



Titel: Sachbericht zum Verwendungsnachweis nach NKBF 2017
Teil I: Kurzbericht

Vorhaben: *MITHOS: Mixed-Reality Interaktives Training zum Umgang mit Heterogenität und Konfliktsituationen in der Schule*

Teilvorhaben: *VI-TRAIN: Virtuell-Immersive 3D-Trainingsumgebung*

Förderkennzeichen: 16SV8690

Zuwendungsempfänger: TriCAT GmbH, Lise-Meitner-Straße 13, D-89081 Ulm

Projektleiter: Dipl. Ing. Markus Herkersdorf

Bewilligungszeitraum: 1. August 2021 – 31. Juli 2024

Berichtszeitraum: 1. August 2021 – 31. Juli 2024

Autoren: Dipl. Ing. Markus Herkersdorf, Dr. Ing. Gregor Mehlmann

Datum: 23.01.2025

Gefördert durch:



Das Teilvorhaben *VI-TRAIN* wurde innerhalb des Verbundvorhabens *MITHOS* im Rahmen der Bekanntmachung „Interaktive Systeme in virtuellen und realen Räumen – Innovative Technologien für die digitale Gesellschaft (VAR2)“ mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16SV8690 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Aufgabenstellung des Teilvorhabens	3
3. Voraussetzungen des Teilvorhabens.....	3
4. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
5. Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens.....	4
6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5

1. Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt den ersten Teil des sachlichen Schlussberichts für das von der TriCAT GmbH innerhalb des Verbundprojekts *MITHOS* bearbeitete Teilvorhaben *VI-TRAIN* dar. Es folgt der Struktur, die das Muster zur Gestaltung des Schlussberichts zu einem Teilvorhaben als Teil des Verwendungsnachweises in Anlage 2 zu den NKBF 2017 vorgibt. Der vorliegende Kurzbericht fasst somit zunächst die ursprüngliche Aufgabenstellung des Teilvorhabens sowie die Voraussetzungen zusammen, an die zu Beginn des Vorhabens angeknüpft wurde, d. h. den wissenschaftlichen und technischen Stand, eigene Vorarbeiten bei TriCAT und bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte. Anschließend werden die Planung und der Ablauf des Teilvorhabens sowie die wesentlichen Ergebnisse kompakt beschrieben. Zuletzt wird die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen erläutert und die verwendete Fachliteratur sowie Informations- und Dokumentationsdienste angegeben.

2. Aufgabenstellung des Teilvorhabens

Ziel des Verbundvorhabens „*MITHOS: Mixed-Reality Interaktives Training zum Umgang mit Heterogenität und Konfliktsituationen in der Schule*“ war es, eine neue Qualität für den nachhaltigen Erwerb sozio-emotionaler Kompetenzen für den Unterricht über zu ermöglichen. Zu diesem Zweck sollte ein innovatives XR- und KI-basiertes Software-Framework für das wirksame, realitätsnahe Training sozio-emotionaler Kompetenzen in Aus- und Weiterbildung angehender und praktizierender Lehrpersonen konzipiert, entwickelt und evaluiert werden.

Die Aufgaben des von TriCAT verantworteten Teilvorhabens „*VI-TRAIN: Virtuell-Immersive 3D-Trainingsumgebung*“ waren sowohl Entwurf und Umsetzung der Architektur des Frameworks als auch Konzeption und Entwicklung der zentralen XR-Anwendung. Kern im Frontend sollte eine auf der *TriCAT spaces*[®] Plattform aufbauende, virtuell-immersive 3D-Umgebung einer Schule mit einem Klassenraum sein. Trainierende sollten mit ihrem eigenen Avatar verschiedenen Konfliktsituationen mit KI-gesteuerten Schüleragenten und Feedbackphasen durchlaufen. Spezielle Hardware und Sensorik (z. B. XR-Head-Mounted-Display, XR-Controller, XR-Tracker, Eye-Tracker und Facial-Tracker) sollte die präzise Erfassung und Interpretation der sozialen Signale der Lehrpersonen ermöglichen. Dadurch würden der Ablauf des Trainings in Echtzeit beeinflussbar sein und das Verhalten im Nachgang analysier- und beurteilbar werden.

Die Lehrpersonen sollten befähigt werden, die Wahrnehmung ihrer Bedürfnisse und ihre Fähigkeit zu Empathie und Perspektivübernahme besser zu verstehen und ihre Emotions- und Konfliktregulation bei Herausforderungen durch Konflikte im Unterricht trainieren zu können.

3. Voraussetzungen des Teilvorhabens

Zu Beginn des Vorhabens war es Lehrpersonen im Rahmen ihrer herkömmlichen Aus- und Weiterbildung nur schwer möglich die erforderlichen Fähigkeiten systematisch, realitätsnah und nachhaltig zu trainieren. Um dem wachsenden Bedarf nach derartigen Angeboten gerecht werden zu können, setzt das Verbundvorhaben *MITHOS* an diesem Punkt an. Es bietet ein ökonomisch und ökologisch sinnvolles, für interessierte Lehrpersonen zeit- und ortsunabhängig nutzbares, und verankerbares XR- und KI-basiertes System für das eigenständige oder kollaborative Training dieser sozio-emotionalen Kompetenzen in einer virtuell-immersiven 3D-Umgebung.

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung waren aufgrund der Vorarbeiten und langjährigen Expertise von TriCAT außerordentlich gut. Zusätzlich trugen die Erfahrung aus der Zusammenarbeit der Verbundpartner in vorangegangenen Projekten maßgeblich dazu bei. TriCAT brachte umfangreiche didaktisch-methodische als auch konzeptuelle und technische Kompetenzen in den relevanten Technologiefeldern, wie z. B. 3D-Welten, Avataren, Simulationen, Sensorik, KI und XR ein. Mit der markterprobten und bewährten *TriCAT spaces*® Plattform konnte die Entwicklung bereits auf sehr hohem Niveau beginnen. Dies ermöglichte rasch ein lauffähiges System und bot von Beginn an hervorragende Voraussetzungen für das Gelingen. Über die *TriCAT spaces*® Plattform war TriCAT in der Lage, Ergebnisse aus der eigenen Projekt- und Produktentwicklung sowie Erfahrungen aus Forschungsprojekten einfließen zu lassen.

4. Planung und Ablauf des Vorhabens

Planung und Ablauf des Teilvorhabens folgten im Rahmen der benutzerzentrierten Umsetzungskette des Verbundprojekts einem iterativen und agilen Ansatz. In der kontinuierlichen Schärfung von Anforderungen und der Verfeinerung der Konzeption wurden anstehende Aufgaben identifiziert und Integrations- sowie Entwicklungsziele vereinbart. Deren Umsetzung wurde in iterativen Schleifen aus Entwicklungs-, Integrations-, Erprobungs- und Evaluationsphasen durchgeführt und überwacht. Erkenntnisse aus der Erprobung und Evaluation des jeweiligen Entwicklungsstands sowie dem aktualisierten Stand von Wissenschaft und Technik flossen fortlaufend in diesen Prozess ein. Der aus der kontinuierlichen Entwicklung, Überprüfung, Bewertung und Adaption erwachsenden, engen interdisziplinären Koordination mit den Verbundpartnern, wurde die Projektplanung durch ausreichend überlappende Laufzeiten der Arbeitspakete und eine adäquate Ressourcen- und Meilensteinplanung gerecht.

Abgesehen vom Projektmanagement, war TriCAT mit seinem Teilvorhaben in alle Arbeitspakete im Verbund involviert. Sie war wesentlich beteiligt an der Entwicklung der System- und Softwarearchitektur sowie Frontend- und Backend-Integration. Außerdem verantwortete sie federführend die Konzeption und Umsetzung der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung. Der Fortschritt der Entwicklungen orientierte sich entlang der im Verbund festgelegten, vorhabenübergreifenden Meilensteine, die alle zeit- und plangerecht abgeschlossen werden konnten.

5. Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens

Die Integrations- und Entwicklungsleistungen von TriCAT im Teilvorhaben *VI-TRAIN* waren zentral und maßgeblich für das Ergebnis und den Erfolg des Verbundvorhabens *MITHOS*. Unter dieser Beteiligung von TriCAT ist es dem interdisziplinären Verbund aus Forschungs- und Entwicklungspartnern in *MITHOS* gelungen, unter Verwendung modernster XR-Technologien und KI-Verfahren, ein innovatives Trainingssystem zu entwickeln. Kern dieses Systems ist die von TriCAT entwickelte virtuell-immersive 3D-Schulumgebung mit verschiedenen Trainingsszenarien und Trainingsphasen sowie KI-gesteuerten Agenten und den Avataren der Nutzer. Es ermöglicht Lehrpersonen jederzeit, von überall aus und so oft sie möchten, ein realitäts- und praxisnahes Training und bietet didaktisch und methodisch fundierte Szenarien für den professionellen Umgang mit komplexen, sozio-emotionalen Herausforderungen, wie sie bei Konflikten oder heterogenen Gruppen im Schulunterricht entstehen können. Die Lehrpersonen werden durch den Aufbau der Trainingsphasen in die Lage versetzt, die Wahrnehmung ihrer eigenen

Bedürfnisse und ihre Fähigkeit zu Empathie und Perspektivübernahme zu verstehen und ihre empathische Kommunikation sowie Emotions- und Konfliktregulation in herausfordernden Situationen systematisch und realitätsnah zu trainieren. Das System bietet den Lehrpersonen dadurch eine völlig neuartige Qualität für den effektiven und nachhaltigen Erwerb sozio-emotionaler Kompetenzen für den Unterricht. Umfangreiche Studien mit Nutzenden sichern die Genauigkeit der zugrundeliegenden Affekt-, Konflikt- und Interaktionsmodelle sowie die Realitätsnähe und Wirksamkeit des Trainingssystems. Die wissenschaftlich fundierten Evaluationen der durchgeführten Nutzerstudien, haben gezeigt, dass die Etablierung des Systems in der Aus- und Weiterbildung von angehenden und praktizierenden Lehrpersonen an Schulen oder ähnlichen Einrichtungen die traditionelle Lehrpersonenausbildung sinnvoll und wirksam ergänzen kann. Das entwickelte Trainingssystem ist zudem generalisierbar und lässt sich in weiteren Anwendungsbereichen einsetzen, in denen Perspektivenwechsel und Konfliktregulierung bei interpersonellen Konflikten trainiert werden sollen.

6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

MITHOS war ein Verbundvorhaben unter Leitung des Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) und mit Beteiligung der Universität Augsburg (US), der Universität des Saarlandes (UdS) und der Semvox GmbH (PS). Neben der gemeinsamen Arbeit im Verbund wurde über den gesamten Projektverlauf eine enge Abstimmung mit dem *XR-Interakt Living Lab* aufrechterhalten. Diese diente der Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den Verbundprojekten und dem Vergleich der XR-Ansätze mit Teilnehmern aus anderen Endnutzergruppen, um die potenzielle Umsetzung in andere Einsatzfelder zu erhöhen. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit mit dem Living Labs entstand auch der Beitrag des Verbunds zu einem Buchprojekt, in dem die Forschungsaktivitäten und das Trainingssystem in *MITHOS* beschrieben werden. Des Weiteren wurde der Verbund von einem ELSI-Beirat, der UdS-Ethikkommission sowie den Datenschutzbeauftragten des DFKI bei der Planung und Durchführung von Studien im Bereich Human-Computer Interaktion und insbesondere unter Berücksichtigung von sozio-emotionalen Aspekten beraten. Zuletzt konnte TriCAT die Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Teilvorhaben auch mit anderen BMBF-Projekten, wie z. B. *XR-PART* (BMBF, 2021-2025, FKZ 16SV8767) und *AVILAB* (BMBF, 2022-2024, FKZ 16INB2005B) sowie dem BMWK-Projekt *ToHyVe* (BMWK, 2022-2024, FKZ 01MT22002H) teilen und somit den wissenschaftlichen Austausch fördern.



