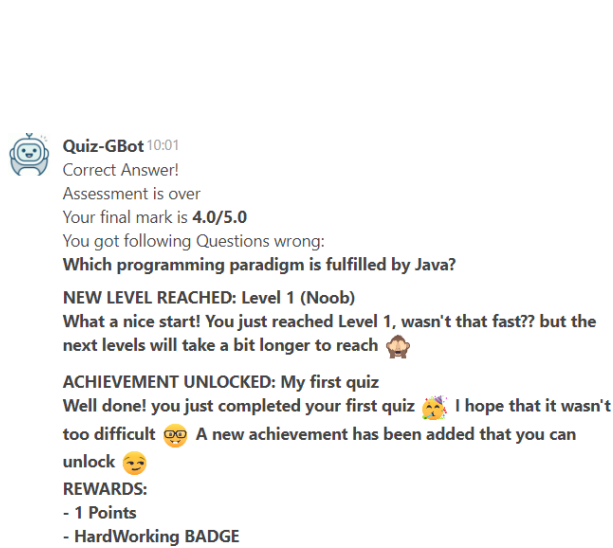
Während der Projektlaufzeit konnten trotz personeller Veränderungen zentrale Meilensteine erreicht und die gesetzten Ziele weitgehend eingehalten werden. Anpassungen wurden vorgenommen, um Kontinuität und Ergebnisqualität sicherzustellen. Die abschließenden Aktivitäten konzentrieren sich auf eine nachhaltige Integration von Nutzerfeedback und eine weitere Optimierung der entwickelten Lösungen, welche eine starke Basis für zukünftige Entwicklungen und die Anschlussfähigkeit an nationale Bildungsplattformen bieten.

2.1.4 AP 4 Mentoring-Werkzeuge

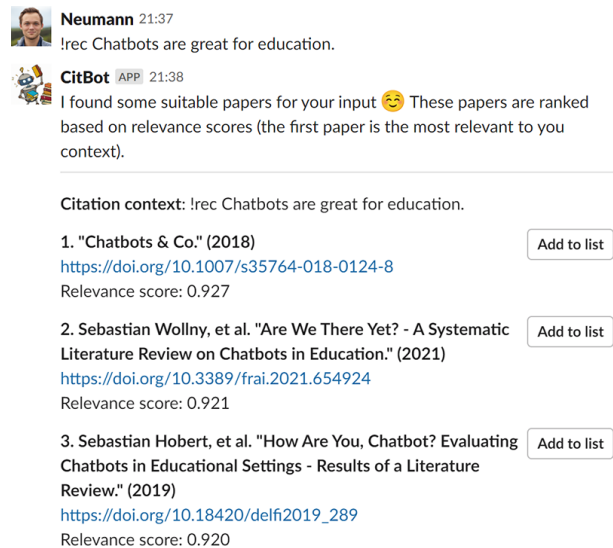
Das Arbeitspaket 4 hatte als Ziel, digitale Mentoring-Werkzeuge zu konzipieren und in Form modularer Webservices zu implementieren, die sich nahtlos in digitale Lernumgebungen integrieren lassen. Der Fokus des RWTH-Teilvorhabens lag dabei besonders auf der Entwicklung von Chatbots und Mixed Reality Agenten.

Im Rahmen einer umfassenden Bedarfs- und Anforderungsanalyse wurden zunächst Studierende und

Lehrende befragt, um konkrete Anforderungen an die neu zu entwickelnden Dienste zu ermitteln. Gemeinsam mit AP3 und AP6 erfolgte eine kontinuierliche Anpassung der Infrastruktur basierend auf den erhobenen Nutzungsbedarfen. Die Analyseergebnisse bestätigten den Bedarf an flexiblen und intuitiv bedienbaren Unterstützungssystemen, die eine personalisierte Lernbegleitung ermöglichen.



(a) Screenshot des gamifizierten Assessmentbots [8].



(b) Screenshot des Chatbots für Zitatempfehlungen [10].



(c) Screenshots des KI-basierten Mentoring-Chatbots [11].

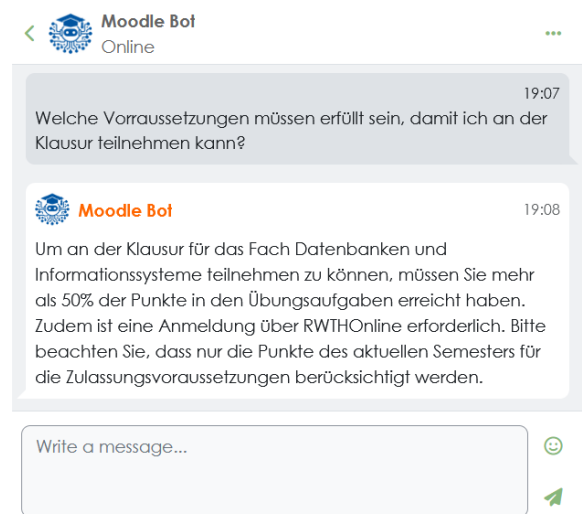


Abbildung 3: Screenshots der Chatbots Anwendungen

Entwickelte Mentoring-Werkzeuge

Chatbot-basierte Mentoring-Systeme Im Projektverlauf wurden unterschiedliche Chatbot-Ansätze realisiert:

1. **Gamifizierte Chatbots:** Diese boten spielerische Elemente wie Punkte, Badges und Bestenlisten zur Steigerung von Engagement und Lernmotivation (Abbildung 3a). Evaluierungen bestätigten eine hohe Nutzerzufriedenheit, insbesondere unter Studierenden mit Gaming-Erfahrung [8].

