Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Verbundprojekt

ARLearn – Modulare AR-Umgebung zur flexiblen Wissensaufnahme & -vermittlung

ARLearn

in der Fördermaßnahme

Zukunft der Arbeit: Mittelstand - innovativ und sozial

Autor(en)
WZL Werkzeugmaschinenlabor der RWTH,
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh,
Campus-Boulevard 30, 52074, Aachen,
g.schuh@wzl.rwth-aachen.de

Projektlaufzeit: 01.08.2022 – 30.10.2024

Erstellungsdatum: 10.04.2025

Projektpartner

Modell Aachen GmbH / 02L20C540
I2Solutions GmbH / 02L20C542
Oculavis GmbH / 02L20C541
Meissner GmbH / 02L20C543
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH (WZL IQS, WZL PS) / 02L20C544

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

]

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

I. Teil I Kurzfassung 3
I.1 Aufgabenstellung 3
I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens 3
I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick 4
II. Teil II Eingehende Darstellung 5
II.1 Motivation und Aufgabenstellung 5
II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens 6
II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 7
II.4 Erzielte Ergebnisse 8
II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen 19
II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse 19
II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes 20
II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc. 20
II.9 Literaturverzeichnis 20

I. Teil I Kurzfassung

I.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Projekts war die Entwicklung einer flexiblen, modularen AR-Umgebung für den Einsatz in unterschiedlichen Produktionsumgebungen. In diesen Umgebungen soll die effiziente Aufnahme und Weitergabe von Erfahrungswissen ermöglichen werden und Herausforderungen wie den Wissensverlust durch den demografischen Wandel adressieren. Das Projekt wurde von einem interdisziplinären Konsortium durchgeführt:

- **Modell Aachen GmbH**: Verantwortlich für die Konzeption und prozessuale Strukturierung des AR-Systems basierend auf dem bestehenden Q.wiki Wissensmanagementsystem und die Entwicklung eines Vermarktungskonzepts.
- **oculavis GmbH**: Entwickelte die AR-Module für flexible Wissensaufnahme und -vermittlung auf Basis ihrer oculavis SHARE Plattform.
- **I2Solutions GmbH**: Bereitstellung generischer Schnittstellen zu unterschiedlichen Datenquellen zur Unterstützung in vergleichbaren Systemkonfigurationen.
- **Meissner AG**: Fokussierte auf die prototypische Anwendung und Validierung des AR-Systems in der Produktionsumgebung.
- **Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University**: Die Lehrstühle Produktionssystematik (Prof. Schuh) sowie Informations-. Qualitäts- und Sensorsysteme in der Produktion (Prof. Schmitt) arbeiteten an der Entwicklung eines lerndidaktischen Konzepts und einer Methodik zur Implementierung des AR-Systems in produzierenden Unternehmen, basierend auf bestehenden Prozessmodellen für systematischen Wissenstransfer.

Im Vordergrund stand die Sicherstellung der Praktikabilität durch Validierung bei der Meissner AG.

I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zu Beginn des Vorhabens bestand ein dringender Bedarf, dem Fachkräftemangel und der steigenden Nachfrage an kontextspezifischer Wissensvermittlung am Arbeitsplatz durch neue Innovationsansätze zu begegnen [DIHK24]. Die Forschung im Bereich Wissensmanagementsysteme befasste sich mit der Entwicklung von Ansätzen zur modularen Bereitstellung impliziten Erfahrungswissens, besonders in der industriellen Praxis. Viele existierende Lösungen sind jedoch lediglich Insellösungen, die sich auf spezifische Anwendungsfälle konzentrieren und daher weder modular noch skalierbar sind, um eine flexible Wissensvermittlung im Kontext verschiedener Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes zu gewährleisten [ARTS22].

Die wesentliche Herausforderung bestand darin, Fachkräften kontextspezifische Informationen zum benötigten Zeitpunkt bereitzustellen. Dies erforderte eine modulare Struktur des Wissensmanagementsystems, um die flexible und unternehmensspezifische Anpassung der angewandten Systeme sowie der Inhalte zu ermöglichen [NORTH16]. Augmented Reality (AR)-basierte Wissensmanagementsysteme wurden als besonders geeignet erachtet, um implizites Wissen im realen Kontext zu vermitteln. Klassische Systeme konnten dies nur begrenzt.

Das ImmPro-Projekt erforschte als Vorgängerprojekt den Einsatz von VR- und AR-Technologien in der praxisnahen Hochschulausbildung. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde das Ziel formuliert, eine ganzheitliche und modulare AR-Wissensmanagementlösung für produzierende Unternehmen zu entwickeln. Das Konsortium wurde durch die Modell Aachen GmbH und die oculavis GmbH ergänzt.

Die Modell Aachen GmbH stellte mit Q.wiki ein Wissensmanagementsystem und oculavis GmbH mit ocualvis SHARE eine Umgebung für den AR-Wissenstransfer.

Am WZL der RWTH Aachen lag der Fokus auf Wissensmanagement, wobei ein umfassender Ansatz für Wissenstransferprozesse entwickelt wurde. Der Stand der Technik motivierte die Entwicklung modularer AR-Wissensmanagementsysteme für nachhaltige, kontextspezifische Wissensvermittlung in Industriezweigen.