Titel: Sachbericht zum Verwendungsnachweis nach NKBF 2017
Teil II: Schlussbericht

Vorhaben: *MITHOS: Mixed-Reality Interaktives Training zum Umgang mit Heterogenität und Konfliktsituationen in der Schule*

Teilvorhaben: *VI-TRAIN: Virtuell-Immersive 3D-Trainingsumgebung*

Förderkennzeichen: 16SV8690

Zuwendungsempfänger: TriCAT GmbH, Lise-Meitner-Straße 13, D-89081 Ulm

Projektleiter: Dipl. Ing. Markus Herkersdorf

Bewilligungszeitraum: 1. August 2021 – 31. Juli 2024

Berichtszeitraum: 1. August 2021 – 31. Juli 2024

Autoren: Dipl. Ing. Markus Herkersdorf, Dr. Ing. Gregor Mehlmann

Datum: 24.01.2025

Gefördert durch:



Das Teilvorhaben *VI-TRAIN* wurde innerhalb des Verbundvorhabens *MITHOS* im Rahmen der Bekanntmachung „Interaktive Systeme in virtuellen und realen Räumen – Innovative Technologien für die digitale Gesellschaft (VAR2)“ mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16SV8690 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

Einleitung.....	3
Verwendung und Ergebnisse	3
Aufgabenstellung des Teilvorhabens	3
Voraussetzungen des Teilvorhabens.....	5
Planung und Ablauf der Arbeiten	7
Umsetzung des Teilvorhabens	9
AP 1 – Projektmanagement	9
AP 2 - Inhaltliche Konzeption der Szenarien.....	10
AP 3 - Trainings- und Feedback-Konzeption.....	10
AP 4 - Technologien für Multi-Modale und Multi-Benutzer-Modellierung der Trainingszenarien und empathisches Avatarverhalten	10
AP 5 - Technologien zur Erkennung von (un-)günstigen Körpersignalen in der Kommunikation mit Schülern.....	10
AP 6 - Entwicklung der Systemarchitektur, Frontend- und Backend Integration.....	10
AP 7 - Sprachanalyse und -Synthese, Dialog- und Interaktionsmanagement.....	12
AP 8 - Konzeption und Umsetzung der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung.....	12
AP 9 - Evaluation der Trainings und Systems, Zusammenarbeit mit Living Lab.....	20
Ergebnisse des Teilvorhabens	21
Zusammenarbeit mit anderen Stellen	22
Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung.....	22
Zusammenfassung des zahlenmäßigen Nachweises.....	23
Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit.....	23
Nutzen und Verwertbarkeit	24
Wirtschaftliche Verwertung und Folgen	24
Wissenschaftlich-technische Verwertung	25
Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	26
Veröffentlichungen und Präsentationen	26
Literaturverzeichnis.....	27

Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt den zweiten Teil des sachlichen Schlussberichts für das von TriCAT innerhalb des Verbundprojekts *MITHOS* bearbeitete Teilvorhaben *VI-TRAIN* dar. Es folgt der Struktur, die das Muster zur Gestaltung des Schlussberichts zu einem Teilvorhaben als Teil des Verwendungsnachweises in Anlage 2 zu den NKBF 2017 vorgibt. Folglich enthält es eine eingehende, allgemeinverständliche Darstellung, die dem Zuwendungsgeber dazu dient, sich über die kurze Darstellung in Teil I des sachlichen Schlussberichts hinaus, ein umfangreiches und detaillierteres Urteil über das Teilvorhaben zu bilden. Zu diesem Zweck enthalten die folgenden Kapitel zunächst ausführliche Erläuterungen zu den im Teilvorhaben angegangenen Zielen, der Planung und dem Ablauf der Arbeiten sowie den erreichten Fortschritten und erzielten Ergebnissen. Anschließend folgt eine kurze Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sowie eine Einlassung zur Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten. Daraufhin folgt eine Erläuterung des Nutzens und der absehbaren Verwertungsmöglichkeiten der erreichten Ergebnisse und Erfahrungen. Zuletzt erfolgt die Darstellung der erfolgten und geplanten öffentlichkeitswirksamen Demonstratoren und Präsentationen.

Verwendung und Ergebnisse

Dieses Kapitel geht inhaltlich ausführlicher auf die Verwendung der Zuwendung für die Zielumsetzung sowie die erzielten Ergebnisse im Teilvorhaben *VI-TRAIN* ein. Dazu erläutert es zunächst die spezifische Aufgabenstellung des Teilvorhabens im Rahmen des Verbundvorhabens und geht näher auf die zu Beginn des Teilvorhabens gegebenen Voraussetzungen ein, insbesondere auf den wissenschaftlichen und technischen Stand, an den anfänglich angeknüpft wurde sowie die Vorarbeiten, auf die aufgebaut werden konnte. Anschließend wird genauer auf die Planung des Ablaufs und die Umsetzungskette des Teilvorhabens im Kontext des Verbundvorhabens eingegangen. Zuletzt werden anhand der einzelnen Arbeitspakete an denen TriCAT mit dem Teilvorhaben beteiligt war, ausführlich die von TriCAT durchgeführten Arbeiten und erreichten Ergebnisse geschildert sowie auf die Zusammenarbeit mit anderen eingegangen.

Aufgabenstellung des Teilvorhabens

Die Bekanntmachung „Interaktive Systeme in virtuellen und realen Räumen – Innovative Technologien für die digitale Gesellschaft (VAR2)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung hatte den Zweck, innovative Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Mensch-Technik-Interaktion zu fördern, die Technologien für eine gemischte Realität (MR), einschließlich virtueller (VR) und erweiterter Realität (AR) um physische Interaktionsmöglichkeiten ergänzen. Übergeordnetes Ziel des Verbundvorhabens „*MITHOS: Mixed-Reality Interaktives Training zum Umgang mit Heterogenität und Konfliktsituationen in der Schule*“ war es, eine neue Qualität für den nachhaltigen Erwerb sozio-emotionaler Kompetenzen für den Unterricht zu ermöglichen. Zu diesem Zweck sollten in *MITHOS*, unter Verwendung innovativer XR- und KI-Technologien, wirksame, realitätsnahe, sozio-emotionale Trainingsverfahren für angehende und praktizierende Lehrpersonen konzipiert, entwickelt, erprobt, evaluiert und nachhaltig in der Aus- und Weiterbildung von Lehrern und Lehrerinnen an Schulen etabliert werden.

Den Trainierenden sollten hierbei verschiedene Trainingsszenarien innerhalb einer immersiven, virtuellen 3D-Schulumgebung mit ihrem eigenen Avatar und virtuellen, KI-gesteuerten Schüleragenten in verschiedenen Rollen zur Verfügung stehen. Hierdurch sollten sie mit den vielfältigen Herausforderungen durch Konflikte und heterogene Gruppen im Unterricht konfrontiert werden. Die Trainingsszenarien und deren unterschiedlichen Phasen sollten sie jederzeit von überall aus und so oft sie wollten mit ihrem selbst gesteuerten Avatar durchlaufen können. Geeignete Sensorik sollte eine präzise Erfassung und Interpretation der sozialen Signale von Gesicht, Körper und Sprache der Lehrpersonen ermöglichen und sowohl in Echtzeit den Ablauf des Trainings beeinflussen als auch im Nachgang genau analysiert und beurteilt werden können. Die Lehrpersonen sollten somit in die Lage versetzt werden die Wahrnehmung ihrer eigenen Bedürfnisse und ihre Fähigkeit zu Empathie und Perspektivübernahme zu verstehen und folglich ihre Emotions- und Konfliktregulation in heterogenen Lerngruppen trainieren zu können.

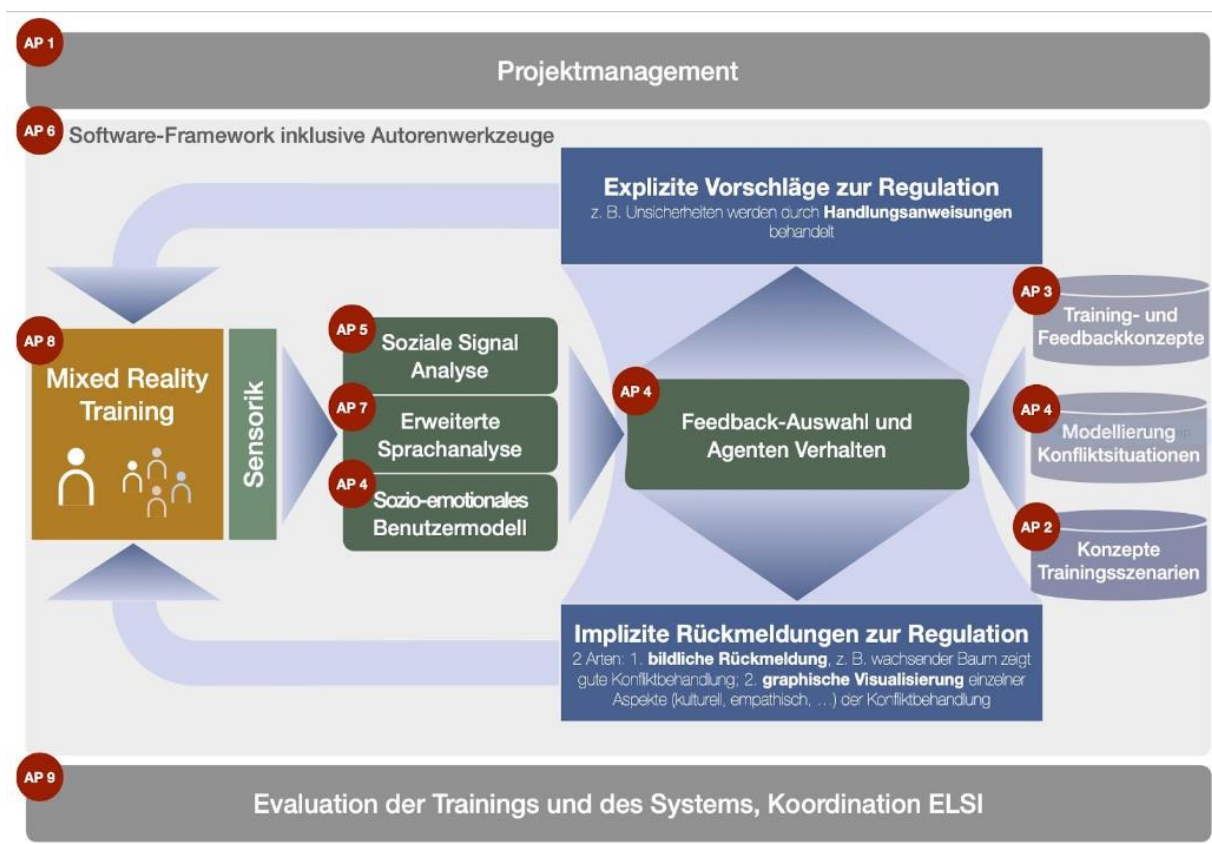


Abbildung 1. Überblick über die Aufgaben- und Arbeitsteilung im Verbund in MITHOS.

Die Aufgabenstellung von TriCAT innerhalb des im Verbundvorhaben verantworteten Teilvorhabens „VI-TRAIN: Virtuell-Immersive 3D-Trainingsumgebung“ wurde in der entsprechenden Teilvorhabenbeschreibung festgelegt. Abbildung 2 zeigt einen Überblick über die im Verbund vereinbarte Aufgabenteilung in MITHOS. Abgesehen vom Projektmanagement, sollte TriCAT in alle Arbeitsbereiche involviert sein, die Schwerpunkte lagen dabei allerdings vor allem auf dem Entwurf und der Umsetzung der Architektur des gesamten MITHOS Frameworks und der Autorenwerkzeuge sowie in der Konzeption und Entwicklung der XR-Anwendung mit virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebungen und der Einbindung spezifischer Hardware und Sensorik.

Kernaufgabe von TriCAT war die Federführung bei der Konzeption, Entwicklung, Erprobung und nachhaltigen, querschnittlichen Etablierung der zentralen virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung. Den Kern der Anwendung im Frontend sollte eine auf der *TriCAT spaces*[®] Plattform aufbauende, virtuell-immersive 3D-Umgebung einer Schule mit einem Klassenraum sein. Darin sollten individualisierbare Avatare für die Trainierenden sowie vielfältig gestaltbare virtuelle Charaktere für die KI-gesteuerten, autonomen Agenten in ihren verschiedenen Rollen verfügbar sein. Die Anbindung der angeschlossenen Hardware und Sensorik, wie dem XR-Head-Mounted-Display, XR-Controllern, XR-Trackern sowie einem Eye-Tracker und einem Facial-Tracker sowie die Aufnahme, Wiedergabe, Vorverarbeitung und Weiterleitung der vielfältigen, darüber erfassten Verhaltensaspekte sollten ebenfalls durch die Anwendung gewährleistet sein. Die geschaffene Anwendung sollte die Grundlage für die Entstehung verschiedener Anwendungsfälle darstellen, in denen die Nutzer in der virtuell-immersiven und mehrbenutzerfähigen 3D-Echtzeitumgebungen verschiedene Trainings- und Feedbackszenarien durchlaufen können.