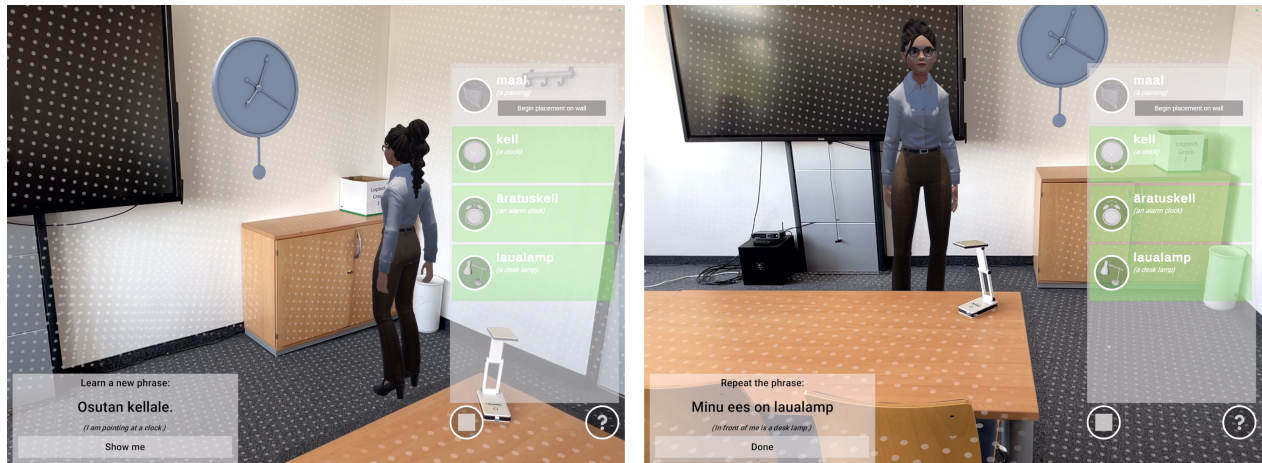
2. **Fachspezifische Empfehlungssysteme:** Entwicklung spezialisierter Chatbots für professionelle Communities, etwa zur Zitatempehlung (Abbildung 3b) und Generierung personalisierter Fragen für kollaborative Wissensarbeit [7, 10].
3. **KI-basierte Mentoring-Chatbots:** Durch Einsatz von Large Language Models entstanden skalierbare Lösungen, z.B. der MoodleBot (Abbildung 3c), der in einer Pflichtveranstaltung mit über 700 Studierenden mit hoher Antwortgenauigkeit (88%) und geringer Implementierungskosten überzeugte [11, 12]. Der MoodleBot nutzte Retrieval-Augmented Generation (RAG) mittels einer Weaviate-Datenbank und LangChain-Agenten zur Unterstützung organisatorischer und inhaltlicher Fragen sowie zur Generierung von Prüfungsübungen.

Mixed Reality Agenten Innovative Mixed Reality Agenten ergänzten das digitale Mentoring mit folgenden Entwicklungen:

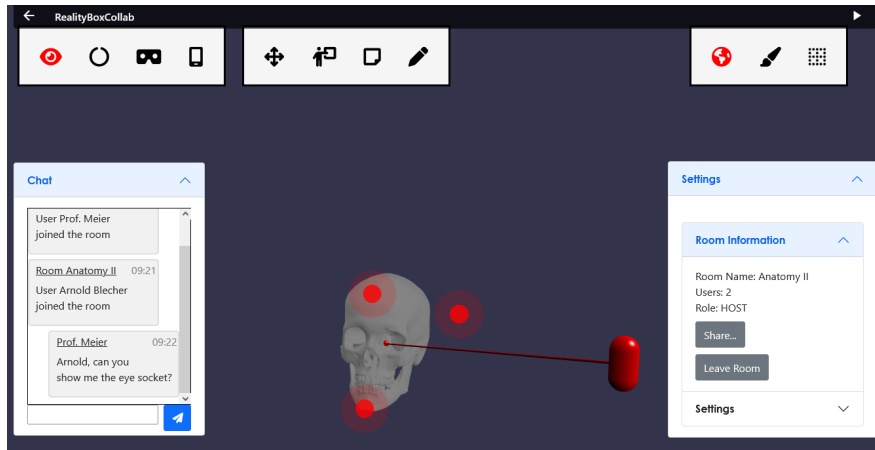
1. **Sprachlern-Tutoren:** MR-Agenten wurden gezielt für immersive Sprachlernumgebungen entwickelt, die das Sprachenlernen interaktiv unterstützen [3]. Hierzu wurde ein Mixed Reality Agent eingesetzt, der Sätze, die Aktionen in einer Fremdsprache beschreiben, visuell darstellen kann. Auf diese Weise können die Bedeutungen von Verben eindeutiger vermittelt werden. Durch die Interaktivität der Agenten können die Lernenden sich mit den Handlungen beschäftigen und diese nachvollziehen. Abbildung 4a zeigt die Sicht des Lernenden auf den Agenten.
2. **Kollaborative Lernumgebungen:** Die Integration von WebXR und H5P ermöglichte gemeinsame, standortunabhängige Mixed Reality-Lernszenarien [4]. Hierzu wurde ein Web-basierter Editor umgesetzt, der sich in Learning Management Systeme wie Moodle integrieren lässt. 3D Modelle können Studierenden auf dem Bildschirm oder in einer MR-Brille angezeigt werden und sie können als Avatare andere Studierende in dem virtuellen Raum wahrnehmen. Verschiedene kollaborative Features wurden hinzugefügt, wie ein virtueller Laserpointer, ein Textchat und ein Session-System für mehrere gleichzeitig an verschiedenen Orten stattfindende Meetings. Die Anwendung ist in Abbildung 4b dargestellt.
3. **Wissensbasierte Visualisierungen:** Agenten nutzten Knowledge Graphs zur verständlicheren Darstellung komplexer Inhalte und verbesserten die Lernwirksamkeit [5]. Hierzu wurde ein Modul umgesetzt, das Wissensgraphen in einer Mixed Reality Umgebung darstellen kann. Knoten des Graphen können verschieden repräsentiert werden, z.B. als Kugeln oder Bilder, die den Inhalt des Knoten wieder spiegeln. Der Vorteil dieser Darstellung liegt in der Möglichkeit sich einen schnellen Überblick über Wissensthemen zu verschaffen und die Struktur des Graphs räumlich zu erkunden. Der Agent kann bei diesem Erkundungsprozess helfen, indem er als Tour Guide durch den virtuellen Wissensraum führt. Die dreidimensionale Graph-Struktur auf einem Smartphone im Mixed Reality-Modus ist in Abbildung 4c zu sehen.