I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Das Forschungsprojekt zur Entwicklung eines modularen AR-basierten Wissensmanagementsystems erzielte bedeutende Fortschritte. Zu den wesentlichen Ergebnissen zählen:

- Die erfolgreiche Entwicklung einer AR-Umgebung zur Wissensaufnahme und -vermittlung in Produktionsumgebungen, die die Erwartungen hinsichtlich Effektivität erfüllte.
- Erreichte Ziele wie die Systemmodularität durch standardisierte Werkzeuge, die Prototyperprobung bei der Meissner AG und die Schaffung eines virtuellen Wissensspeichers zur situationsspezifischen Wissensabfrage.
- Der nahtlose Zugriff auf Erfahrungswissen wurde unterstützt durch die Integration mit bestehenden Wissensmanagementlösungen wie Q.wiki und oculavis SHARE.
- Erfolgreiche Implementierung lerndidaktischer Modelle und des „Learning by Doing"-Ansatzes, die die praktische Anwendbarkeit und das Verständnis der Inhalte fördern.
- Teilweise Erreichung von Zielen wie der Nutzung von Schattenmodellen und der Integration grafischer Modelle, wobei noch Optimierungen erforderlich sind.

Als Nebenergebnisse wurde die Bedeutung individueller Anpassungen und die Integration klassischer Wissensmanagementmethoden für die Akzeptanz hervorgehoben. Die Projektergebnisse bieten wertvolle wissenschaftlich-technische Einsichten mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, wobei der nahtlose Wissenszugriff und die Anpassung spezifischer Lerninhalte als entscheidend für die Wirksamkeit gelten. Die Akzeptanz der AR-Brillen birgt noch Herausforderungen, die mit technologischem Fortschritt zu lösen sind.

Das Forschungsprojekt zur Entwicklung eines modularen AR-basierten Wissensmanagementsystems erzielte bedeutende Fortschritte. Zu den wesentlichen Ergebnissen zählen:

Entwicklung eines AR-basierten Wissensmanagementsystems: Ein modulares System wurde entwickelt, das die Software Q.wiki (als führendes System zur Wissensdokumentation) mit oculavis SHARE verbindet, um Wissen im Werkzeugbau zu erfassen, zu dokumentieren und zu vermitteln.

Didaktisches Lernkonzept: Ein umfassendes didaktisches Konzept wurde erarbeitet, das verschiedene Wissensstände und Bedürfnisse von Anwendern berücksichtigt. Hierzu wurden theoretische Modelle wie das Lehr-Lernarrangement nach Kaiser, das Novizen-Experten-Modell und die Lernzieltaxonomie nach Bloom einbezogen.

Technische Integration: Eine von i2solutions entwickelte Middleware ermöglicht die bidirektionale Datenübertragung zwischen Q.wiki und oculavis SHARE, wodurch Wissen dokumentiert und in AR-Umgebungen dargestellt werden kann.

3D-Modell-Konverter: Ein spezieller Konverter wurde entwickelt, um .step-Dateien in web-lesbare Formate umzuwandeln, was für die AR-Anwendung essentiell ist.

Validierungsergebnisse: Tests mit Mitarbeitern zeigten, dass das System die Arbeit erleichtert und besonders gut für die Montage von Baugruppen geeignet ist. Die Vollständigkeit und Genauigkeit wurden positiv bewertet, während bei den Kosten-Nutzen-Verhältnissen, insbesondere bei der HoloLens, Optimierungspotential identifiziert wurde.

Hardware-Erkenntnisse: Die AR-Brillen (HoloLens) zeigten für den Shopfloor-Einsatz Einschränkungen aufgrund ergonomischer Belastung bei längerer Nutzung. Tablets wurden als geeignetere Alternative für den aktuellen technischen Stand identifiziert.

Vermarktungskonzept: Es wurde ein umfassendes Vermarktungskonzept mit Definition der Produktstrategie, Partnerschaften, Ressourcen und Konzept für den Erlösstrom entwickelt.

Die Zusammenarbeit erfolgte hauptsächlich zwischen den im Projekt beteiligten Partnern (Meissner AG, WZL Werkzeugmaschinenlabor, Modell Aachen GmbH, oculavis GmbH und i2solutions). Ein Austausch mit weiteren Werkzeugbaubetrieben aus der WBA-Community fand statt.

II. Teil II Eingehende Darstellung

II.1 Motivation und Aufgabenstellung

Das Erfahrungswissen der Mitarbeitenden zählt zu den wertvollsten Ressourcen eines Unternehmens, insbesondere angesichts verkürzter Produktlebenszyklen und zunehmend interdisziplinärer Zusammenarbeit in der Industrie [IHK2015]. Aufgrund des demografischen Wandels und des damit verbundenen Fachkräftemangels besteht die Gefahr eines langfristigen Verlusts von Erfahrungswissen. Die Zahl der ausscheidenden Mitarbeitenden in Unternehmen übersteigt bereits seit Jahren die der jungen Auszubildenden. Gemäß dem Bildungsbericht 2024 blieben im Jahr 2023 in Deutschland 73.400 Ausbildungsstellen unbesetzt, was einem neuen Höchststand von 13,4 % des Gesamtangebots entspricht [BMBF24]. In den letzten Jahren konnten rund 65 % der deutschen Maschinenbauunternehmen die vakanten Stellen langfristig nicht besetzen [HBL23]. Prognosen zufolge wird bis 2035 ein Höhepunkt bei den Altersabgängen erwartet, was die Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften und damit die Übertragung von wichtigem Erfahrungswissen weiter reduzieren wird.