Die erfolgreiche Nutzbarkeit des Gesamtsystems in *MITHOS* erforderte eine möglichst große Flexibilität und Praktikabilität im Hinblick auf die Untersuchung vielfältiger Forschungsfragen und das Erreichen verschiedener Evaluationsziele. Daher war ein wichtiges Ziel das gelungene Zusammenwirken verschiedener Charakteristiken der 3D-Trainingsumgebung, wie z. B. einer möglichst vielseitigen emotionalen Ausdruckssprache von Avataren, der situativen Veränderlichkeit von Szenen und stilistischen Variationen von Szenenelementen, der Schaffung von intuitiven graphischen Benutzerschnittstellen, sowie der Möglichkeit zur effektiven Gestaltung und Anpassung dieser Elemente. Ebenso erfordert die Umsetzung von Modellen für den Ablauf von Trainingsszenarien die Identifikation und Verwendung zugleich praktikabler als auch ausdrucksstarker Autorenwerkzeuge zur Spezifikation von ausführbaren Szenarioprozessen.

Neben der Konzeption, Umsetzung und dem Betrieb der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung als die zentrale Ausführungskomponente im Frontend des *MITHOS* Frameworks, sollte TriCAT als technischer Entwicklungspartner auch eng mit den weiteren technischen Partnern, DFKI, UA und PS zusammenarbeiten. TriCAT sollte in dieser Zusammenarbeit intensiv zu Entwurf und Umsetzung der System- und Softwarearchitektur des Frameworks beitragen und dabei bei der Identifikation von Verantwortlichkeiten sowie von Daten- und Kontrollflüssen im System unterstützen. Dazu sollte sie sich innerhalb agiler, inkrementeller Implementierungs- und Integrationsphasen bei der Integration der Hardware, den Frontend-, Backend- und Middleware-Komponenten der Partner sowie der Spezifikation und Implementierung geeigneter Schnittstellen, Datenaustauschformate und Kommunikationsprotokolle beteiligen.

Voraussetzungen des Teilvorhabens

Lehrpersonen fühlen sich oft unzureichend auf den Umgang mit komplexen sozio-emotionalen Herausforderungen, wie beispielsweise heterogenen Lerngruppen oder Verhaltenskonflikten im schulischen Umfeld, vorbereitet (Krause et al., 2013; Tsovaltzi et al., 2020). Schülerinnen und Schüler nehmen sozio-emotionale Reaktionen von Lehrpersonen in der Interaktion individuell sensibel wahr (Jiang et al., 2016). Dies kann immer wieder zu Störungen im Interaktionsprozess und sozio-emotionalen Konfliktsituationen führen. Solche Situationen erfordern von den Lernpersonen die Beherrschung effektiver Methoden zur Emotions- und Konfliktregulation (Duarte et al., 2017). Dafür ist es notwendig, dass sie die Perspektive der Schülerinnen und Schüler

erkennen und übernehmen können sowie (non)verbale Signale korrekt interpretieren und gezielt senden können (Jiang et al., 2016). Die Fähigkeit zu Empathie und die Wahrnehmung eigener Bedürfnisse (Selbstwahrnehmung) in heterogenen Gruppen ist dabei für die Perspektivübernahme und Konfliktregulation absolut essenziell (Yarnell & Neff, 2013; Gross, 2002).

Zu Beginn des Vorhabens konnten solche Fähigkeiten in der herkömmlichen Ausbildung der Lehrpersonen aus verschiedenen Gründen nicht systematisch in realen Situationen trainiert werden. Es war nur sehr schwer möglich Lehrpersonen auf die Herausforderungen unterschiedlicher individueller, sozio-emotionaler und kultureller Unterschiede im Unterricht vorzubereiten. An diesem Punkt setzte das Verbundvorhaben *MITHOS* an, indem es sich zum Ziel setzte, ein XR- und KI-gestütztes Simulations-System zum realitätsnahen Training dieser sozio-emotional herausfordernden Situationen innerhalb einer virtuell-immersiven 3D-Schulumgebung zu entwickeln. Durch die Bewegung und Interaktion im virtuellen Raum können sozio-emotionale und räumliche (Todd et al., 2015) Barrieren bei der Perspektivenübernahme durchbrochen werden. Dabei liegt der Fokus auf individuellen, sozio-emotionalen und kulturellen Unterschieden beim reziproken Austausch sozialer Signale, die in Konfliktsituationen simuliert werden. Das System sollte dadurch angehenden und praktizierenden Lehrpersonen helfen sich besser auf die Herausforderungen bei Konflikten und heterogenen Gruppen im Unterricht vorbereiten zu können und damit nachhaltig deren Erwerb sozio-emotionaler Kompetenzen unterstützen.

Die Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung dieser virtuell-immersiven 3D-Schulumgebung waren aufgrund der technischen Vorarbeiten und langjährigen wissenschaftlichen Expertise von TriCAT sowie der gemeinsamen Erfahrung der Verbundpartner in vorangegangenen Projekten außerordentlich gut. Ebenso trug die komplementäre Expertise der Partner aus den Bereichen Künstliche Intelligenz, Lern- und Trainingsforschung, Modellierung und Analyse von sozio-emotionalen, strukturellen und inhaltlichen Aspekten von Kommunikation sowie immersiv-virtuellen 3D-Lernwelten und sozial-empathischen, interaktiven Agenten maßgeblich bei.

TriCAT brachte umfangreiche didaktisch-methodische als auch konzeptuelle und technische Kompetenzen in allen relevanten Bereichen virtuell-immersiver XR-Trainingsumgebungen und den darin verwendeten Technologiefeldern, wie z. B. virtuellen 3D-Welten, Avataren, Simulationen, KI und XR ein. Um das Gelingen des Vorhabens von Beginn an zu sichern und sehr rasch ein erstes lauffähiges System schaffen zu können, brachte sie die markterprobte und bewährte *TriCAT spaces*® Plattform in das Projekt mit ein. Diese sollte dann durch projektspezifische Anpassungen in *VI-TRAIN* zur zentralen 3D-Schulumgebung des *MITHOS* Systems adaptiert werden. TriCAT hat langjährige Erfahrung mit der konzeptuellen und technischen Integration der auf *TriCAT spaces*® basierenden Lösungen in verschiedene System- und Software-Architekturen. Insbesondere in Fragen der Datensicherheit und der Einhaltung der Privatsphäre für den Schutz und die Sicherheit der bei den Trainingsläufen erfassten und anschließend verarbeiteten Daten bestanden auf der eingebrachten Plattform bereits bewährte und robuste Verfahren zur Verfügung. Hier brachte TriCAT ihre jahrelange Erfahrung im Umgang mit personenbezogenen, sensiblen oder sogar geheimhaltungspflichtigen Daten und die Expertise im Hinblick auf persistente Datenspeicherung, Datensicherheit und Wahrung der Privatsphäre mit entsprechenden Zertifizierungen ein (z. B. ISO 27001 Zertifizierung über Informationssicherheitsmanagement und TISAX Zertifizierung der Automobilindustrie zu Informationssicherheit).

Über die *TriCAT spaces*[®] Plattform sollte TriCAT auch jederzeit in der Lage sein, bestehende und aktuelle Ergebnisse aus der eigenen Projekt- und Produktentwicklung in das Teilvorhaben einfließen zu lassen und ermöglichte *MITHOS* damit, bereits auf einem sehr hohen Entwicklungsniveau beginnen und ambitionierte Ziele verfolgen zu können. So sollte es möglich sein die umfassende Erfahrung von TriCAT aus zahlreichen Forschungsprojekten einzubringen und damit zum Erfolg des Vorhabens beizutragen. TriCAT entwickelte bereits im BMWi-Projekt *IMPACT!* eine generische, virtuell-immersive 3D-Interaktionsumgebung für neuartige Schulungs-, Trainings- und Coaching-Konzepte. Aus den vor *MITHOS* abgeschlossenen Forschungsprojekten *EMPAT* (BMBF, 2015-2018, FKZ 16SV7229K), *EPICSAVE* (BMBF, 2016-2019, FKZ 01PD15004C) und *VASE* (BMBF 2017-2020, FKZ 02K16C110), flossen wissenschaftliche und praktische Erkenntnisse zu KI-basierten, mehrbenutzerfähigen Assistenz- und Dialogsystemen sowie VR-Headset-basierter immersiver Multiplayer-Ausbildungssimulationen mit empathischen, sozialen Agenten in virtuell-immersiven Welten ein. Weitere Vorarbeiten im Bereich KI-unterstützter, virtuell-immersiver 3D-Kollaborationsumgebungen konnten aus den Projekten *ViTAWiN* (BMBF, 2019-2022, FKZ 01PV18006) und *INNOSUED* (BMBF, 2018-2022, FKZ 03IHS024) eingebracht werden.

Die Durchführung des Teilvorhabens profitierte zudem durch die in vorangegangenen Forschungsprojekten entstandene Beziehungen zwischen einigen Partnern. Die Partner DFKI, UA und TriCAT kooperieren seit längerem in mehreren Projekten und Forschungsthemen im Bereich der sozio-emotionalen Modelle und technischen Verfahren für die Analyse des verbalen und non-verbalen Verhaltens zur Auswertung von sozio-emotionalen Merkmalen. Neben den eigenen Vorarbeiten und Erfahrungen von TriCAT bestanden bereits gemeinsam mit den Verbundpartnern geschaffene Vorarbeiten, z. B. im gemeinsam durchgeführten Forschungsvorhaben *EMPAT* (BMBF, 2015-2018, FKZ 16SV7229K). Diese gemeinsamen Vorarbeiten und guten langjährigen Beziehungen verkürzten die Einarbeitungszeit und verbesserten die Ausgangssituation für die Erreichung der Ziele im Projektverbund. Dadurch wurden die Voraussetzungen für das Erreichen der Ziele und das Gelingen des Teilvorhabens noch einmal verbessert.

Zuletzt wurde *MITHOS* durch einen ELSI-Beirat, das Zentrum für Lehrerbildung an der UdS, sowie das Theorie-Praxis-Projekt *“Fit in Deutsch”* und eine Schule begleitet. Die im Projekt als externe ELSI-Berater eingebundenen Personen zeigten sehr großes Engagement und Interesse bei der Beschreibung und Begleitung des Projektes. Dies waren hervorragende Voraussetzungen für die ELSI-konforme und stark nutzerzentrierte Durchführung und Evaluation des Vorhabens.

Planung und Ablauf der Arbeiten

Planung und Ablauf des Teilvorhabens folgten im Rahmen der benutzerzentrierten Umsetzungskette des Verbundprojekts einem iterativen und agilen Ansatz. In der kontinuierlichen Schärfung von Anforderungen und der Verfeinerung der Konzeption wurden anstehende Aufgaben identifiziert und Integrations- sowie Entwicklungsziele vereinbart. Deren Umsetzung wurde in iterativen Schleifen aus Entwicklungs-, Integrations-, Erprobungs- und Evaluationsphasen durchgeführt und überwacht. Erkenntnisse aus der Erprobung und Evaluation des jeweiligen Entwicklungsstands sowie dem aktualisierten Stand von Wissenschaft und Technik flossen fortlaufend in diesen Prozess ein. Der aus der kontinuierlichen Entwicklung, Überprüfung, Bewertung und Adaption erwachsenden, engen interdisziplinären Koordination mit den Verbundpartnern, wurde die Projektplanung durch ausreichend überlappende Laufzeiten der

Arbeitspakete und eine adäquate Ressourcen- und Meilensteinplanung gerecht. Der Ablauf der Arbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen sowie die verbundübergreifenden Meilensteine wurden im Arbeitsplan, dessen Gantt-Diagramm in Abbildung 2 dargestellt ist, festgelegt.