Als Basis für die Mixed Reality Agenten in den oben genannten Szenarien wurde ein Softwarepaket entwickelt, mit dem sich effizient Mixed Reality Agenten erstellen lassen. Wesentliche Fortschritte wurden durch autonome Subsysteme und Behaviour Trees erzielt, die ein natürliches Interaktionsverhalten der Agenten ermöglichten [1, 4]. Diese Subsysteme sind in eine konfigurierbare Architektur integriert, die in Abbildung 5 dargestellt ist. Die Agenten sind strukturiert in ihre visuelle Repräsentation und ihre Verhaltensdefinition. Beide Teile sind flexibel erweiterbar und anpassbar, indem z.B. das Aussehen der Agenten verändert wird oder Handlungsmöglichkeiten zu dem Agenten hinzugefügt werden. Dadurch konnten die beschriebenen Anwendungsszenarien effizient umgesetzt werden. Grundlage hierfür bildete eine umfangreiche systematische Literaturanalyse zu MR-Lernansätzen [2].

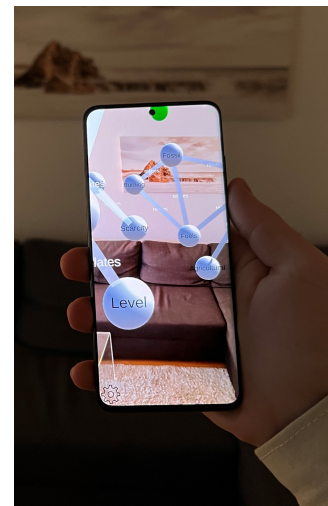
Integration in das Verbundkonzept Die entwickelten Mentoring-Werkzeuge wurden modular in die hybride Cloud-Infrastruktur von AP3 integriert. Durch standardisierte Schnittstellen entstand eine flexibel erweiterbare und adaptierbare Mentoring-Workbench mit einheitlicher Benutzererfahrung. Die Entwicklung folgte der DevOpsUse-Methodik, die iterative Verbesserungen und kontinuierliche Evaluation vorsah und durch enge Zusammenarbeit mit AP3 (Verteilte Datenanalyse) und AP5 (Backend-Services) eine konsistente Gesamtlösung ermöglichte.



(a) Screenshots der Sprachlern-Tutoren Anwendung [3].



(b) Screenshot der kollaborativen Lernumgebung [4].



(c) Screenshot der wissensbasierten Visualisierungen [5].

Abbildung 4: Screenshots der Mixed Reality Anwendungen

Technische Umsetzung und Nutzeroberflächen Die technische Realisierung basierte auf Rapid Prototyping, wodurch iterative Verbesserungen möglich wurden. Webdienste wurden via Kubernetes-Infrastruktur und standardisierten APIs bereitgestellt. Besonderes Augenmerk wurde auf intuitive Nutzeroberflächen gelegt, die dialogorientierte Chatbot-Interaktionen und immersive MR-Interfaces mittels Mobile Deep Links [1] und WebXR boten [4]. Die Authentifizierung erfolgte über den in AP3 realisierten SSO-Dienst mit RBAC.

Evaluierung und Nutzerfeedback Die Evaluation erfolgte in enger Kooperation mit AP3, AP6 und AP7 mithilfe spezifischer Evaluationsinstrumente. Ergebnisse zeigten eine hohe Akzeptanz und Zufriedenheit, insbesondere hinsichtlich Flexibilität, Benutzerfreundlichkeit und Unterstützung des selbstregulierten Lernens [3, 11]. Nutzerfeedback floss kontinuierlich in die Optimierung der Systeme ein, um Usability und funktionale Qualität weiter zu verbessern.

2.1.5 AP 5 KI-basierte Adaptivität

Das Arbeitspaket 5 hatte als zentrales Ziel die Entwicklung und Implementierung KI-basierter Wissensdienste zur Realisierung von Teilen des KI-gestützten Mentorings. Der Schwerpunkt des RWTH-Teilvorhabens lag dabei auf dem Ausbau von Chatbot-Technologien und der Einbindung KI-gestützter Mixed Reality Agenten.