Besonders das implizite Erfahrungswissen wird in produzierenden Unternehmen durch die Zusammenarbeit zwischen erfahrenen und jüngeren Mitarbeitenden weitergegeben. Dieser Wissenstransfer ist zeitaufwändig und erfordert die Verfügbarkeit erfahrener Mitarbeitender [HÖHN09]. Klassische Wissensmanagementmethoden, wie z. B. Handbücher oder Wiki-Systeme, bieten nur begrenzte Möglichkeiten, den Verlust dieses Erfahrungswissens zu verhindern [LAUKE21]. Daher besteht die Notwendigkeit, neue Ansätze zur Erfassung, Dokumentation und Vermittlung des Erfahrungswissens zu entwickeln, um die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland zu sichern.

Vielversprechende Möglichkeiten bietet der Einsatz von Augmented Reality (AR) Technologien, in denen relevanten Informationen direkt in das Sichtfeld der Mitarbeitenden eingeblendet werden können. Eine AR-basierte Wissensmanagementlösung kann somit die Rolle des begleitenden, erfahrenen Mitarbeitenden einnehmen, der bedarfs- und situationsgerecht Erfahrungswissen zur Verfügung stellt. Aktuelle Lösungsansätze sind in der Regel für spezifische Anwendungsfälle entwickelt, sodass die Übertragbarkeit auf andere Einsatzgebiete wegen des hohen Aufwands zur Erfassung der Inhalte beschränkt ist [SCHNK21].

Ziel des vorliegenden Projektes war die Entwicklung einer modularen AR-Umgebung, die flexibel in unterschiedlichen Produktionsumgebungen eingesetzt werden kann. Damit soll eine bedarfsorientierte und effiziente Aufnahme sowie Weitergabe von Erfahrungswissen ermöglicht werden, um bestehenden Herausforderungen wie dem Wissensverlust durch den demographischen Wandel zu begegnen. Das Projekt wurde von einem interdisziplinären Konsortium durchgeführt, welches sowohl wissenschaftliche als auch industrielle Partner umfasst.

Die **Modell Aachen GmbH** entwickelt sowie vertreibt mit Q.wiki ein webbasiertes und prozessorientiertes Wissensmanagementsystem. Das im Forschungsprojekt entwickelte AR-Wissensmanagementsystem basiert dabei auf dem Aufbau und der Strukturierung von Q.wiki. Somit war die Modell Aachen GmbH für die Konzeption des Systems sowie dessen prozessuale Struktur und organisatorische Verankerung in den betrieblichen Ablauf produzierender Unternehmen verantwortlich. Abschließend erfolgte die Entwicklung eines Vermarktungskonzepts zur Integration des modularen AR-Wissensmanagementsystems in das bestehende Produktportfolio.

Die **oculavis GmbH** bietet anpassbare Remote- und Überwachungslösungen für den Kundenservice unter Einsatz von Augmented Reality-Technologien an. Die Softwareplattform oculavis SHARE ermöglicht die Durchführung individuell konfigurierbarer Remote-Assistance-Prozesse über Smartphones, Tablets und Smart Glasses. Im vorliegenden Forschungsvorhaben entwickelte die oculavis GmbH die AR-Module zur flexiblen Wissensaufnahme und -vermittlung auf Basis bestehender Lösungen der oculavis SHARE Plattform.

Die **i2solutions GmbH** agiert als IT-Dienstleister mit einem interdisziplinären Team. Ihr Kerngeschäft umfasst die Homogenisierung heterogener Datenumgebungen zur einheitlichen Visualisierung und Analyse. Im Forschungsprojekt war die i2solutions GmbH auf technischer Ebene dafür verantwortlich,

Schnittstellen zu den unterschiedlichen Datenquellen bereitzustellen. Die Schnittstellen sollten generisch aufgebaut werden, sodass eine Weiterverwendung in anderen oder ähnlichen Systemkonfigurationen vergleichbarer Unternehmen ermöglicht wird.

Die **Meissner AG** ist spezialisiert auf die Herstellung von Gießereiwerkzeugen, Blasformen sowie Werkzeugen für Fahrzeugauskleidungen. Das Unternehmen konzentrierte sich im vorliegenden Projekt insbesondere auf die prototypische Anwendung und Validierung des AR-basierten Wissensmanagementsystems in der Produktionsumgebung. Zuvor identifizierte die Meissner AG konkrete Anwendungsfälle für das AR-basierte Wissensmanagement, wobei insbesondere Tätigkeiten mit einem hohen Bedarf an Erfahrungswissen relevant waren.