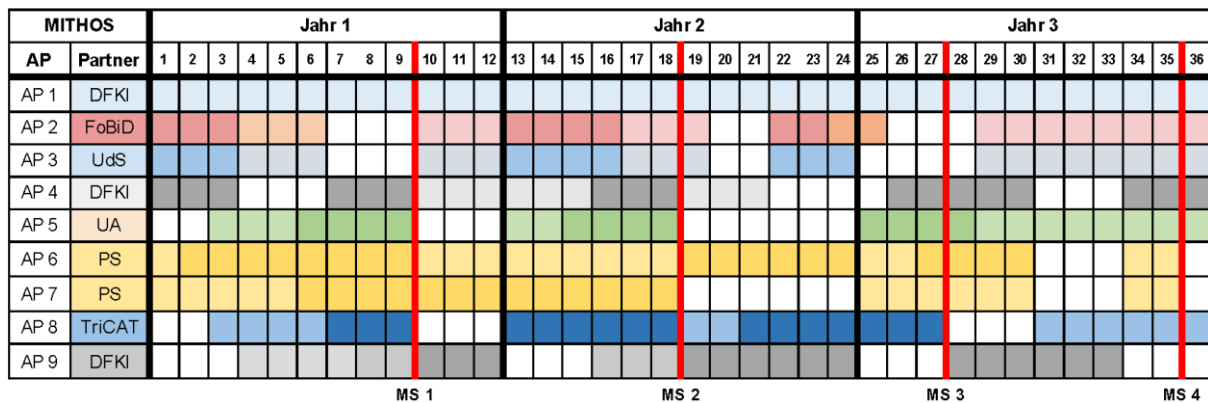


Abbildung 2. Das Gantt-Diagramm mit der Arbeits- und Meilensteinplanung in *MITHOS*.

Abgesehen vom querschnittlichen Arbeitspaket für das Projektmanagement (AP 1), war TriCAT mit seinem Teilvorhaben in alle anderen Arbeitspakete involviert. TriCAT war dabei wesentlich beteiligt an der Entwicklung der System- und Softwarearchitektur sowie Frontend- und Backend-Integration (AP 6) und verantwortete federführend die Konzeption und Umsetzung der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung (AP 8). Im Rahmen der inhaltlichen Konzeption der Szenarien (AP 2) sowie der Trainings- und Feedback-Konzeption (AP 3) beriet TriCAT die Partner hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit und schulte die Partner im Umgang mit der, auf der *TriCAT spaces*® Plattform basierenden, Ausführungsumgebung und den darauf zur Verfügung gestellten Autorenwerkzeugen. Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung von Technologien für multi-modale Multi-Benutzer-Modellierung der Trainingsszenarien und empathisches Avatarverhalten (AP 4) stimmte TriCAT sich eng mit den Partnern über die Verantwortlichkeiten und Einsatzmöglichkeiten unterschiedlicher Werkzeuge zur Modellierung und Ausführung von Dialog-, Interaktions- und Szenarioprozessen ab. Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung von Technologien zur Erkennung von Körpersignalen in der Kommunikation mit Schülern beteiligte sich TriCAT bei der Erfassung und Weiterleitung der während der Szenarien auf der Ausführungsplattform entstehenden Nutzereingaben, Agentenverhalten, Umgebungs- und Protokollierungsereignissen, welche für die ML-basierte Interpretation intraindividuelle und interpersoneller Verhaltensweisen benötigt wurden. Eine ebensolche Abstimmung erfolgte für die Eingaben und Ereignisse die Verwendung bei der Interpretation von Nutzereingaben im Rahmen von Sprachanalyse und Sprachsynthese sowie Dialog- und Interaktionsmanagement fanden. Schließlich beteiligte sich TriCAT bei der Identifikation und Einarbeitung der durch die Evaluation der Trainings und des Systems (AP 9) erbrachten Anpassungsbedarfen. Sie unterstützte die Forschungs- und Evaluationspartner durch die spezifischen Anpassungen ihrer Softwarekomponenten sowie durch die Wartung und den Vor-Ort- bzw. Remote-Support bei den Partnern im Rahmen von Demonstratoren und Nutzerstudien.

Der Fortschritt der Entwicklungen über den Projektverlauf sollte sich an den folgenden, im Verbund festgelegten, vorhabenübergreifenden Meilensteinen orientieren und beurteilen lassen:

- MS 1: Zu diesem Zeitpunkt sollte ein erster Demonstrator eines virtuell-immersiven Trainingsszenarios verfügbar sein. Die Repräsentation der Nutzer durch einen Avatar sowie die Steuerung des grundlegenden autonomen Agentenverhaltens sollte funktionieren.
- MS 2: Zu diesem Zeitpunkt sollten alle wesentlichen funktionalen Erweiterungen des Demonstrators sowie die inhaltlichen Anforderungen an das System berücksichtigt sein.
- MS 3: Zu diesem Zeitpunkt sollten alle Phasen des Trainingsszenarios fertiggestellt und erste Ergebnisse von Akzeptanz- und Validierungsstudien bereits zurückgeflossen sein.
- MS 4: Zu diesem Zeitpunkt sollten die Nutzerstudien abgeschlossen und tiefgehende Evaluationen sowie alle technischen und inhaltlichen Verfeinerungen durchgeführt sein.

Umsetzung des Teilvorhabens

Dieses Unterkapitel geht anhand der einzelnen Arbeitspakete, an denen TriCAT mit dem Teilvorhaben *VI-TRAIN* beteiligt war, im Detail auf die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse ein.

AP 1 – Projektmanagement

TriCAT unterstützte über den gesamten Projektverlauf die Konsortialleitung und die übrigen Verbundpartner bei der Organisation und dem Management des Projektfortschritts. Sie beteiligte sich fortlaufend an organisatorischen, fachlichen und inhaltlichen Abstimmungen in den regelmäßig stattfindenden Verbundmeetings und im themenbezogenen multilateralen Austausch mit einzelnen Partnern. TriCAT nahm dabei an allen in Präsenz durchgeführten Verbundmeetings und jährlichen Projektmeetings, als auch an den organisierten Integrationsworkshops und Hackathons teil. Außerdem nahm TriCAT an regelmäßigen Online-Treffen teil, die dem Austausch und der Abstimmung über den Projektfortschritt dienten. So nahm TriCAT an den wöchentlich stattfindenden Projekttreffen der Forschungspartner teil, um fortwährend auf dem aktuellen Stand des Anforderungsmanagements und der inhaltlichen Konzeption der Trainingsszenarien zu sein. Dort trug sie beratend mit ihrer langjährigen didaktisch-methodischen sowie technischen Expertise bei. Außerdem nahm TriCAT an den ebenfalls wöchentlich stattfindenden Projekttreffen der technischen Entwicklungspartner eine zentrale Rolle ein. Sie beteiligte sich hierbei wesentlich bei Entwurf und Umsetzung der System- und Softwarearchitektur und nahm mit den Partnern wichtige Absprachen hinsichtlich der Integrations- und Entwicklungsarbeiten sowie der Ausbringung und Qualitätssicherung von Demonstratoren vor.

TriCAT unterstützte die Konsortialleitung auch wesentlich bei der Öffentlichkeitsarbeit, wodurch es gelang, für das Teilvorhaben *VI-TRAIN* und insbesondere das Verbundvorhaben *MITHOS* eine breite Aufmerksamkeit zu erzielen. So nahm TriCAT an den Branchenveranstaltungen wie den VDI/VDE Berlin VAR Vernetzungstreffen und dem *HIVE-Lab & MITHOS* Workshop zur Vernetzung mit anderen Akteuren und zur Präsentation des Projekts teil. Außerdem wurden die im Verbund entwickelten Demonstratoren im Rahmen der Präsentationen des Living Labs bei der XR-Expo vorgestellt. Zuletzt wirkte TriCAT bei der Erstellung der schriftlichen Beiträge für ein Buchprojekt zur Beschreibung des *MITHOS* Systems im Kontext des *XR-Interakt Living Labs* mit. Diese vielfältigen Aktivitäten haben dazu beigetragen, das Projekt zu vernetzen und die Ergebnisse einer größeren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

AP 2 - Inhaltliche Konzeption der Szenarien

TriCAT brachte in diesem Arbeitspaket ihre technische und methodisch-didaktische Expertise bei der Anforderungsanalyse, der Identifikation der Ausgangssituationen und Herausforderungen, der inhaltlichen Gestaltung und Konzeption der Trainingsszenarien sowie der Umsetzung der Szenarien mit verschiedenen Autorenwerkzeugen durch die Partner ein. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

AP 3 - Trainings- und Feedback-Konzeption

TriCAT brachte in diesem Arbeitspaket ihre technische und methodisch-didaktische Expertise bei der Trainingskonzeption, der Konzeption des unmittelbaren und verzögerten Feedbacks in verschiedenen Phasen der Trainingsszenarien sowie der Umsetzung der Szenarien mit verschiedenen Autorenwerkzeugen durch die Partner ein. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

AP 4 - Technologien für Multi-Modale und Multi-Benutzer-Modellierung der Trainings-szenarien und empathisches Avatarverhalten

TriCAT brachte in diesem Arbeitspaket ihre technische und methodisch-didaktische Expertise bei der Modellierung interaktiver Konfliktszenarien und der entsprechenden Agenten- und Verhaltensmodellen ein. Sie beteiligte sich an der Konzeption räumlicher und sozio-emotionaler Perspektivenübernahme sowie des Group Awareness Tools für sozio-emotionale Awareness. Schließlich unterstützte sie bei der technischen Umsetzung der Verhaltensmodellierung der simulierten Agenten und der Ausführung der sozio-emotionalen Konfliktsituationen. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

AP 5 - Technologien zur Erkennung von (un-)günstigen Körpersignalen in der Kommunikation mit Schülern

TriCAT brachte in diesem Arbeitspaket ihre technische und methodisch-didaktische Expertise bei der Identifikation und Erfassung intraindividuelle Verhaltensweisen und sozialer Signale der Lehrenden sowie interpersoneller Verhaltensweisen zwischen den Lehrenden und der virtuellen Schulklasse während der Konfliktszenarien ein. Diese werden im System durch Algorithmen zur Einschätzung von Verhaltensweisen auf der Basis moderner Verfahren des maschinellen Lernens interpretiert. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

AP 6 - Entwicklung der Systemarchitektur, Frontend- und Backend Integration

In diesem Arbeitspaket erfolgten in enger Abstimmung mit den technischen Partnern UA, DFKI und PS der Entwurf und die Umsetzung der System- und Softwarearchitektur in MITHOS. Dies geschah fortlaufend innerhalb agiler, inkrementeller Implementierungs- und Integrationsphasen. Dieses Vorgehen ermöglichte die schrittweise Integration und Harmonisierung aller Hardware-Komponenten sowie Frontend-, Backend- und Middleware-Komponenten im System. Die technischen Partner konnten diese gemeinsamen Arbeiten am Gesamtsystems in MITHOS plan- und zeitgerecht abschließen. Abbildung 3 zeigt ein Schaubild mit dem Überblick über die System- und Softwarearchitektur in MITHOS, mit den darin enthaltenen Softwarekomponenten und den zwischen diesen Komponenten verlaufenden Daten-, Ereignis- und Kontrollflüssen.

verschiedene Ereignisse in den unterschiedlichen Modalitäten erfasst, vorverarbeitet und sowohl lokal mit Zeitstempeln versehen und abgespeichert als auch mittels der geschaffenen Schnittstellen und Austauschformate über den Message-Broker innerhalb der Systemarchitektur an die weiterverarbeitenden Softwarekomponenten der Partner verteilt. Ebenso wie die erfassten Eingabemodalitäten, wurden auch alle von den Softwarekomponenten der Partner empfangenen Befehle bei der Umsetzung mit Zeitstempeln abgespeichert. Auch hier wurde das Repertoire an möglichen Befehlen entlang der entwickelten Trainingsphasen fortlaufend ergänzt.

In Teilarbeitspaket AP 6.7 erfolgte die Ausbringung und Nutzbarmachung der Ausführungsplattform innerhalb des Systems in einer Reihe von Web-basierten und Mixed-Reality-Anwendungen, die den Verbundpartner fortlaufend zur Verfügung gestellt wurden. Dies umfasste vor allem die regelmäßige, geräte- und plattformspezifische Ausbringung und Testung aktualisierter Demonstrator- und Installer-Anwendungen der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung. Diese Anwendungen wurden entlang der Weiterentwicklungen fortlaufend für verschiedene Zielplattformen und Endgeräte (VR-Headsets wie z. B. *HTC VIVE Pro Eye*, Desktop-PC- oder Laptop -Anwendungen, mobile Endgeräte) angepasst, erstellt und getestet. Die Arbeit umfasste zudem die Anpassung, Veröffentlichung und Wartung des *TriCAT spaces*[®] Web-Portals zur Nutzer- und Ereignisverwaltung. Zuletzt stellte TriCAT hier den Support für die Verbundpartner im Rahmen verschiedener Demonstratoren, Erprobungen und Nutzerstudien sicher.