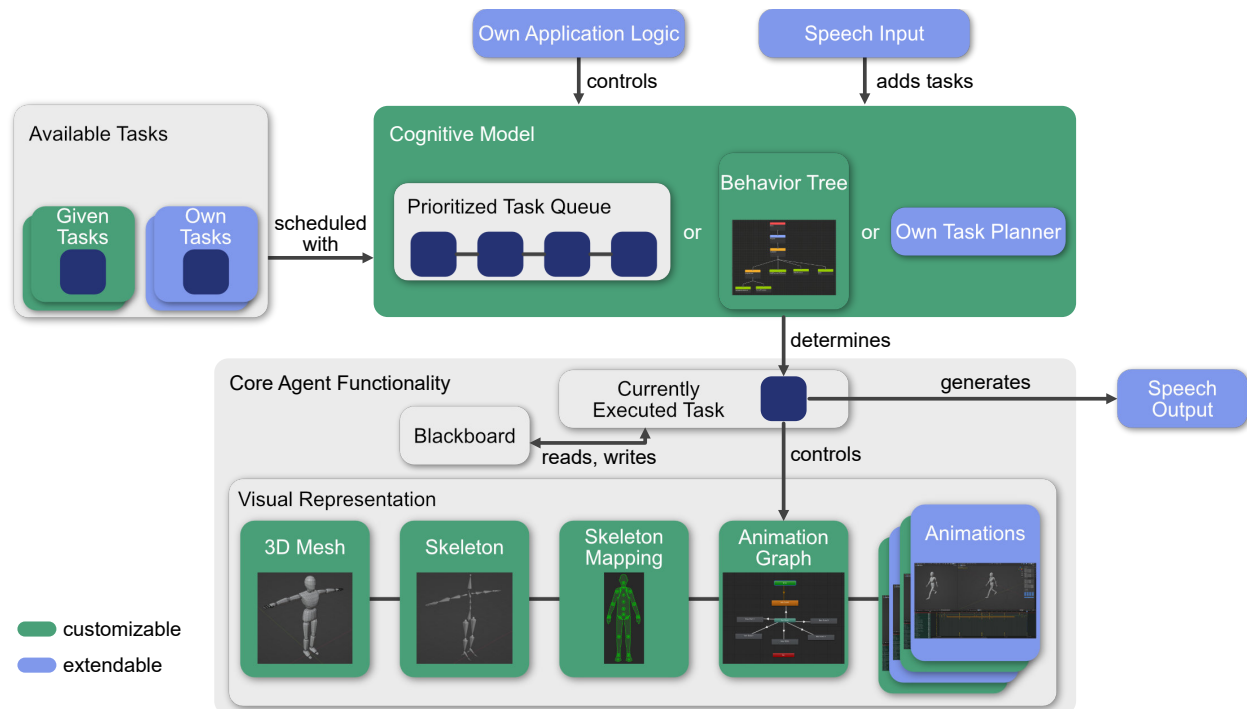


Abbildung 5: Architekturüberblick zur Realisierung der Mixed Reality Agenten [17].

Die Forschungsaktivitäten in AP5 fokussierten sich auf die Entwicklung adaptiver, KI-gestützter Mentoring-Werkzeuge. Dabei wurden folgende Kernziele verfolgt:

- Integration offener KI-Modelle zur Verbesserung der Chatbot-Funktionalitäten
- Automatisierung von Feedback-Prozessen für zeitnahe Lernunterstützung
- Schnittstellen-Entwicklung zwischen KI-Komponenten und Mixed Reality Umgebungen
- Kontinuierliche Evaluation der implementierten KI-Lösungen

Untersuchung und Einbindung offener KI-Modelle Eine umfassende Analyse offener KI-Modelle bildete die Grundlage für die Weiterentwicklung der Mentoring-Werkzeuge. Hierbei wurden insbesondere LLMs wie GPT-3.5/4 untersucht und systematisch in das tech4comp Ökosystem integriert. Der Fokus lag dabei auf dem Retrieval Augmented Generation (RAG) Ansatz, der die Generierungsfähigkeiten der Modelle mit strukturierten Wissensdatenbanken kombiniert und somit präzise, kontextbezogene Antworten ermöglicht.

Unsere systematische Untersuchung offener KI-Modelle (OSLLMs) auf Plattformen wie HuggingFace und GitHub zeigte, dass nur wenige Modelle den Großteil der Downloads und Nutzung ausmachen, wobei Modelle mit Apache 2.0 und MIT-Lizenzen besonders verbreitet sind. Diese Erkenntnisse ermöglichten eine fundierte Auswahl geeigneter Modelle für unsere Anwendungsfälle [13]. Die infrastrukturellen Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der benötigten Rechenleistung für größere Modelle wie Llama, wurden identifiziert und durch Cloud-basierte Lösungen adressiert.

Die Integration der Sprachtechnologie in die Mixed Reality Agenten erfolgte durch spezialisierte Text-to-Speech und Speech-to-Text Komponenten, die eine natürliche Interaktion unterstützen. Ein spezifisches Konzept zur Anbindung von Mixed Reality Agenten an LLMs wurde ausgearbeitet und implementiert, das sowohl die Verbindung zu OpenAI-Diensten als auch zu lokal gehosteten Open-Source-Modellen umfasst.

Implementierung der Chatbot-Technologien Die Fortschritte bei der Implementierung von Chatbot-Technologien waren substanziell: Der für die Lehrveranstaltung "Datenbanken und Informationssysteme" entwickelte MoodleBot demonstrierte erfolgreich die Integration von LLMs in bestehende Lernmanagementsysteme. Die Evaluation mit Studierenden zeigte eine hohe Akzeptanz und Antwortgenauigkeit (88%) [11].

Die Entwicklung des LLM-basierten Chatbots für bildungswissenschaftliche Studiengänge demonstrierte zudem die Skalierbarkeit von Mentoring-Prozessen durch KI-Unterstützung [12]. In Kooperation mit dem DFKI und der Universität Leipzig wurde der Chatbot im Testbed unter Verwendung des RAG-Ansatzes weiterentwickelt, wodurch die Antwortgenauigkeit durch effektive Nutzung eines umfangreichen Index von Lehrmaterialien deutlich verbessert wurde.

Eine innovative Erweiterung stellte die Implementierung gamifizierter Chatbot-Elemente dar, die zur Steigerung des Engagements und der Lernmotivation beitragen [8]. Parallel dazu wurden fachspezifische Empfehlungssysteme entwickelt, beispielsweise zur Zitatempfelung und Generierung personalisierter Fragen für kollaborative Wissensarbeit [10].

Automatisierung von Feedback-Prozessen Ein wesentlicher Fokus lag auf der Automatisierung von Feedback und der Unterstützung selbstregulierten Lernens. Hierbei wurden kontextbezogene Antwortgenerierungssysteme implementiert, die auf Basis der Kursmaterialien personalisierte Rückmeldungen erstellen. Die integrierten Funktionen zur automatischen Erstellung von Übungsaufgaben wurden speziell auf den Lernfortschritt der Studierenden zugeschnitten, wodurch eine individualisierte Lernbegleitung ermöglicht wurde. Die entwickelten Automatisierungsmechanismen wurden vollständig in die Cloud-Infrastruktur integriert und durch Kubernetes orchestriert.

Integration von KI in Mixed Reality Umgebungen Die Verbindung von KI und Mixed Reality bildete einen wichtigen Forschungsschwerpunkt: Es wurden Interaktionsmodelle für Mixed Reality Agenten entwickelt, die auf KI-basierter Sprach- und Gestenerkennung basieren [3]. Ein besonderer Fokus lag auf der natürlichen Kommunikation zwischen Studierenden und dem Agenten mittels Text-to-Speech und Speech-to-Text Technologien.

Die Implementierung von wissensbasierten Visualisierungen in Mixed Reality Umgebungen ermöglichte es, komplexe Zusammenhänge zu veranschaulichen und das Verständnis zu fördern [5]. Die Anpassbarkeit offener KI-Modelle erwies sich dabei als wesentlicher Vorteil für die speziellen Anforderungen der Mixed Reality-Umgebungen, insbesondere für domänenspezifische Anpassungen und Optimierungen.