Das **Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University** führt sowohl grundlagenbezogene als auch an den Erfordernissen der Industrie ausgerichtete Forschungsvorhaben in allen Bereichen der Produktionstechnik durch und erarbeitet darüber hinaus praxisgerechte Lösungen zur Rationalisierung der Produktion. Am Forschungsprojekt waren zwei Lehrstühle des WZLs beteiligt, Lehrstuhl für Informations-, Qualitäts- und Sensorsysteme in der Produktion (WZL IQS), ehemals Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau (IMA), und der Lehrstuhl für Produktionssystematik (WZL PS). Im Rahmen des Forschungsprojekts war der Lehrstuhl WZL IQS für die Erarbeitung eines ganzheitlichen lerndidaktischen Konzepts zur mitarbeiterindividuellen AR-Wissensvermittlung verantwortlich. Dabei stand die Individualität der Wissensvermittlung im Vordergrund, die wegen des Wegfalls der direkten Wissensweitergabe durch erfahrene Mitarbeitende zunehmend eingeschränkt ist. Der Lehrstuhl WZL PS erarbeitete im Forschungsprojekt eine Methodik zur Implementierung von AR-basierten Wissensmanagementsystemen in produzierenden Unternehmen. Die Methodik basierte auf einem im DFG-Forschungsvorhaben entwickelten Prozessmodell für systematischen Wissenstransfer und nutzte dabei bestehendes Know-how im Wissensmanagement, insbesondere in der Fertigung und Montage von Werkzeugbaubetrieben. Neben der Erstellung einer Vermarktungsstrategie, stand ebenfalls eine gute Praktikabilität durch die Validierung bei der Meissner AG im Vordergrund.

II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zu Beginn des Vorhabens bestand ein dringender Bedarf, dem Fachkräftemangel und dem steigenden Bedarf an kontextspezifischer Wissensvermittlung am Arbeitsplatz durch neue Innovationsansätze zu begegnen. Die Forschung im Bereich Wissensmanagementsysteme befasste sich mit der Entwicklung von Ansätzen zur modularen Bereitstellung impliziten Erfahrungswissens, besonders in der industriellen Praxis [KERN19, OM19]. Viele existierende Lösungen waren jedoch lediglich Insellösungen, die sich auf spezifische Anwendungsfälle konzentrierten und daher weder modular noch skalierbar waren, um eine flexible Wissensvermittlung im Kontext verschiedener Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes zu gewährleisten.

Die wesentliche Herausforderung bestand darin, Fachkräften kontextspezifische Informationen zum benötigten Zeitpunkt bereitzustellen. Dies erforderte eine modulare Struktur des Wissensmanagementsystems, um die flexible und unternehmensspezifische Anpassung der angewandten Systeme sowie der Inhalte zu ermöglichen. Augmented Reality (AR)-basierte Wissensmanagementsysteme wurden als besonders geeignet erachtet, um implizites Wissen im realen Kontext zu vermitteln. Klassische Systeme konnten dies nur begrenzt [EVER23].

Darüber hinaus mussten die Anforderungen der Produktionstechnik und der Einbeziehung von Wissen über den gesamten Produktentstehungsprozess in die Entwicklung einer ganzheitlichen AR-Umgebung integriert werden um ein nutzerzentriertes, auf die Mitarbeiter ausgerichtetes AR-Wissensmanagementsystem sicherzustellen. Jedoch fehlte es an umfassenden, modularen, nutzerorientierten AR-Lösungen zur flexiblen Wissensvermittlung. Projekte wie Glassroom, Be-IT-Ink, LeARn4Assembly, DigiLernPro und ImmPro befassten sich hauptsächlich mit spezifischen Anwendungsfällen und stellten Insellösungen dar, die meist nur Prototypencharakter besaßen. Einzig DigiLernPro zeigte Ansätze zur Modularität, berücksichtigte jedoch nicht ausreichend die aufwandsarme Erfassung und kontextspezifische Bereitstellung von Wissensinhalten. Bisher entwickelte Ansätze erlauben somit keine flexible Übertragung auf weitere Anwendungsfälle.

Das ImmPro-Projekt, durchgeführt von verschiedenen Partnern wie dem Werkzeugmaschinenlabor (WZL) und dem Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau (IMA) der RWTH Aachen zusammen mit der i2solutions GmbH und der Meissner AG, erforschte den Einsatz von VR- und AR-Technologien in der praxisnahen Hochschulausbildung.

Im Rahmen des ImmPro-Projekt wurden nützliche Erkenntnisse gewonnen. Im Business Process Modeling (BPM) für prozessorientiertes Wissensmanagement liegt der aktuelle Fokus verstärkt auf Kollaboration, Benutzerfreundlichkeit und Analysefähigkeit. Trotz der Vielzahl individueller Komponenten ähneln sich die IT-Systemlandschaften in produzierenden Unternehmen strukturell. Um Projektergebnisse wirtschaftlich übertragbar zu machen, setzt man auf eine entkoppelte Schnittstellenarchitektur und entwickelt Use Cases mithilfe eines „Continuous Integration-Ansatz“. Im Hinblick auf die Lerndidaktik hat deuten einige Studien mit Gamification-Kontext auf diverse Vorteile für Lernende hin, wie eine signifikante Wissenszunahme [WOLF97], erhöhte kognitive Fähigkeiten [VOG06] und ein um 20 % gesteigertes Selbstvertrauen im Hinblick auf Transferleistungen zwischen Ausbildung und Praxis. [SITZ11]

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde das Ziel formuliert, eine ganzheitliche und modulare AR-Wissensmanagementlösung für produzierende Unternehmen zu entwickeln. Das Konsortium wurde durch die Modell Aachen GmbH und die oculavis GmbH ergänzt.