In allen weiteren Unterarbeitspaketen leistete TriCAT Unterstützung bei der Konzeption, Spezifikation und Implementierung von Softwarekomponenten mit zentralen Vermittlungsaufgaben und Integrationsaufgaben bei den technischen Partnern. In AP 6.2 und AP 6.6 unterstützte TriCAT den Partner PS bei der Adaption und Integration der *geni:OS* Plattform in die Systemarchitektur und deren Ausbringung als Kommunikations-Middleware im Backend. In AP 6.4 unterstützte TriCAT den Partner UA bei der Adaption und Integration der Komponenten SSI und NOVA sowie in AP 6.5 den Partner DFKI bei der Adaption und Integration der Komponenten ALMA und VSM in die Systemarchitektur.

AP 7 - Sprachanalyse und -Synthese, Dialog- und Interaktionsmanagement

TriCAT brachte sich in diesem Arbeitspaket mit ihrer technischen Expertise beratend bei der Konzeption und Umsetzung des Dialog- und Interaktionsmanagements mit multimodaler Eingabeverarbeitung, multimodaler Fusion, kontextsensitiver Interpretation, multimodaler Ausgabegenerierung und Fission, Dialog- Interaktions- und Szenario-Logik sowie semantischer Wissensrepräsentation für Kontext, Diskurs, Domäne und Agenten ein. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

AP 8 - Konzeption und Umsetzung der virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung

In diesem Arbeitspaket erfolgten Konzeption, Gestaltung, Umsetzung und Betrieb der mehrbenutzerfähigen, virtuell-immersiven 3D-Trainingsumgebung durch die zielgerichtete Adaption der zugrundeliegenden *TriCAT spaces*[®] Plattform und deren Erweiterung durch projektspezifische Konnektoren und Schnittstellenfunktionen zum Zwecke der Integration in das System.



Abbildung 4: Beispiele für die virtuellen Charaktere der Schüleragenten in *MITHOS*.

In AP 8.1 wurden die graphische Gestaltung und Modellierung der virtuellen Charaktere für die Avatare der Lehrer und die Schüleragenten vorgenommen. Ziel war hier eine möglichst vielseitige emotionalen Ausdruckssprache von Avataren. Zusätzlich zu den anfangs geschaffenen virtuellen Charakteren und deren projektspezifischen Anpassungen (z. B. Geschlecht, Alter, Statur und Kleidung) wurden während des Projektverlaufs zusätzliche, individualisierbare und personalisierbare Avatare ermöglicht. Hierzu wurde die auf der *TriCAT spaces*[®] Plattform geschaffene Integration der *Avaturn-Avatare* (<https://avaturn.me/>) spezifisch für die *MITHOS* Anwendung angepasst. Dadurch waren zuletzt nicht nur einfache Variationen im Erscheinungsbild mit unterschiedlicher Wirkung und Wahrnehmung (persönliche, ethnische und kulturelle Merkmale) auswählbar, sondern auch realistischere Avatare aus unterschiedlichen Altersgruppen (Kinder, Jugendliche, Erwachsene) wählbar oder erzeugbar. Dies erlaubt die Erstellung noch realistischer Trainingszenarien mit Schüler-Avataren aus unterschiedlichen Klassenstufen und Schulformen und mit nahezu unendlich vielen Variationen im Erscheinungsbild. Die selbst durch den Nutzenden vorgenommene Personalisierung oder zufällige Auswahl dieser Avatare wurde direkt im Hauptmenü der Anwendung zur Verfügung gestellt. Das Hauptmenü wurde hierzu im Rahmen von AP 8.3 visuell umgestaltet und in AP 8.4 entsprechend funktional in Richtung eines Editor- und Autorenwerkzeugs zur Auswahl und Gestaltung der Avatare angepasst. Abbildung 4 zeigt einige Beispiele für Varianten der virtuellen Charaktere der Schüleragenten, die für spezifische Entwicklungen und Evaluationen eingesetzt wurden.



Abbildung 5: Beispiele für Animationen und Blendshapes der Avatare in *MITHOS*.

Wie exemplarisch in Abbildung 3 gezeigt, wurden die anfangs erstellten Animationen für sprachbegleitende Gesten, Posen und Bewegungen sowie Blendshapes für Gesichtsausdrücke, Lippenbewegungen und grundlegende Emotionsausdrücke so angepasst, dass sie mit den neuen Avataren genutzt werden können. Dadurch wurde eine höhere projektspezifische emotionale Ausdrucksvielfalt und ein noch realistischeres und natürlicheres Ausdrucksverhalten der Avatare erreicht. In AP 8.1 wurden auch die Softwarekomponenten für die zeitlich kontrollierte Ausführung von unimodalen Verhaltensbausteinen (Sprache, Gesten, Posen oder Gesichtsausdrücke) sowie zum zeitlichen und semantischen Alignment multimodaler Verhaltensblöcke implementiert. Die entsprechende domänenspezifische Beschreibungssprache für das multimodale Verhalten von Agenten und die Ausführungskomponente für diese Spezifikationen wurden entlang der inhaltlichen Anforderungen der Trainingszenarien in AP 8.6 und AP 8.7 angepasst.



Abbildung 6: Die modellierte 3D-Schulumgebungen und 3D-Klassenräume in *MITHOS*.

In AP 8.2 wurde eine *TriCAT spaces*[®] 3D-Umgebung spezifisch für die Trainingsszenarien umgesetzt und funktional ausgestattet. Die Gestaltung der Räume, Objekte und Interaktionsmechanismen war maßgeblich bestimmt von den Vorschlägen und Vorstellungen der Forschungspartner. Wie in Abbildung 6 dargestellt, wurden in Abstimmung mit den Verbundpartnern ein Schulgebäude und verschiedene Varianten von Schulräumen und deren Einrichtungsgegenständen erstellt. Zusätzlich zur eigentlichen Trainingsszene wurden weitere Szenen erstellt, in der die Replay- und Feedback-Phasen des Trainings umgesetzt wurden. Hinsichtlich des äußeren Erscheinungsbildes unterscheiden sich diese Szenen nicht wesentlich von der Trainingsszene, enthalten aber zusätzliche Funktionsbausteine für Replay und Feedback. Aufgrund der fortlaufenden Entwicklung des Anforderungskatalogs, wurden die geschaffenen Umgebungen immer wieder für die spezifischen Trainingsphasen und Evaluationsziele angepasst und erweitert. Für die Replay-Szene wurde das in AP 8.6 und AP 8.7 umgesetzte Replay-System hinzugefügt, welches ermöglicht, dass das Verhalten der Schüleragenten und des Lehrers im Anschluss an das Training wieder abgespielt und aus einer anderen Position, z. B. der Perspektive eines Schülers, betrachtet werden kann. Dies erlaubt es das Verhalten der Lehrperson aus der Sicht des Schülers oder einer anderen Position heraus im Nachgang beurteilen und bewerten zu können. Für die Feedback-Szene wird als Grundlage die Replay-Szene verwendet und die Perspektive ändert sich zur Beobachterperspektive, der Sicht eines unbeteiligten neutralen Beobachters. Der zuvor im Training agierende Lehrperson kann nun sein eigenes Verhalten und die Reaktionen der

Schüleragenten, sowie reziproke, interpersonelle Verhaltensmuster in diesen Situationen betrachten. Das Replay kann zusätzlich mittels einer in AP 8.3 umgesetzten graphischen Benutzerschnittstelle an bestimmten Stellen pausiert werden, um diese Verhaltensmuster mit einem menschlichen Mentor oder Coach zu diskutieren. Zusätzlich kann ein KI-gestützter Debriefing-Agent verwendet werden, um den menschlichen Coach zu unterstützen oder zu ersetzen.

In AP 8.3 wurde die Gestaltung und Modellierung einer Vielzahl von graphischen Benutzerschnittstellen für verschiedenen Funktionen vorgenommen. Abbildung 7 zeigt das Hauptmenü, welches basierend auf der *TriCAT spaces*[®] Basisplattform für *MITHOS* so angepasst wurde, dass vor einem Training die Auswahl des jeweiligen Trainingsszenarios und der darin vorkommenden virtuellen Charaktere für Schüler und Lehrperson möglich ist. Je nach Bedarf des geplanten Szenarios kann der virtuelle Charakter des interaktiven Schüleragenten für die simulierte Konfliktsituation explizit vom Trainierenden ausgewählt oder durch das System vorgeschlagen werden. Außerdem kann die trainierende Lehrperson das integrierte *Avaturn-System* verwenden, um das Erscheinungsbild des eigenen Avatars den eigenen Wünschen entsprechend anzupassen oder vollständig zu personalisieren. Dies unterstützt die Lehrperson in der Replay- und Feedback-Phase bei der Identifikation mit dem eigenen Avatar und dem Erreichen des Gefühls der Verkörperung, was die Wahrnehmung des eigenen Verhaltens und den Lernerfolg verstärkt.

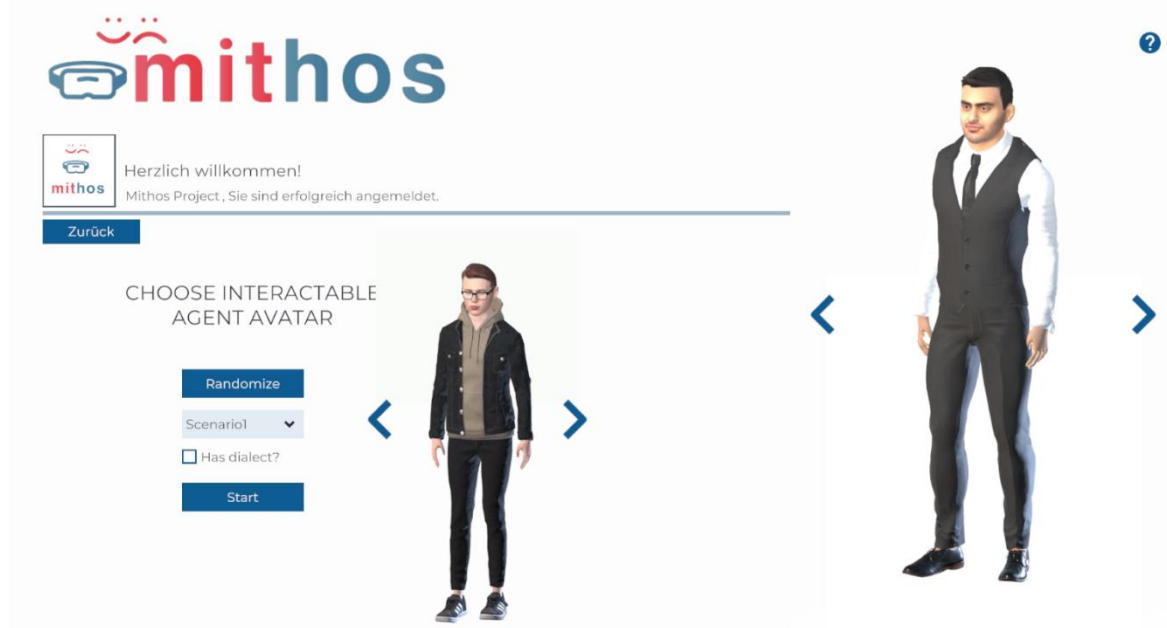


Abbildung 7: Das Hauptmenü mit der Szenario- und Charakterauswahl in *MITHOS*.