Durch die Integration von WebXR und H5P konnten kollaborative Lernszenarien in Mixed Reality realisiert werden, die standortunabhängiges Lernen unterstützen [4]. Hierbei wurde insbesondere die Verfügbarkeit von Mixed Reality Lernumgebungen adressiert. Das WebXR System erlaubt eine Nutzung sowohl auf herkömmlichen Desktop-Computern, als auch mit Augmented Reality, sowie Virtual Reality Brillen. Die Erkenntnisse aus der Analyse von Community-Interaktionen bei offenen KI-Modellen wurden genutzt, um die kollaborativen Aspekte der Mixed Reality-Lösungen zu optimieren und das Nutzererlebnis zu verbessern.

Die Modularität der entwickelten Komponenten stellte sicher, dass diese flexibel in verschiedene Lernumgebungen eingebunden werden können, was durch einen strukturierten Design-Science-Research-Ansatz methodisch untermauert wurde [1]. Die Implementierung der Anbindung der Mixed Reality Agenten an die API von OpenAI wurde erfolgreich abgeschlossen, gefolgt von der Verbindung zu Open-Source-Modellen.

Evaluierungsergebnisse Die Evaluierung der implementierten KI-basierten Adaptivität erfolgte in mehreren Dimensionen: Die technische Evaluation zeigte, dass die LLM-basierten Chatbots eine hohe Genauigkeit bei der Beantwortung fachspezifischer Fragen erreichen. Für den MoodleBot wurde eine Genauigkeitsrate von 88% nachgewiesen, was die Effektivität der implementierten Lösungen unterstreicht.

Es wurden standardisierte Evaluationsmetriken wie MMLU, Hellaswag und Winogrande eingesetzt, die in der LLM-Community etabliert sind, um die Leistungsfähigkeit der Modelle systematisch zu bewerten und mit dem Stand der Forschung zu vergleichen.

Die Nutzerevaluation durch Befragungen zur Technologieakzeptanz bestätigte die positive Aufnahme der KI-Mentoring-Werkzeuge durch Studierende, mit besonders hohen Werten in den Bereichen wahrgenommene Nützlichkeit und Bedienbarkeit. Die Sentimentanalyse der Community-Reaktionen auf verschiedene Modelltypen korrelierte mit diesen Ergebnissen und bestätigte die höhere Akzeptanz von Modellen mit klaren Lizenzbestimmungen.

Die didaktische Evaluation deutete auf positive Auswirkungen auf selbstreguliertes Lernen und Hilfe-suchverhalten hin, insbesondere beim zeitnahen Zugang zu relevanten Informationen und der Unterstützung bei der Prüfungsvorbereitung. Sowohl der mit dem DFKI und der Universität Leipzig entwickelte Chatbot als auch der MoodleBot für Datenbanken und Informationssysteme wurden mit Bewertungstools ausgestattet, die eine kontinuierliche Verbesserung der Systeme ermöglichen.

Zusammenfassung und Ausblick Die Forschungsarbeit in AP5 hat wesentlich zum Verständnis und zur praktischen Implementierung von KI-basierten Mentoring-Systemen beigetragen. Die Anwendung des theoretischen Rahmens für OSLLMs (Openness, Licenses, Community) als Grundlage für die Integration offener KI-Modelle erwies sich als erfolgreich und bietet eine solide Basis für zukünftige Entwicklungen.

Die erkannten Herausforderungen und Vorteile von OSLLMs gegenüber proprietären Modellen haben die Entscheidung für die Integration offener KI-Modelle in Bildungskontexten bestätigt und wichtige Erkenntnisse für die Weiterentwicklung adaptiver Lernumgebungen geliefert. Zukünftige Forschungsarbeiten könnten auf dieser Grundlage aufbauen und weitere Verbesserungen in der Integration von KI in Bildungskontexten, insbesondere im Bereich der Mixed Reality, vorantreiben.

2.1.6 AP 6 Organisationale und technologische Begleitung & Implementierung

Das Arbeitspaket 6 hatte zum Ziel, die organisationale und technologische Integration der entwickelten Technologien in den Hochschulkontext zu gewährleisten sowie die notwendigen Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Nutzung zu schaffen. Der Beitrag des RWTH-Teilvorhabens konzentrierte sich dabei auf die Erstellung von Leitfäden für Chatbots und Mixed Reality Agenten, die Berücksichtigung von Forschungsdatenmanagement und IT-Sicherheitskonzepten sowie die Entwicklung und Implementierung von DevOpsUse-Bots.

Organisationale Integration der entwickelten Technologien Die organisationale Integration der in AP3, AP4 und AP5 entwickelten Technologien erfolgte auf mehreren Ebenen:

- **Analyse der Implementierungsanforderungen:** Zu Projektbeginn wurden detaillierte Analysen zu den Ressourcenanforderungen für Mixed Reality Systeme im Hinblick auf das Forschungsdatenmanagement durchgeführt, insbesondere bezüglich Datenvolumen, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Speicherkapazität.
- **Workshop-basierte Stakeholder-Integration:** Ein Workshop zum Thema „Wie können wir die Wissenslandkarten (virtuell) und virtuellen Agenten sinnvoll im universitären Bereich integrieren und einsetzen?“ wurde durchgeführt. Mittels Design-Thinking-Methoden wurden spezifische Herausforderungen der Lehr- und Lernpraxis identifiziert und kreative Lösungsansätze erarbeitet.
- **Infrastrukturelle Einbettung:** Die entwickelten Dienste wurden vollständig in die in AP3 realisierte hybride Cloud-Infrastruktur integriert, wodurch eine konsistente Plattform für die übergreifende Nutzung entstanden ist. Dabei wurden Schnittstellen zu bestehenden Lernmanagementsystemen etabliert, um einen nahtlosen Übergang für Endnutzer zu gewährleisten.