Die Modell Aachen GmbH bietet mit Q.wiki ein webbasiertes, prozessorientiertes Wissensmanagementsystem, das durch die Integration von VR- und AR-Wissenselementen vereinzelt erweitert wurde. Dennoch besitzen die Versuche lediglich Prototypencharakter und sind noch vom Modularem Zielbild entfernt Die oculavis GmbH entwickelte eine innovative Softwareplattform, oculavis SHARE, die konfigurierbare Remote- und Monitoring-Lösungen mittels AR-Brillen ermöglicht und ein Software-Modul zur direkten Aufnahme von Arbeitsabläufen veröffentlicht. oculavis SHARE setzt hierbei einen starken Fokus auf der schnellen Erzeugung von qualitativ hochwertigem Fertigungswissen dienen.

Am WZL der RWTH Aachen stand das Thema Wissensmanagement im Fokus zahlreicher Forschungs- und Industrieprojekte. Im DFG-Forschungsvorhaben „Prozessmodell zum systematischen Wissenstransfer“ wurde ein ganzheitlicher Ansatz für den Wissenstransfer entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses im Werkzeugbau entwickelt, der auch ein Bewertungsmodell zur Wissenskategorisierung sowie ein Rollenkonzept zur Einbindung von Akteuren in Geschäftsprozesse umfasste.

Insgesamt gab der damalige Stand der Wissenschaft und Technik Anlass zur Entwicklung modularer, flexibler AR-Wissensmanagementsysteme, um eine nachhaltige und kontextspezifische Wissensvermittlung für verschiedene industrielle Anwendungen zu ermöglichen.

II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Arbeits-, Zeit- und Kostenplan konnte im Jahr 2024 vollständig eingehalten werden. Der Projektverlauf konnte nach leichten Verschiebungen im Jahr 2022 wieder eingeholt werden. Zur Vertiefung der Ergebnisse und zur Überbrückung der Urlaubszeit in den Monaten Juni und Juli, wurde eine kostenneutrale Projektverlängerung von drei Monaten bis Ende Oktober beantragt. In dieser Zeit wurde die Validierung des Prototypens durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet. Im Verlauf des Projekts konnten verschiedene inhaltliche Lessons Learned gewonnen werden. Zum einen liefern lerndidaktische Theorien zwar wichtige Erkenntnisse, sind aber nur bedingt auf das „Lernen durch Tun“ übertragbar. Zum anderen ist ein „übergeordnetes“ didaktisches Konzept nicht immer sinnvoll - insbesondere dann nicht, wenn es das spezifische Bearbeiten einzelner Anwendungsfälle erschwert. Lerndidaktische Konzepte sollten daher in zukünftigen Projekten eher als laufendes AP formuliert werden, um Anpassungen an neue Erkenntnisse und Individualisierbarkeit der Lerninhalte zu ermöglichen.

Die Zuwendung wurde für die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben in den Arbeitspaketen aufgewendet. Die Ausgaben der Position 0812 wurden für die Tätigkeiten der wissenschaftlichen Mitarbeitenden im Projekt aufgewendet. Diese beinhalten Recherchearbeiten, die Organisation und Durchführung von Workshops, Interviews, verschiedenen Konsortialtreffen, regelmäßigen Abstimmungsterminen sowie die Konzeption und Ausarbeitung der Inhalte in den Arbeitspaketen. Jede dieser Tätigkeiten wurde durch studentische Mitarbeitenden der Position 0822 unterstützt. Dabei lag der Fokus insbesondere auf

den Recherchearbeiten sowie der Auswertung von unterschiedlichen Datensätzen, die bspw. während der Interviews aufgenommen wurden. Die Zuwendungen der Position 0846 wurden nur im geringen Maße abgerufen, da weniger Reiseaufwand als erwartet aufgetreten ist. Mehrere Konsortialtreffen wurden im WZL in Aachen oder bei Modell Aachen durchgeführt. Zudem wurden vermehrt Onlinetermine durchgeführt. Von WZL IQS wurde eine Konferenzreise zur Vorstellung der Inhalte durchgeführt. Die Zuwendungen für Position 0850 wurden nicht abgerufen. Diese waren für den Kauf von AR-Brillen vorgesehen. Die AR-Brillen wurden von den Projektpartnern Modell Aachen und oculavis beschafft, da diese die Softwarelösungen prototypisch, während der Programmierphase, testeten. Folglich war ein Kauf von AR-Brillen für das WZL nicht notwendig.

Im folgenden Kapitel II.4 sind die einzelnen Tätigkeiten in den Arbeitspaketen verbunden mit den direkten Ergebnissen tiefgehend erläutert und dargestellt.