Abbildung 8 zeigt die Benutzerschnittstelle einer Konsolen-Anwendung zur Wizard-Of-Oz-Steuerung der Aktionen von Agenten und Avataren sowie zur Ansteuerung von Umgebungserignissen und Interaktionselementen in der Szene. Diese Anwendung kann sowohl zu Testzwecken als auch direkt während des Trainings für die Ansteuerung der Befehlschnittstellen und zur Beeinflussung des Trainingsverlaufs verwendet werden. Diese Ansteuerung geschieht durch Befehle aus der erwähnten multimodalen Beschreibungssprache über den Message-Broker. Die Anwendung verfügt über ein Evaluations-Dashboard, welches gesendete Befehle und die Rückmeldungen des Systems zu den ausgelösten Ereignissen protokolliert und visualisiert.

```

Enter Message: {"Id": "1", "Command": "Paul SitDown target=PaulChair skip=false"}
Enter Message: {"Id": "2", "Command": "Julia SitDown target=JuliaChair skip=false"}
Enter Message: {"Id": "3", "Command": "Alex SitDown target=AlexChair skip=false"}
Enter Message: {"Id": "4", "Command": "Alex PlayAnimation id=4 duration=0.001"}
Enter Message: {"Id": "5", "Command": "Alex LookAt entity=Player"}
Enter Message: {"Id": "6", "Command": "Alex PlayAnimation id=2 duration=4.5"}
Enter Message: {"Id": "7", "Command": "Alex PlayAnimation id=1 duration=4.5"}
Enter Message: {"Id": "8", "Command": "Alex StartPhone clip=*Smartphone_Vibrate.wav* loop=false"}
Enter Message: {"Id": "9", "Command": "Alex LookAt entity=Phone"}
Enter Message: {"Id": "10", "Command": "Alex PlayAnimation id=3 duration=0.001"}
Enter Message: {"Id": "11", "Command": "Alex PlayAnimation id=4 duration=0.001"}
Enter Message: {"Id": "12", "Command": "Alex LookAt entity=Player"}
Enter Message: {"Id": "13", "Command": "Alex PlayAnimation id=8 duration=0.001"}
Enter Message: {"Id": "14", "Command": "Alex PlayAnimation id=9 duration=0.001"}
Enter Message: {"Id": "15", "Command": "Alex PlayAnimation id=10 duration=4.5"}
Enter Message: {"Id": "16", "Command": "Alex LookAt entity=Player"}
Enter Message: {"Id": "17", "Command": "Alex PlayAnimation id=16 duration=2.5"}
Enter Message: {"Id": "18", "Command": "Alex PlayAnimation id=17 duration=2.5"}
Enter Message: {"Id": "19", "Command": "Alex PlayAnimation id=18 duration=2.5"}
Enter Message: {"Id": "20", "Command": "Alex PlayAnimation id=19 duration=2.5"}

```

Abbildung 8: Die Konsolen-Anwendung zur Wizard-Of-Oz-Steuerung in *MITHOS*.

Die Abbildungen 9 bis 11 zeigen Screenshots aus der Trainingsanwendung mit graphischen Benutzerschnittstellen zur Bedienung des in AP 8.6 und AP 8.7 geschaffenen Replay-Systems und des Kalibrierungs-Systems für die Tracker. Wie in Abbildung 9 zu sehen, wurde zunächst das Session-UI der *TriCAT spaces*[®] Basisplattform für *MITHOS* dahingehend erweitert, dass zuvor aufgenommenen Trainingssessions chronologisch aufgelistet dargestellt, ausgewählt und wiedergegeben werden können. Abbildung 10 zeigt die UI während einer Replay-Session, mit einer Timeline zur zeitlichen Information und einem Button zum vorzeitigen Stoppen des Replays.



Abbildung 9: Screenshot der Benutzerschnittstelle zur Auswahl eines Replays in *MITHOS*.



Abbildung 10: Screenshot der Benutzerschnittstelle zur Steuerung eines Replays in *MITHOS*.

Abbildung 11 zeigt die graphische Benutzerschnittstelle für das Kalibrierungs-System, welches zu Beginn eines jeden Trainings, die aufgrund der unterschiedlichen Körperproportionen der Trainierenden notwendigen Anpassungen an der Verarbeitung der Tracking-Daten vornimmt.



Abbildung 11: Screenshot der Benutzerschnittstelle des Kalibrierungs-Systems in *MITHOS*.

In AP 8.4 wurde die Adaption der ausgewählten Autorenwerkzeuge zur Gestaltung von virtuellen Charakteren und Szenen sowie der Konfiguration und Parametrisierung von Szenarien

abgeschlossen. Der Konfigurator zur Auswahl und Anpassung von verschiedenen Schüler- und Lehrercharakteren wurde durch die funktionalen Anpassungen für das Hauptmenü in AP 8.3 und AP 8.4 abgedeckt. Dies erlaubt das äußere Erscheinungsbild (ethnische und kulturelle Merkmale, Geschlecht, Alter, Größe, Statur, Form und Farbe der Kleidung, Accessoires) von Avataren und Agenten gezielt in Bezug auf die Anforderungen in den verschiedenen Konfliktszenarien anzupassen. Für die Entwicklung eines Autorenwerkzeugs zur Gestaltung von Szenen und Objekten bestand kein ausreichender Bedarf, da die verschiedenen Szenen und Assets schlussendlich durch die 3D-Artists bei TriCAT händisch modelliert und die Softwareentwickler funktional ausgestattet wurden. Die Umsetzung eines Editor-Systems für die Gestaltung und Personalisierung des eigenen Avatars und der virtuellen Charaktere der Agenten erfolgte durch die Einbindung und Adaption der auf der *TriCAT spaces*[®] Plattform bestehenden Avaturn-Integration. Abbildung 12 zeigt die Benutzerschnittstelle der *Avaturn*-Webseite für die Erstellung eines Avatars zur Verwendung in einem Trainingsszenario in der *MITHOS* Anwendung.



Abbildung 11: Die Erstellung eines Avatars mit der Avaturn-Schnittstelle in *MITHOS*.

In AP 8.5 und AP 8.6 wurde die projektspezifische Erweiterung und Adaption der in *TriCAT spaces*[®] verfügbaren Autorenwerkzeuge und Laufzeitkomponenten zur Spezifikation von Objektverhalten und zur Steuerung und Koordination von Szenario-Prozessen vorgenommen. Hierzu wurden einzelne Funktionsbausteine implementiert, als Plugins im Autorenwerkzeug zur Verfügung gestellt und in unterschiedlichen Szenarien erprobt. Die Domänenexperten der Forschungs- und Evaluationspartner wurden dadurch in die Lage versetzt, verschiedene Aspekte des Verlaufs von Szenarien sowie einzelne Funktionen von Interaktionsobjekten weitgehend selbst, mit nur geringer Unterstützung durch die technischen Partner zu modellieren. Es wurden Funktionsbausteine zur Ansteuerung von Agentenverhalten, Auslösung von Umgebungsereignissen und zur Abfrage und Verarbeitung von Nutzereingaben und Umgebungsbedingungen implementiert. Da die Szenario-Steuerung der verschiedenen Szenen in den finalen Demonstratoren und Evaluationen durch das eigens entwickelte Wizard-Of-Oz-System und das

Dialogsystem der Partner vorgenommen wurde, konnten die eigenen, auf der Plattform selbst entwickelten Autorenwerkzeuge dort allerdings zuletzt nicht mehr eingesetzt werden.

Im Rahmen von AP 8.6 wurden entlang der Entwicklung der Autorenwerkzeuge im vorliegenden Berichtszeitraum auch die Implementierung der entsprechenden Laufzeitkomponenten abgeschlossen und vollständig in die *TriCAT spaces*[®] Plattform integriert. Außerdem wurden die Arbeiten an AP 8.7, d. h. die projektspezifische Adaption und Erweiterung der Laufzeitkomponenten und die Architekturkonfiguration der *TriCAT spaces*[®] Plattform, die Erkennung und Initialisierung von Endgeräten sowie die Koordination der Netzwerkkommunikation zum Anwendungsserver, Backend-Servern und den Komponenten der Partner abgeschlossen. Die Sprachaktivität und die Ergebnisse des Sprachverstehens, die interpersonelle Distanz von Agenten und Nutzenden, die Positionen der Agenten und Nutzenden-Avatare sowie alle Interaktionsergebnisse mit der Umgebung werden fortlaufend erfasst und propagiert. Aus dem kontinuierlich erfassten Blickverhalten der Nutzenden leitet das System diskrete Blickereignisse wie z. B. die Fokussierung von Agenten und Objekten in der Szene ab, welche der Beurteilung der Aufmerksamkeit und des Referenzrahmens der Nutzenden dienen. Die kontinuierlich als Blendshapes erfassten Gesichtsausdrücke, die Positionsverläufe der Tracker an Kopf, Händen, Hüfte, Knien und Füßen, sowie die Audioeingaben des Nutzers, werden ebenfalls propagiert und lokal mit Zeitstempeln abgespeichert, um sie in den Replay- und Feedback-Szenen verwenden zu können. Ebenso wie die erfassten Eingabemodalitäten, werden auch alle von den Softwarekomponenten der Partner empfangenen Befehle bei der Umsetzung mit Zeitstempeln abgespeichert. Das Repertoire an möglichen Befehlen wurde entlang der Entwicklung der Trainingsszenarien fortlaufend ergänzt, z. B. durch einen Befehl zum Abspielen bereits vorgefertigter Audioclips oder das Abspielen beliebiger Sequenzen von multimodalen Verhaltensblöcken durch die Agenten. Zuletzt wurde auf das in AP 8.1 entwickelte System zurückgegriffen um ganze multimodale Verhaltensspezifikationen, welche sowohl sprachlichen Aussagen als auch sprachbegleitende Verhaltensaspekte beinhalten, zeitlich genau ausgerichtet synthetisieren und abspielen zu können. Außerdem wurde das System durch Befehle erweitert, die eine sofortige Pausierung und nahtlose Wiederaufnahme der Ausführung des Agentenverhaltens ermöglichen. Diese Funktion kommt bei der Perspektivübernahme innerhalb der Replay- und Feedback-Phasen eines Trainings zum Einsatz. Während der Hauptphase des Trainings werden dafür zunächst alle Nutzereingaben, über den Message-Broker eingehenden Befehle sowie die synthetisierten Audiostreams und abgespielten Animationen der Avatare aufgenommen und mit Zeitstempeln protokolliert. Für das Replay spezifischer Interaktionssituationen kann das Agentenverhalten dann zu jedem beliebigen Zeitpunkt wieder ausgeführt werden.

AP 9 - Evaluation der Trainings und Systems, Zusammenarbeit mit Living Lab

TriCAT beteilige sich in diesem Arbeitspaket kontinuierlich an der inkrementellen Einarbeitung der aus den Evaluationsergebnissen geschlussfolgerten Anpassungsbedarfe in die eigenen Systeme. Außerdem unterstützten sie die Forschungs- und Evaluationspartner in diesem Arbeitspaket durch die spezifischen Anpassungen ihrer Softwarekomponenten sowie Wartung und Vor-Ort- bzw. Remote-Support bei den Partnern im Rahmen von Demonstratoren und während Evaluationen und Nutzerstudien. Die Arbeiten von TriCAT in diesem Arbeitspaket konnten zeit- und plangerecht abgeschlossen werden.