Datenschutz und IT-Sicherheitskonzept Ein zentraler Aspekt des Arbeitspaketes lag in der Entwicklung und Umsetzung umfassender Datenschutz- und IT-Sicherheitskonzepte:

- **Restrukturierung der Datenbanken:** In Zusammenarbeit mit der TU Dresden und der HTWK Leipzig wurde eine grundlegende Restrukturierung der Datenbanken vorgenommen, um die Datenspeicherung und -abfrage gemäß den FDM-Richtlinien zu optimieren.
- **Implementierung von Datenschutzmechanismen:** Für die Chatbot-Systeme wurde ein neues Datenschema entwickelt und implementiert, das den Datenschutzvorgaben entspricht, wie sie in den Datenschutzerklärungen für Studierende festgelegt sind. Dies gewährleistet eine transparente und rechtskonforme Datenerfassung.
- **Rollenbasierte Zugriffskontrollen:** Die Integration mit dem in AP3 realisierten Single-Sign-On-Dienst ermöglicht eine differenzierte Zugriffssteuerung zu sensiblen Daten und Funktionen, wobei RBAC-Prinzipien angewendet werden.

DevOpsUse-Methodik und Implementierungsprozess Die DevOpsUse-Methodik bildete das zentrale methodische Framework für die Umsetzung des Implementierungsprozesses:

- **CI/CD-Integration:** Alle von der RWTH entwickelten Dienste wurden mit Continuous Integration/ Continuous Deployment-Pipelines ausgestattet, die eine automatisierte Qualitätssicherung und Bereitstellung ermöglichen.

- **Container-Technologie:** Sämtliche Dienste wurden als Docker-Container implementiert und in der Kubernetes-Cloud-Architektur betrieben, was eine skalierbare Verwaltung und flexible Anpassung an schwankende Nutzerzahlen erlaubt.
- **DevOpsUse-Bots:** Zur Automatisierung von Entwicklungs- und Betriebsprozessen wurden spezielle Bots konzipiert und implementiert, die eine Echtzeitüberwachung, Fehlerbenachrichtigung und Teamkommunikation fördern sowie die Einhaltung von Datenmanagementrichtlinien unterstützen.
- **Continuous Feedback:** Nutzerfeedback wurde systematisch in den Entwicklungsprozess integriert, wodurch iterative Verbesserungen der Systeme ermöglicht wurden. Die entwickelten Proxies (u.a. für LMS und Sensoren) wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (insbesondere HTWK und DFKI) kontinuierlich getestet und optimiert.

Herausforderungen bei der Implementation Bei der Umsetzung des Arbeitspaketes waren diverse Herausforderungen zu bewältigen:

- **Integration heterogener Systeme:** Die Einbindung der entwickelten Technologien in die vielfältigen IT-Landschaften der beteiligten Hochschulen erforderte flexible Schnittstellen und Konfigurationsmöglichkeiten.
- **Datenschutzkonforme Implementierung:** Die Einhaltung der strengen datenschutzrechtlichen Anforderungen im Hochschulkontext stellte insbesondere bei der Implementierung der KI-basierten Systeme eine komplexe Aufgabe dar, die durch enge Abstimmung mit Datenschutzbeauftragten gelöst wurde.
- **Ressourcenanforderungen:** Die Mixed Reality Anwendungen stellten hohe Anforderungen an die verfügbare Hardware und Netzwerkinfrastruktur, was durch entsprechende Optimierungen und Skalierungskonzepte adressiert wurde.
- **Akzeptanzförderung:** Die Einführung neuer Technologien erforderte intensive Kommunikations- und Schulungsmaßnahmen, um eine breite Akzeptanz bei den verschiedenen Nutzergruppen zu erreichen.

2.1.7 AP 7 Wirksamkeit

Im Arbeitspaket 7 nahm die RWTH Aachen regelmäßig an Abstimmungen und Ergebnispräsentationen teil. Sie kommentierte dabei insbesondere Anforderungen zur Erhebung, Verarbeitung und Visualisierung von Daten sowie zur Modellierung von Wirksamkeitsindikatoren KI-gestützter Mentoring-Settings.

2.1.8 AP 8 Testbed

Im Arbeitspaket 8 beteiligte sich die RWTH Aachen regelmäßig an projektinternen Treffen und kommentierte Anforderungen bezüglich verteilter Datensammlung, -speicherung und -visualisierung. Dabei unterstützte sie insbesondere die Entwicklung adaptiver und intelligenter Bildungsräume für KI-gestütztes Mentoring.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises können Tabelle 2 entnommen werden, in der die bewilligten Mittel dargestellt sind.

Tabelle 2: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position	Bezeichnung	Verausgabte Mittel
0812	Beschäftigte E12-E15	280.092,20 €
0822	Beschäftigungsentgelte	42.668,51 €
0831	Gegenstände bis 800/410/400 €	0 €
0846	Dienstreisen	9.874,06 €
0850	Gegenstände & andere Investitionen > 800/410/400 €	0 €
Summe nachgewiesener Ausgaben		332.634,77 €

Der größte Posten im Teilprojekt sind die Personalkosten (Position 0812 und 0822), die zusammen über 97% der Gesamtausgaben darstellen. Dies entspricht dem Projektcharakter, da die Entwicklung der verteilten Datenanalyse zur Bestimmung von Personenmerkmalen einen hohen personellen Einsatz qualifizierter Mitarbeiter erforderte.