II.4 Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Anforderungsdefinition

Das Projekt startete mit einem Konsortialtreffen bei der Meissner AG mit dem Ziel, den geeignetsten Einsatzbereich entlang der Prozesskette für eine modulare AR-Lernumgebung zu identifizieren. Das vorhandene Wissensmanagement bei der Firma Meissner beinhaltete eine Dokumentation von Arbeitsanweisungen sowie einem Tandem Modell in der Montage. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde der übergeordnete Wissensbedarf für ein anwenderbezogenes Wissensmanagement bei der Meissner AG entlang der Prozesskette identifiziert und entsprechend dem Prozessmodell zum systematischen Wissenstransfers in verschiedene Wissensarten eingeordnet. Die Analyse hat ergeben, dass insbesondere auf dem Shopfloor ein Defizit bei der Vermittlung und Aufnahme von auftragsspezifischem Wissen besteht. Durch einen Austausch mit weiteren Werkzeugbaubetrieben aus der WBA-Community konnte verifiziert werden, dass es sich um ein grundsätzliches Defizit handelt, das nach Aussage der Betriebe zeitnah gelöst werden sollte, um das in der Vergangenheit gesammelte Know-how langfristig zu sichern. Anhand dieser Einordnung wurden für die Ausarbeitung eines AR-basierten Wissensmanagementsystem die Prozesskettenschritte mechanische Fertigung, Montage und Reifmachung ausgewählt. Auf Basis dieser Entscheidung wurden mehrere Interviews mit Mitarbeitenden aus den Bereichen mechanische Fertigung und Montage bei der Firma Meissner durchgeführt, um spezifische Use-Cases zu definieren und Kompetenzen bei den Mitarbeitenden aufzunehmen. Basierend darauf wurden die Bedürfnisse der Mitarbeitenden sowie die grundlegenden Anforderungen an ein AR-basiertes Wissensmanagementsystem erarbeitet. Diese wurden mit weiteren Interviews mit Unternehmen aus der Branche Werkzeugbau unterlegt und konkretisiert. Die zentralen Ergebnisse wurden in einem Lastenheft zusammengefasst, das als Grundlage für die Entwicklung der AR-Lernumgebung in den folgenden Arbeitspaketen diente. Das Lastenheft beinhaltet eine allgemeine Beschreibung des zu entwickelnden Systems mit den Bestandteilen Produktperspektive und Produktfunktionen, in denen die übergreifenden Anforderungen an das System festgehalten sind. Diese werden im zweiten Teil, den spezifischen Anforderungen, durch funktionale Anforderungen, nicht-funktionale Anforderungen, externe Schnittstellen und Anforderungen an die Performance tiefergehend detailliert.

Parallel zur Kategorisierung des Wissens und der Identifikation von Anwendergruppen und Bedürfnissen wurden bereits erste technische Aspekte des späteren Wissensmanagementsystems konkretisiert. Eine erste Implementierung der Software Q.wiki von Modell Aachen bei der Firma Meissner wurde im Verlauf des ersten Arbeitspakets umgesetzt. Dazu wurden aktuelle Prozesse im Meissner Wiki aufgenommen. Zusätzlich dazu wurden verschiedene AR-Brillen für eine Anwendung mit Q.Wiki getestet. Hierzu wurden Schnittstellen zu oculavis Share analysiert und erste Diskussionen zu einer möglichen ortsungebundenen Kommunikation sowie Anwendungsfälle von remote Support anhand von AR-Brillen diskutiert. Darüber hinaus wurden für die AR-Anwendung erste technische Umsetzungen für die Erstellung von 3D-Modellen über mobile Endgeräte als Vorarbeit für Arbeitspaket drei getestet.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 1

WZL-PS übernahm im ersten Arbeitspaket die federführende Rolle. Zu den zentralen Aufgaben des WZLs gehörten die Erfassung von Kompetenzen und Wissen, die Ableitung sowie Strukturierung von Wissenskategorien und die anschließende Erstellung eines Lastenheftes. Zu Beginn des Arbeitspakets koordinierte das WZL den Kick-off bei der Firma Meissner. Zentrale Inhalte dieses Treffens waren das gegenseitige Kennenlernen und die Festlegung der Verantwortlichkeiten für die Projektdurchführung. Unter anderem wurde definiert, welche Medien für die Kommunikation und den Datenaustausch genutzt werden. Zudem wurde festgelegt, dass während der gesamten Projektdurchführung alle zwei Wochen ein Regeltermin stattfinden soll.

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets wurden zunächst die Wissensbedarfe bei der Meissner AG identifiziert und entsprechend dem Prozessmodell zum systematischen Wissenstransfer in verschiedene Wissensarten eingeordnet. In einem Workshop bei der Meissner AG wurden die unterschiedlichen Wissensbedarfe entlang des Auftragsabwicklungsprozesses anhand von User Stories erfasst. Darüber hinaus wurden Prozessschritte identifiziert, bei denen ein modulares AR-Wissensmanagementsystem unterstützend eingesetzt werden kann. Eine zentrale Erkenntnis war, dass insbesondere in der Montage und Fertigung komplexes Wissen erforderlich ist, gleichzeitig jedoch Defizite in der Vermittlung und Aufnahme dieses Wissens bestehen. Die im Workshop erfassten Wissensarten wurden in vier Kategorien unterteilt. Zunächst wurde diskutiert, ob es sich um komplexes oder niedrigkomplexes Wissen handelt. Anschließend wurde eingeschätzt, ob die Erfassung und Vermittlung des Wissens AR-kompatibel sind. Die identifizierten Wissensarten konnten somit in folgende vier Kategorien eingeteilt werden: AR-kompatibel und komplex, AR-kompatibel und niedrigkomplex, AR-inkompatibel und komplex sowie AR-inkompatibel und niedrigkomplex.