Ergebnisse des Teilvorhabens

Die Integrations- und Entwicklungsleistungen von TriCAT im Teilvorhaben *VI-TRAIN* waren zentral und maßgeblich für das Ergebnis und den Erfolg des Verbundprojekts *MITHOS*. Kern des in *MITHOS* geschaffenen Trainingssystems ist die von TriCAT entwickelte virtuell-immersive 3D-Schulumgebung mit verschiedenen Trainingsszenarien sowie KI-gesteuerten Agenten und den Avataren der Nutzer. TriCAT setzte hierfür die virtuellen, interaktiven 3D-Szenen um, in denen die verschiedenen Phasen der Trainingsdurchläufe erlebt werden. Hierzu zählen eine Briefing-Phase vor dem Training, das Durchleben der Konfliktsituation im Klassenzimmer, die Aufnahme und das Replay der Szenarien für die anschließende Perspektivübernahme, sowie eine Debriefing-Phase für Feedback durch einen menschlichen Coach oder einen KI-gestützten Agenten. Durch ihren eigenen, individualisierbaren Avatar repräsentiert, durchlaufen die Lehrpersonen verschiedene, emotional komplexe und sozial herausfordernde Szenarien in einem virtuellen Klassenzimmer. KI-gesteuerte autonome Schülerinnen- und Schüleragenten zeigen typische Verhaltensweisen, die gegen soziale Normen verstoßen und zu Konfliktsituationen führen können. Editor- und Autorenwerkzeuge auf der Plattform bieten die Möglichkeit diverse Charakteristika der virtuellen Charaktere für Avatare und Agenten selbst zu gestalten und zu personalisieren. Eine Vielzahl von Animationen und Blendshapes sowie die zeitlich und semantisch koordinierte Ausführung multimodaler Verhaltensaspekte ermöglichen ein emotional ausdrucksstarkes und natürliches soziales Dialog- und Interaktionsverhalten der Agenten. Während dieser Interaktion stehen die Lehrpersonen vor der Herausforderung diese Konfliktsituationen durch eine empathische Kommunikationsstrategie und die Wahl des geeigneten Konfliktmanagements zu bewältigen. Dabei erfasst und analysiert das System fortlaufend das Interaktionsverhalten und die sozialen Signale der Lehrpersonen, um im Anschluss ein natürliches, soziales Feedback zu ermöglichen. Die Einbindung verschiedenster Hardware und Sensorik in die Plattform ermöglicht die Erfassung, Verarbeitung und multimodale Interpretation dieser sozialen Signale der Lehrpersonen während ihrer Interaktion mit den Agenten. Mithilfe innovativer soziotechnischer Lösungen passt das System das Verhalten der virtuellen Schülerinnen und Schüler dynamisch an die Handlungen und Reaktionen der trainierenden Lehrperson an. Somit können die Lehrpersonen eigene Ansätze zur Bewältigung sozio-emotionaler Herausforderungen ausprobieren, die unterschiedlichen Auswirkungen ihres Handelns beobachten, ihre Lehrstrategien verfeinern und so deren Wirksamkeit verbessern. Die fortgeschrittene Datenanalyse umfasst Verfahren des tiefen maschinellen Lernens, Sprachtechnologien, Large Language Modelle und Affekt-Modellierung, um die Konfliktsituationen aus verschiedenen Perspektiven zu erfassen. Dadurch gewinnen die Trainierenden Einblicke in die Perspektiven und emotionalen Zustände der Schülerinnen und Schüler. Das stärkt ihre Fähigkeit, einfühlsam und souverän mit Schülerinnen und Schülern umzugehen, sie zu verstehen und zu unterstützen. Infolgedessen lernen Lehrpersonen, die Konflikte in heterogenen Lerngruppen besser regulieren.

Unter der Beteiligung der TriCAT GmbH ist es dem interdisziplinären Verbund aus Forschungs- und Entwicklungspartnern in *MITHOS* gelungen, unter Verwendung modernster XR-Technologien und KI-Verfahren, ein innovatives Trainingssystem zu entwickeln. Das Trainingssystem ermöglicht Lehrpersonen jederzeit, von überall aus und so oft sie möchten, ein realitäts- und praxisnahes Training in einer virtuell-immersiven 3D-Schulumgebung mit eigenem Avatar und interaktiven, künstlich intelligenten Schüleragenten. Es bietet didaktisch und methodisch fundierte Trainingsszenarien für den professionellen Umgang mit komplexen, sozio-emotionalen

Herausforderungen, wie sie bei Konflikten oder heterogenen Gruppen im Schulunterricht entstehen können. Die Lehrpersonen werden durch den Aufbau der Trainingsphasen in die Lage versetzt, die Wahrnehmung ihrer eigenen Bedürfnisse und ihre Fähigkeit zu Empathie und Perspektivübernahme zu verstehen und ihre empathische Kommunikation sowie Emotions- und Konfliktregulation in herausfordernden Situationen systematisch und realitätsnah zu trainieren. Das System bietet den Lehrpersonen dadurch eine völlig neuartige Qualität für den effektiven und nachhaltigen Erwerb sozio-emotionaler Kompetenzen für den Unterricht. Umfangreiche Studien mit Nutzenden sichern die Genauigkeit der zugrundeliegenden Affekt-, Konflikt- und Interaktionsmodelle sowie die Realitätsnähe und Wirksamkeit des Trainingssystems. Die wissenschaftlich fundierten Evaluationen der durchgeführten Nutzerstudien, haben gezeigt, dass die Etablierung des Systems in der Aus- und Weiterbildung von angehenden und praktizierenden Lehrpersonen an Schulen oder ähnlichen Einrichtungen die traditionelle Lehrpersonenausbildung sinnvoll und wirksam ergänzen kann. Das entwickelte Trainingssystem ist zudem generalisierbar und lässt sich in weiteren Anwendungsbereichen einsetzen, in denen Perspektivenwechsel und Konfliktregulierung bei interpersonellen Konflikten trainiert werden sollen.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

MITHOS war ein Verbundvorhaben unter Leitung des Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) und mit Beteiligung der Universität Augsburg (US), der Universität des Saarlandes (UdS) und der Semvox GmbH (PS). Neben der gemeinsamen Arbeit im Verbund wurde über den gesamten Projektverlauf eine enge Abstimmung mit dem *XR-Interakt Living Lab* aufrechterhalten. Diese diente der Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den Verbundprojekten und dem Vergleich der XR-Ansätze mit Teilnehmern aus anderen Endnutzergruppen, um die potenzielle Umsetzung in andere Einsatzfelder zu erhöhen. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit mit dem Living Labs entstand auch der Beitrag des Verbunds zu einem Buchprojekt, in dem die Forschungsaktivitäten und das Trainingssystem in *MITHOS* beschrieben werden. Des Weiteren wurde der Verbund von einem ELSI-Beirat, der UdS-Ethikkommission sowie den Datenschutzbeauftragten des DFKI bei der Planung und Durchführung von Studien im Bereich Human-Computer Interaktion und insbesondere unter Berücksichtigung von sozio-emotionalen Aspekten beraten. Zuletzt konnte TriCAT die Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Teilvorhaben auch mit anderen BMBF-Projekten, wie z. B. *XR-PART* (BMBF, 2021-2025, FKZ 16SV8767) und *AVILAB* (BMBF, 2022-2024, FKZ 16INB2005B) sowie dem BMWK-Projekt *ToHyVe* (BMWK, 2022-2024, FKZ 01MT22002H) teilen und somit den wissenschaftlichen Austausch fördern.

Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Während des Projektverlaufs haben sich Arbeits- und Zeitplanung nicht wesentlich verändert. Der aktuelle Stand der Technik, relevante wissenschaftliche Veröffentlichungen und Forschungsergebnisse themenbezogener Forschungsvorhaben wurden durch regelmäßige Recherarbeiten im Internet und Fachzeitschriften sowie Tagungsteilnahmen und die enge Vernetzung mit den Stakeholdern kontinuierlich verfolgt. Zu keinem Zeitpunkt während des Projektzeitraums mussten Änderungen an der Zielsetzung des Teilvorhabens vorgenommen werden. Ebenso haben sich die Aussichten für die Erreichung der zu Beginn des Projekts festgelegten Ziele des Teilvorhabens gegenüber dem ursprünglichen Antrag zu keinem Zeitpunkt geändert.

Zusammenfassung des zahlenmäßigen Nachweises

Der Finanzplan wie er zu Beginn des Projekts vorgelegt wurde, konnte im Wesentlichen eingehalten werden. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Gesamtkosten belaufen sich auf **657.785,66 €**.

Abweichungen:

Personalkosten: Die tatsächlichen Personalkosten entsprechen den geplanten.

Reisekosten: Hier liegt eine Abweichung von 14% vor. Die tatsächlichen Reisekosten waren etwas höher als geplant.

Investitionen: Vorhabensspezifische Abschreibungen und sonstige unmittelbare Vorhabenkosten betragen lediglich 64% der geplanten Mittel.

Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit

Die ambitionierten Forschungs- und Entwicklungsziele von *MITHOS* und *VI-TRAIN* hätten durch TriCAT aufgrund des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Risikos unter regulären Marktbedingungen allein kaum erreicht werden können. Die Konzeption, Entwicklung und Evaluation der innovativen Methoden und Technologien wurden erst in der geförderten Kooperation mit den Forschungs- und Anwendungspartnern erreichbar. Die Bewältigung der technologischen Komplexität sowie der Zugang zu innovativen Anwendungsfällen und Anwendergruppen zur strukturierten Erprobung und fundierten Evaluation war allein nicht erreichbar. Ebenfalls nicht realisierbar wäre die integrale und systematische ELSI-Integration gewesen.

TriCAT kann als klein- bis mittelgroßes Unternehmen nicht riskieren existierende Geschäftsbeziehungen oder Marktpotenziale durch verfrühtes Einführen und Einbinden unreifer Technologien oder nicht ausreichend validierter Methoden in bestehende Produkte zu verlieren. Die im Rahmen von *MITHOS* erbrachten Forschungs- und Entwicklungsleistungen waren also mit einem erheblichen wirtschaftlichen Erfolgsrisiko verbunden und daher nur über die Kooperation mit den Partnern und die Zuwendung des Zuwendungsgeber möglich. Durch diese Verteilung der Risiken im Konsortium entstand ein angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Die erfolgreich genutzten Synergien haben es TriCAT daher erlaubt, Weiterentwicklungen in der für den Markt notwendigen Geschwindigkeit voranzutreiben und ihre Marktchancen zu verbessern.

Die Angemessenheit der Zuwendung begründet sich neben der Relevanz der Thematik vor allem in den außerordentlich guten Erfolgsaussichten des Vorhabens in der gegebenen Konstellation der Verbundpartner. Alle Projektpartner sind etablierte Spezialisten und in gut funktionierenden und breit vernetzten Instituten und Unternehmen zu Hause. Die Vorarbeiten und Expertise der einzelnen Partner, deren komplementären Charakteristik sowie die bereits in vorangegangenen Forschungsprojekten geknüpften, sehr guten Beziehungen waren gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit und um die anstehenden Herausforderungen zu meistern.

Nutzen und Verwertbarkeit

Die Projektergebnisse sollen zukünftig in *wirtschaftlich* nutzbare Produkte, Verfahren und Dienstleistungen einfließen und dadurch der Verwertung zugeführt werden. Auf dem Weg der Umsetzung sollen innerhalb bestimmter Zeithorizonte verschiedene Zwischenziele erreicht werden und Teilverwertungen erfolgen. Außerdem sollen sie in zukünftige *wissenschaftliche* und *technische* Konzepte und Entwicklungen einfließen. Als technischer Entwicklungspartner stehen wissenschaftliche Veröffentlichungen für TriCAT nicht im Vordergrund. Daher kommen in diesem Bereich vor allem Aspekte wie z. B. die Steigerung der wissenschaftlichen Konkurrenzfähigkeit und Kompetenz, der Ausbau von Netzwerken und Wissenstransfer, die Erschließung von F&E Gebieten oder die Weiterentwicklung des wissenschaftlich arbeitenden Personals zum Tragen. Eine ausführlichere Beschreibung der wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Verwertung sowie Anschlussfähigkeit, insbesondere Details zu den Anwendungsfeldern und Entwicklungsschwerpunkten sind im unveröffentlichten Erfolgskontrollbericht dargelegt.

Wirtschaftliche Verwertung und Folgen

Kurzfristig (< 1 Jahr nach Projektabschluss) steht für TriCAT die Entwicklung und Vermarktung einer eigenständigen Produktlinie für XR- und KI-basiertes sozio-emotionales Kompetenztraining noch nicht im Vordergrund. Vielmehr werden zunächst die Erkenntnisse und Ergebnisse aus den vielfältigen Werkzeugen und Demonstratoren in einzelne, kleinere, flexibel konfigurier- und einsetzbare Produktbausteine, Komponenten und Charakteristika umgesetzt. Unmittelbar an diese Entwicklung finden einzelne dieser Bausteine dann zunächst als integraler Bestandteil Einzug in verschiedene Demonstratoren und kundenspezifischen Lösungen bei der primären und erweiterten Zielgruppe. Dies umfasst Einrichtungen im schulischen und schulnahen Umfeld, Aus- und Weiterbildungseinrichtungen im beruflichen und betrieblichen Umfeld sowie private Bildungsanbieter. Anschließend werden einige davon in den SaaS-Lösungen als konfigurier- und nutzbare, funktionale oder inhaltliche Erweiterungsbausteine zur Verfügung stehen.

Mittelfristig (1-2 Jahre nach Projektabschluss) plant TriCAT auch dedizierte Produkte und Lösungen für XR- und KI-basiertes Training sozio-emotionaler Kompetenzen auf Basis der *TriCAT spaces*[®] Plattform zu entwickeln und in die breite Nutzung zu bringen. Die Vermarktung der Lösungen erfolgt dann zunächst für Primärzielgruppen, d. h. im schulischen und schulnahen Umfeld bzw. schulischen Einrichtungen, und Bestandskunden, wie z. B. große Unternehmenskunden, die bereits auf die Plattform und ihre Fähigkeiten, z. B. hinsichtlich des Datenschutzes und Sicherheit vertrauen. In einem zweiten Schritt soll das Angebot dann auch jenseits der initialen Primärzielgruppe, d. h. bei Bildungseinrichtungen und der innerbetrieblichen Aus- und Weiterbildung bei Unternehmen, vermarktet und die einzelnen Formate gezielt auf die Bedürfnisse der jeweiligen Nutzergruppen ausgeweitet werden. TriCAT erwartet hieraus eine deutliche Erweiterung der Nutzungsfelder sowie der Nutzungsintensität der bis dahin entwickelten Angebote und damit ein signifikantes zusätzliches Umsatzpotential.