Die Dienstreisen (Position 0846) umfassten hauptsächlich die Teilnahme an nationalen und internationalen Konferenzen, um die Projektergebnisse der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Von besonderer Bedeutung waren dabei die *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT) 2023* [1], die *13th International Conference on Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning* [4] sowie die Konferenz *Advances in Web-Based Learning (ICWL) 2023* [8], bei denen aktuelle Forschungsergebnisse vorgestellt wurden. Zusätzlich entstanden Publikationskosten (Open-Access) durch den Artikel im Journal *IEEE Transactions on Education* [11], der zentrale Ergebnisse nachhaltig der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich macht. Zudem fanden Verbundtreffen zur partizipativen Arbeit an den Arbeitspaketen statt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Tätigkeiten und Maßnahmen im tech4compKI-Projekt waren sowohl notwendig als auch angemessen, um die definierten Projektziele zu erreichen. Zentrale Projektziele, darunter die Entwicklung und Implementierung hybrider KI-basierter Mentoring-Systeme sowie einer verteilten Datenanalyse-Infrastruktur, wurden vollumfänglich erfüllt. Insbesondere die Bereitstellung einer hybriden Cloud-Umgebung zur datenschutzkonformen Verwaltung großer Datenmengen und die Entwicklung von Mixed Reality-Agenten trugen maßgeblich zur Erreichung der Meilensteine bei. Die intensive Zusammenarbeit zwischen interdisziplinären Teams, bestehend aus Informatikern, Bildungs- und Sozialwissenschaftlern, sowie kontinuierliche Evaluierungen mit Nutzern sorgten für eine hohe Qualität der Ergebnisse und deren praktische Anwendbarkeit.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Ergebnisse des tech4compKI-Projekts bieten signifikanten Nutzen für Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft. Wissenschaftlich gesehen leisten sie einen wertvollen Beitrag zur Erforschung und Entwicklung hybrider KI-basierter Mentoring-Systeme. Die entwickelten Systeme, wie der modulare MoodleBot und Mixed Reality-Agenten, eröffnen neue Perspektiven für digitales, skalierbares Mentoring, das auch bei begrenzten Ressourcen effektiv ist. Praktisch bieten diese Technologien Hochschulen und Bildungseinrichtungen konkrete Werkzeuge zur Unterstützung selbstregulierten Lernens, zur Optimierung von Lernprozessen und zur Förderung inklusiver Bildung.

Die entstandene Infrastruktur zur Realisierung der Mixed Reality-Fallstudien wurde gezielt modular entworfen. Sowohl das fundamentale Paket zur Mixed Reality-Entwicklung als auch die entwickelte Lösung zur Erstellung von Mixed Reality-Agenten wurden als wiederverwendbares Software-Paket quelloffen der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Diese Software-Pakete sind dementsprechend auch für zukünftige wissenschaftliche und kommerzielle Projekte nutzbar. Die Flexibilität der Lösungen wurde durch verschiedene wissenschaftliche Fallstudien demonstriert und validiert. Weiterhin wurde das Paket intensiv in Kursiterationen des praktischen Kurses „Mixed Reality Lab“ sowie in weiteren Projekten getestet und evaluiert. Dabei entstand eine umfangreiche Dokumentation sowie vielfältige Nutzungsbeispiele, die basierend auf Feedback kontinuierlich angepasst wurden, um externen Personen einen leichten Einstieg zu ermöglichen. Das fundamentale Mixed Reality-Paket wird monatlich mehr als 55 Mal heruntergeladen und hat eine Favoritenmarkierung von 63 Personen erhalten, welche das Paket unabhängig online entdeckt haben. Diese Nutzer stammen aus einer internationalen Mixed Reality-Entwicklungsgemeinschaft, darunter Entwicklungsstudios, Universitäten und Forschungseinrichtungen. Diese Zahlen belegen, dass die entwickelten technischen Lösungen eine Reichweite über das Projekt hinaus erreicht haben und auf großes Interesse stoßen.

Konkrete Zukunftsplanungen umfassen die Weiterentwicklung und Anwendung der Technologien im Rahmen nationaler Bildungsplattformen, wodurch eine breite Nutzung und Skalierung ermöglicht wird. Erste Schritte hierfür sind bereits eingeleitet, etwa durch die Open-Source-Veröffentlichung der entwickelten Softwarepakete und deren aktive Nutzung und Erweiterung in anderen Projekten und Bildungseinrichtungen.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt

Während der Projektlaufzeit sind bei anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen relevante Entwicklungen im Bereich KI-basierter Bildungstechnologien beobachtet worden, insbesondere im Bereich OSLLMs und deren Einsatz in der Bildung. Im Vergleich hierzu positioniert sich tech4compKI mit einem innovativen hybriden Ansatz, der regelbasierte Verfahren mit lernenden Algorithmen kombiniert und insbesondere Mixed Reality-Elemente integriert. Dieser Ansatz hebt sich von bisherigen Arbeiten ab, die häufig nur einzelne Aspekte adressieren, und bietet somit einen klaren Mehrwert hinsichtlich einer umfassenden, interaktiven und adaptiven Lernerfahrung. Insgesamt untermauern die vorgestellten Ergebnisse und Perspektiven die hohe wissenschaftliche Qualität, die praktische Anwendbarkeit und die gesellschaftliche Relevanz der im tech4compKI-Projekt erzielten Fortschritte.

Publikationen

- [1] Benedikt Hensen. A Modularity Approach in Design Science Research for Mixed Reality Learning Artifacts. In *2023 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 252–254. IEEE, 2023.
- [2] Benedikt Hensen. A Systematic Literature Review of Mixed Reality Learning Approaches. In Lucio Tommaso de Paolis, Pasquale Arpaia, and Marco Sacco, editors, *Extended Reality*, volume 14219 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 15–34. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [3] Benedikt Hensen and Danylo Bekhter. Mixed Reality Agents as Language Learning Tutors. In Claude Frasson, Phivos Mylonas, and Christos Troussas, editors, *Augmented Intelligence and Intelligent Tutoring Systems*, volume 13891 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 565–575. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [4] Benedikt Hensen and Konstantin Kühlem. Collaborative Learning in Mixed Reality Using WebXR and H5P. In Marcelo Milrad, Nuno Otero, María Cruz Sánchez-Gómez, Juan José Mena, Dalila Durães,