Diese Erkenntnisse wurden durch Interviews mit drei weiteren Werkzeugbaubetrieben verifiziert. Ein wesentlicher Fokus lag dabei auf potenziellen Risiken und Chancen durch die Einführung eines AR-Wissensmanagementsystems in der Fertigungsumgebung sowie auf den Anforderungen der Mitarbeitenden. Eine wichtige Anforderung aus den Interviews war, dass die Technologie einfach zu bedienen sein muss, nicht den Arbeitsablauf stören darf, technisch nicht überfordern sollte und nicht zu langatmig sein darf. Nur unter diesen Bedingungen kann eine Akzeptanz bei den Mitarbeitenden erreicht werden. Gleichzeitig müssen Informationen schnell und an den richtigen Stellen bereitgestellt werden; gefordert sind präzise und schnelle Hilfestellungen zur Erledigung oder zum Erlernen von Aufgaben – nicht Vollständigkeit oder umfassendes Wissen. Auf Basis dieser Interviews wurden auch Mitarbeitende der Meissner AG befragt, um deren Einschätzungen zu sammeln. Dabei konnten weitere Anforderungen an das AR-Wissensmanagementsystem ermittelt werden. Ein wichtiger Aspekt war die Handhabung im täglichen Alltag – insbesondere in lauten Arbeitsumgebungen oder bei Sehbeeinträchtigungen. Inhaltlich stellte sich heraus, dass Aufgaben in Schritte unterteilt werden sollten, wobei kritische Punkte sowie mögliche Fehler pro Schritt visualisiert werden müssen. Die Erkenntnisse aus den Interviews sowohl mit Mitarbeitenden der Meissner AG als auch mit anderen Werkzeugbaubetrieben flossen in die Erstellung des Lastenhefts ein. Dieses Lastenheft gliedert sich in drei übergeordnete Kapitel und enthält eine Prinzipskizze zur Nutzung des AR-Wissensmanagementsystems.

Arbeitspaket 2: Definition Lerndidaktisches Konzept

Das Ziel von AP 2 war die Entwicklung eines didaktischen Lernkonzepts unter Berücksichtigung verschiedener Wissensstände und Bedürfnisse von Anwendenden. Die Federführung des Arbeitspaketes lag beim WZL-IQS (ehemals IMA). Die Ausgestaltung des lerndidaktischen Konzeptes sollte dabei nicht nur theoretische Grundlagen und Methoden beinhalten, sondern darüber hinaus kontextspezifische Analysen der Nutzerbedarfe einbeziehen. Für die Realisierung des Arbeitspaketes wurden verschiedene Methoden und Konzepte berücksichtigt. Neben einer eingehenden Literaturanalyse zur Erfassung der didaktisch relevanten theoretischen Grundlagen wurden in Kooperation mit dem WZL-PS und der Firma Meissner AG Interviews zur Bedarfsanalyse sowie Workshops mit Mitarbeitenden durchgeführt.

Auf dieser Basis wurde ein Lernzielkatalog für ausgewählte Szenarien sowie verschiedene Nutzerprofile des Lern- und Wissensmanagementsystems ausgearbeitet. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde das lerndidaktische Konzept iterativ weiterentwickelt und an aktuelle Bedarfe und Gegebenheiten sowie technische Herausforderungen und Spezifika angepasst.

Ergebnisse der Literaturanalyse:

Auf Basis der eingehenden Literaturanalyse mit den Schwerpunktfeldern Gestaltung von Lernarrangements, formelle und informelle Lernprozesse im Betriebskontext, organisationales Lernen und Wissensmanagement, didaktische Gestaltungskonzepte für Augmented Reality/Virtual Reality in Industriekontexten sowie mediendidaktische Modelle wurden folgende theoretische Modelle für die Erarbeitung des didaktischen Konzeptes ausgewählt und für die weitere Ausarbeitung herangezogen:

- Lehr-Lernarrangements nach Kaiser [KAIS07]: Dieses Modell beschreibt, aus welchen Dimensionen und Elementen sich ein Lernprozess zusammensetzt, welches es entsprechend zur Erreichung eines Lernerfolgs auszugestalten und aufeinander abzustimmen gilt
- Novizen-Experten-Modell nach Dreyfus & Dreyfus [DREY80]: Unterscheidung der Fähigkeiten und Bedürfnisse von Lernenden abhängig ihres Kompetenzlevels. In Bezug auf ARLearn wird hieran u.a. herausgestellt, dass Novizen eine ausführlichere Anleitung und eine enge Begleitung (durch das System oder einen Mentor) benötigen.
- Lernzieltaxonomie nach Bloom [BLM73]: Die akkurate Definition von Lernzielen bildet das Fundament für die Ausgestaltung von Lernprozessen, da hierüber Erwartungsansprüche, zu verwendende (Hilfs-) Mittel und Erfolgskriterien definiert werden. Die Arbeit mit Lernzielen und die Unterteilung der Ziele in Grob- und Feinziele war handlungsleitend für die Ausgestaltung der didaktischen Lehr- und Lernumgebung.
- Lernstrategien und erfahrungsbasiertes Lernen nach Winstein & Meyer und Kolb [W&M86] [KOLB14]: Einbezug vielfältiger Methoden und Strategien, welche genutzt und kombiniert werden können, um das gewünschte Lernziel zu erreichen. Bereits hier zeigte sich, dass der Einsatz von Gamification-Elementen im Zusammenhang mit den im Projekt avisierten Anwendungsfällen kritisch zu betrachten ist. Dies sollte im Rahmen der Interviews weiter thematisiert werden.
- SAMR-Modell nach Puentedura [PUENT12]: Dieses Modell hilft dabei zu reflektieren, welche Rolle eine digitale Technologie bei der Neugestaltung des Lernprozesses einnehmen soll – zu welchem Grad ist es Ersatz, funktionale Erweiterung oder Grundlage für eine Neugestaltung von Aufgaben. Es lässt sich zudem mit den Lernzielniveaus der Taxonomie kombinieren, wodurch die Ausgestaltung von Anwendungsfällen auf Basis von Lernzielkatalogen erleichtert wird.