Langfristig (> 2 Jahre nach Projektabschluss) verspricht sich TriCAT durch die Kombination aus einer bereits führenden Marktposition bei virtuellen Lern- und Arbeitswelten und der Chance

über *VI-TRAIN* und *MITHOS* zu einem frühen Marktzeitpunkt mit hervorragenden Partnern auch XR- und KI-basiertes Training sozio-emotionaler Kompetenzen entwickeln und breit streuen zu können, eine hervorragende Wettbewerbsposition und erhebliche Erfolgsaussichten auch in einem internationalen Marktumfeld bestehen zu können. Bei entsprechend positiven Marktbedingungen und einer guten Auftragslage wird TriCAT Personalaufstockungen in verschiedenen Unternehmensbereichen, von Marketing und Vertrieb über Customer Support und Projektmanagement bis hin zur Entwicklungsabteilung vornehmen und somit attraktive Arbeitsplätze für hochqualifiziertes Personal in Deutschland schaffen.

Wissenschaftlich-technische Verwertung

Kurzfristig (< 1 Jahr nach Projektabschluss) wird TriCAT die nachhaltige und robuste Verankerung der erzielten prototypischen Ergebnisse aus den in *VI-TRAIN* geschaffenen Werkzeugen und Demonstratoren (z. B. Virtuelle Charaktere, Signalverarbeitung, Lokalisierung, Datenschnittstellen, Hardwareintegration, Interoperabilität) in der *TriCAT spaces*[®] Plattform verfolgen. Darunter fällt auch die weitere technologische Öffnung der Plattform, um deren zukünftige Standardkonformität und Interoperabilität zu gewährleisten und damit ein breiteres Spektrum an Möglichkeiten zur Anknüpfung an Forschungs- und Wertschöpfungsnetzwerke abzudecken. Dadurch gelangt TriCAT unmittelbar in die ideale Ausgangsposition für weitere F&E Aktivitäten und erbringt einen lohnenden Beitrag für zukünftige Partner und Netzwerke. Bisherige und geplante Aktivitäten, sowie die langjährige Erfahrung in der Umsetzung von F&E Ergebnissen sprechen hier für sehr gute Erfolgsaussichten. So profitierten bereits zur Projektlaufzeit und insbesondere unmittelbar im Anschluss daran weitere F&E Projekte bei TriCAT, z. B. *XR-PART* (BMBF, 2021-2025, FKZ 16SV8767), *AVILAB* (BMBF, 2022-2024, FKZ 16INB2005B) und *ToHyVe* (BMWK, 2022-2024, FKZ 01MT22002H), von den entsprechenden Ergebnissen in *VI-TRAIN*. TriCAT wird sich nach Projektabschluss weiter intensiv bemühen, Kooperationsnetzwerke mit den Verbundpartnern und die Sichtbarkeit bei den Stakeholdern auszubauen.

Mittelfristig (1-2 Jahre nach Projektabschluss) wird sich TriCAT intensiv um die Beteiligung an weiteren Förderprogrammen im Bereich von XR- und KI-basiertem, sozio-emotionalem Kompetenztraining und angrenzenden Bereichen bemühen. TriCAT beabsichtigt hierbei die technischen, funktionalen und methodischen Verschränkungen bei XR- und KI-basiertem, sozio-emotionalem Kompetenztraining entlang der verschiedenen, sehr eng zusammenhängenden Entwicklungsfelder auszubauen, die zukünftig eine hilfreiche Rolle spielen werden. Mit Hinblick auf die hohe förderpolitische Relevanz und das große Marktpotenzial erwartet TriCAT hier in den kommenden Jahren entsprechend gute Förderbedingungen und dadurch gute Erfolgsaussichten für den weiteren Ausbau der damit zusammenhängenden F&E-Bereiche bei TriCAT. Sofern dies gelingt, bestehen gute Aussichten, dass TriCAT hier gemeinsam mit deutschen und europäischen Forschungspartnern international eine relevante Rolle in der anwendungsorientierten und praxisnahen Forschung bei XR- und KI-basiertem, sozio-emotionalem Kompetenztraining und deren Transfer in eigene Lösungen einnehmen kann. Ein grundlegendes Ziel ist hier auch die Schaffung neuer Stellen für die Anwerbung und Weiterentwicklung hochqualifizierter wissenschaftlich-technischer Mitarbeitern.

Langfristig (> 2 Jahre nach Projektabschluss) bestehen gute Chancen, dass TriCAT die erlangte Rolle in der anwendungsorientierten und praxisnahen Forschung in diesem Bereich weiter

untermauern kann. Dadurch entstehen gute Erfolgsaussichten, dass TriCAT in die Lage versetzt wird, zukünftig auf einem hochrelevanten Forschungs- und Entwicklungsfeld überzeugende, hochmoderne Lösungen zu entwickeln und konkurrenzfähig in einem globalen Markt anbieten zu können sowie eine attraktive Anlaufstelle für hochqualifiziertes, wissenschaftlich-technisches Personal zu sein.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

XR- und KI-basiertes Training von sozio-emotionalen Kompetenzen stellt für TriCAT nicht die einzige Möglichkeit oder den alleinigen Anknüpfungspunkt zum wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Anschluss an die Projektaktivitäten dar. Vielmehr macht dies nur einen Ausprägungsbereich von vielen, auf dem multidimensionalen Kontinuum von innovativen Trainingssystemen mit Einbindung modernster KI-, XR-, und Sensor-Technologien aus. Außerdem kann eine Vielzahl einzelner in *VI-TRAIN* geschaffener XR-, KI- und Sensor-Technologien nicht nur im Kontext dieser Trainingssysteme, sondern auch für andere Aufgaben im Rahmen der Vorbereitung, Unterstützung und Nachbereitung diverser Veranstaltungs- und Interaktionsformate in virtuell-immersiven Lehr- und Lernwelten oder gänzlich anderen Produkten, Verfahren und Dienstleistungen *wirtschaftlich* wertschöpfend weiterentwickelt werden.

Genauso kann im *wissenschaftlich-technischen* Bereich daran anschließend weitere Forschung und Entwicklung betrieben werden. Diese kann sich einerseits auf die Spezifika der verschiedenen Anwendungsbereiche und Nutzungsarten, wie z. B. Verhandlungs-, Verkaufs- und Supportgespräche in Vertrieb und Marketing, Recruiting-, Onboarding- und Bewerbungsgespräche im Personalwesen sowie psychologisch-psychiatrische Beratung, Therapie oder Anamnese in der Medizin, konzentrieren. Andererseits werden querschnittlich dazu die an XR- und KI-basiertes Training von sozio-emotionalen Kompetenzen angrenzenden und zugrundeliegenden F&E-Bereiche fokussiert. Diese reichen von virtuellen Charakteren und Zwillingen, multimodaler Signalverarbeitung und Interpretation sozio-emotionaler Verhaltensaspekte, innovativen Tracking-, Lokalisierungs- und Rendering-Technologien, Datenschnittstellen, Hardwareintegration und Interoperabilität bis zu Avatar-Technologien sowie generativer und konversationeller KI. TriCAT wird die in *VI-TRAIN* gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sowie die entwickelten Technologien folglich auch bei der Formulierung vieler neuer Forschungsfragen und generell bei der Akquise und Durchführung zukünftiger Forschungsprojekte in diesen Bereichen vielfältig nutzen können. Durch Kooperation von TriCAT mit Hochschulen und Universitäten sowie Forschungspartnern werden die Erkenntnisse aus MITHOS und den zukünftigen Aktivitäten ferner auch in Forschung und Lehre sowie in Abschluss- und Promotionsarbeiten eingehen.

Veröffentlichungen und Präsentationen

Als Entwicklungspartner und KMU aus der Industrie stand die Erstellung eigener wissenschaftlicher Publikationen im Rahmen des *MITHOS* Projekts für TriCAT nicht im Vordergrund. Nichtsdestotrotz konnte TriCAT mit ihrer Arbeit und Unterstützung im Projekt natürlich einen essenziellen Beitrag zur erfolgreichen Veröffentlichung der Resultate durch die Projektpartner in Konferenzen und Fachmagazinen leisten. Da diese Veröffentlichungen bereits in den Abschlussberichten der Partner aufgeführt werden, wurde auf eine wiederholte Auflistung an

dieser Stelle verzichtet. Erwähnt sein soll hier lediglich die Beteiligung von TriCAT in Form der Erstellung von eigenen substanziellen Beiträgen bei der Veröffentlichung des Überblickspapiers:

Bhuvaneshwara, C., Anglet, M., Hilpert, B., Chehayeb, L., Meyer, A.-K., Don, D. W., Tsovaltzi, D., Gebhard, P., Biermann, A., Auchtor, S., Lauinger, N., Knopf, J., Kaiser, A., Kersting, F., & Mehlmann, G. (2023). *MITHOS - Mixed Reality Interactive Teacher Training System for Conflict Situations at School*. ICLS Annual Meeting 2023: Building Knowledge and Sustaining Our Community, June 10–15, 2023, Montréal, QC, Canada.

Diese Publikation stellt eine geeignete Zusammenfassung der Konzepte und Entwicklungen in *MITHOS* dar. Die Veröffentlichung und der entsprechende interaktive Demonstrator wurden von den Forschungspartnern ebenfalls erfolgreich auf ICLS-Konferenz 2023 vorgestellt.

Über den gesamten Projektverlauf hinweg konnten im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit und Verwertungsstrategie immer wieder die in *MITHOS* und *VI-TRAIN* entwickelten Demonstratoren und Anwendungen bei verschiedenen Gelegenheiten demonstriert und mit dem sehr interessierten Publikum diskutiert werden. So präsentierte TriCAT die Arbeiten des *MITHOS* Verbunds im Rahmen von mehreren Konferenzen und Veranstaltungen (z.B. LEARNTEC, Zukunft Personal Europe (ZPE), COPETRI Convention) einem breiten Publikum aus dem Bereich immersive Lehr-Lernwelten sowie Innovations-, Transfer- und Personalmanagement vor. Ebenso konnte das Projekt im Rahmen des BMBF Abschlusstreffen *VAR2* am 27. und 28. Juni 2024 in Berlin präsentiert werden. Bei allen Präsentationen und Demonstrationen stießen die wissenschaftliche und technische Arbeit des gesamten *MITHOS* Konsortiums stets auf ausgesprochen positive Resonanz beim interessierten Fachpublikum.

Literaturverzeichnis

Krause A., Dorsemagen C., and Baeriswyl S., *Zur Arbeitssituation von Lehrerinnen und Lehrern: Ein Einstieg in die Lehrbelastungs- und Gesundheitsforschung*. Springer, 2013.

Tsovaltzi, D. & Makhkamova, A. (2020). *The influence of Compassion and Self-Compassion on Perspective-Taking and Conflict Resolution in learning contexts*. ICLS 2020, International Conference of the Learning Sciences Nashville USA.

Jiang, J., Vauras, M., Volet, S., & Wang, Y. (2016). *Teachers' emotions and emotion regulation strategies: Self- and students' perceptions*. *Teaching and Teacher Education*, 54, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2015.11.008>

Yarnell, L. M., & Neff, K. D. (2013). *Self-compassion, interpersonal conflict resolutions, and well-being*. *Self and Identity*, 12(2), 146–159.

Gross, J. J. (2002). *Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences*. *Psychophysiology*, 39(3), 281–291. <https://doi.org/10.1002/9780470177334.ch3>

Duarte, J., & Pinto-Gouveia, J. (2017). *Empathy and feelings of guilt experienced by nurses: A cross-sectional study of their role in burnout and compassion fatigue symptoms*. *Applied Nursing Research*, 35, 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2017.02.006>

Todd, A. R., Forstmann, M., Burgmer, P., Brooks, A. W., & Galinsky, A. D. (2015). *Anxious and egocentric: How specific emotions influence perspective taking*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(2), 374–391.