- Filippo Sciarrone, Claudio Alvarez-Gómez, Manuel Rodrigues, Pierpaolo Vittorini, Rosella Gennari, Tania Di Mascio, Marco Temperini, and Fernando de La Prieta, editors, *Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning, 13th International Conference*, volume 764 of *Lecture notes in networks and systems*, pages 239–249. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [5] Benedikt Hensen, Alexander Rechtmann, and Alexander Tobias Neumann. Mixed Reality Learning Visualizations Using Knowledge Graphs. In Haoran Xie, Chiu-Lin Lai, Wei Chen, Guandong Xu, and Elvira Popescu, editors, *Advances in Web-Based Learning – ICWL 2023*, volume 14409 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 147–154. Springer Nature Singapore, Singapore, 2023.
 - [6] Ralf Klamma, Benedikt Hensen, Alexander Tobias Neumann, and Anika Rieth. *Intelligente Benutzerschnittstellen in Räumen der erweiterten Realität*, 2022.
 - [7] Alexander Tobias Neumann, Simon Breuer, and Ralf Klamma. Collaborative Community Knowledge Building with Personalized Question Recommendations. In Lung-Hsiang Wong, editor, *Collaboration technologies and social computing*, volume 13632 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 190–204. Springer, Cham, 2022.
 - [8] Alexander Tobias Neumann, Aaron David Conrardy, Stefan Decker, and Matthias Jarke. Motivating Learners with Gamified Chatbot-Assisted Learning Activities. In Haoran Xie, Chiu-Lin Lai, Wei Chen, Guandong Xu, and Elvira Popescu, editors, *Advances in Web-Based Learning – ICWL 2023*, volume 14409 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 189–203. Springer Nature Singapore, Singapore, 2023.
 - [9] Alexander Tobias Neumann and Ralf Klamma. Kollaborative Erstellung von intelligenten Mentoring-Bots als skalierbare Werkzeuge zur individuellen Unterstützung in der Hochschulbildung. In Thomas Köhler, Eric Schoop, Nina Kahnwald, and Ralph Sonntag, editors, *Gemeinschaften in Neuen Medien. Digitalität und Diversität. Mit digitaler Transformation Barrieren überwinden!?*, pages 104–112. Technische Universität Dresden, 2022.
 - [10] Alexander Tobias Neumann, Michal Slupczynski, Yue Yin, Chenyang Li, and Stefan Decker. Citation Recommendation Chatbot for Professional Communities. In Hideyuki Takada, D. Moritz Marutschke, Claudio Alvarez, Tomoo Inoue, Yugo Hayashi, and Davinia Hernandez-Leo, editors, *Collaboration Technologies and Social Computing*, volume 14199 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 52–67. Springer Nature Switzerland and Imprint Springer, Cham, 2023.
 - [11] Alexander Tobias Neumann, Yue Yin, Sulayman Sowe, Stefan Decker, and Matthias Jarke. An LLM-Driven Chatbot in Higher Education for Databases and Information Systems. *IEEE Transactions on Education*, 68(1):103–116, 2025.
 - [12] Hassan Soliman, Milos Kravcik, Alexander Tobias Neumann, Yue Yin, Norbert Pengel, and Maike Haag. Scalable Mentoring Support with a Large Language Model Chatbot. In Rafael Ferreira Mello, Nikol Rummel, Ioana Jivet, Gerti Pishtari, and José A. Ruipérez Valiente, editors, *Technology enhanced learning for inclusive and equitable quality education*, *Lecture Notes in Computer Science*, pages 260–266, Cham, 2024. Springer.
 - [13] Sulayman Sowe, Yongli Mou, Du Cheng, Lingxiao Kong, Alexander Tobias Neumann, and Stefan Decker. Understanding Open Source Large Language Models: An Exploratory Study. In *2024 2nd International Conference on Foundation and Large Language Models (FLLM)*, pages 132–140. IEEE, 2024.

Literatur

- [14] Ferguson, R. and Shum, S. B. (2012). Social Learning Analytics: Five Approaches. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, LAK '12, pages 23–33, New York, NY and USA. ACM.

- [15] Gaaw, S. and Stützer, C. M. (2020). A proactive perspective on the future of Learning Analytics: A systematic literature review. In *Companion Proceedings of the 10th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK20)*, pages 74–76.
- [16] Greer, J., Frost, S., Banow, R., and Thompson, C. (2015). The Student Advice Recommender Agent: SARA. In *Posters, Demos, Late-breaking Results and Workshop Proceedings of the 23rd Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (UMAP'15)*.
- [17] Hensen, B., Bekhter, D., Blehm, D., Meinberger, S., and Klamma, R. (2022). Mixed Reality Agents for Automated Mentoring Processes. In de Paolis, L. T., Arpaia, P., and Sacco, M., editors, *Extended Reality*, volume 13446 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 3–16. Springer Nature Switzerland, Cham.
- [18] Holz, T., Campbell, A. G., O'Hare, G. M., Stafford, J. W., Martin, A., and Dragone, M. (2011). MiRA—Mixed Reality Agents. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 69(4):251–268.
- [19] Huang, X., Twycross, J., and Wild, F. (11.12.2019 - 11.12.2019). A Process for the Semi-Automated Generation of Life-Sized, Interactive 3D Character Models for Holographic Projection. In *2019 International Conference on 3D Immersion (IC3D)*, pages 1–8. IEEE.
- [20] McCabe, J. (2011). Metacognitive awareness of learning strategies in undergraduates. *Memory & cognition*, 39(3):462–476.
- [21] Pirnay-Dummer, P., Seel, N. M., and Stoyanov, S. (2012). Designing Model-Based Learning Environments to Support Mental Models for Learning. In Hai-Jew, S., editor, *Constructing Self-Discovery Learning Spaces Online: Scaffolding and Decision Making Technologies*, pages 66–94. Routledge, New York, NY.
- [22] Plattform Lernende Systeme (2020). Zukunftsfähigkeit mit KI sichern: Ansätze für mehr Resilienz und digitale Souveränität: Positionspapier.
- [23] Stuetzer, C. M., Carley, K. M., Koehler, T., and Thiem, G. (2011). The communication infrastructure during the learning process in web based collaborative learning systems. In de Roure, D. and Poole, S., editors, *Proceedings of the 3rd International Web Science Conference on - WebSci '11*, pages 1–8, New York, New York, USA. ACM Press.
- [24] Wang, X., Gulenman, T., Pinkwart, N., de Witt, C., Gloerfeld, C., and Wrede, S. (06.07.2020 - 09.07.2020). Automatic Assessment of Student Homework and Personalized Recommendation. In *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 150–154. IEEE.
- [25] Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., and Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1).

Ort

Datum

Alexander Neumann