Ergebnisse der Mitarbeiterinterviews und Workshops:

Im Rahmen der Mitarbeiterinterviews wurden Bedürfnisse der Mitarbeitenden, Arbeitssituationen und potenzielle Nutzungs- und Lernszenarien analysiert. Insgesamt wurden acht Mitarbeitende im Rahmen der Anforderungsanalyse befragt. Dabei wurden Mitarbeitende mit unterschiedlichen Erfahrungsstufen aus den Bereichen Gießereiwerkzeuge, mechanische Fertigung und Blasformen befragt. Die Interviews dauerten dabei zwischen 45 und 60 Minuten. Schwerpunkte waren insbesondere die Herausforderungen und Problemstellungen im Arbeitsalltag, sowie die daraus folgenden Implikationen für die Gestaltung möglicher AR-Anwendungsszenarien. Zudem wurden zur Gestaltung eines lerndidaktischen Konzeptes zur Mitarbeiterqualifizierung relevante Kontextinformationen aufgenommen. Die durchgeführten Interviews wurden aufgenommen, transkribiert und anschließend mittels MAXQDA im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2022) ausgewertet. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der 17. Ingenieurpädagogischen Jahrestagung 2023 („Herausforderungen zeitgemäßer Technikbildung im

akademischen und berufsbildenden Sektor. Wege zu technischer Bildung“) an der Technischen Universität Dresden von Christopher Eck vorgestellt und veröffentlicht. Für das didaktische Lernkonzept ließ sich ableiten, dass ein praktischer Mehrwert und Nutzen für die Mitarbeitenden dann entstehen, wenn der Input für das Wissensmanagementsystem aufwandsarm aus den alltäglichen Arbeitsprozessen generiert werden kann. Es sollte daher möglich sein, Wissen direkt am Arbeitsplatz aufzunehmen, bspw. über Bilder, Videos, Anlegen von Prozessabfolgen und schriftlichen Dokumentation, damit diese bei Bedarf im Nachgang am Computer in Ruhe überarbeitet, verfeinert und um weitere Inhalte ergänzt werden können. Wissensmodule sollten sich somit aus alltäglichen Situationen entwickeln lassen, in welchen erfahrene Mitarbeiter Arbeitsprozesse erklären oder, wenn während Videoanrufen unter Verwendung einer AR-Brille Bilder/Screenshots mit Annotationen erstellt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass Mitarbeitende mit dem Wissensmanagementsystem zugleich als Nutzende als auch Autor*innen von Inhalten interagieren. Für eine wirkungsvolle Nutzung des Systems ist es daher erforderlich, die Mitarbeitenden darin zu befähigen, selbst Wissen zu dokumentieren, sodass hieraus für andere nutzbare Lerninhalte entstehen. Die Nutzung von Wissensinhalten am Arbeitsplatz via AR (z.B. mittels Tablet oder AR Brille) beim Anlernen neuer Tätigkeiten sollte sicherstellen, dass notwendige Informationen bereitgestellt werden, ohne dass der Arbeitsprozess dadurch gestört oder die Mitarbeitenden abgelenkt werden.

Im Rahmen der Workshops mit den Mitarbeitenden der Meissner AG wurden die theoretischen Modelle sowie die Erkenntnisse der Bedarfsanalyse als Grundlage für die gemeinsame Erarbeitung von relevanten Lernszenarien und die Ausdifferenzierung eines Lernzielkataloges herangezogen. Hierbei wurden mittels der im Folgenden dargestellten Beispielmatrix (Abb.1) als Leitlinie für das didaktische Konzept für die identifizierten Anwendungsfälle Lernzielkataloge erstellt. Dabei wurden für zwei verschiedene Lernniveaus (erfahren und unerfahren) jeweils mehrere Grob- und Feinziele definiert. Betrachtete Use-Cases waren dabei die Montage von Anbauteilen, das Entgraten von unterschiedlichen Produkten und der Einbau von Luftdüsen. Anschließend wurden die Lernszenarien weiter detailliert, indem für jedes Lernziel der Ablauf des Lernprozesses, die verwendeten Medien und Inhalte, die eingesetzten Methoden, der Lehrende sowie Zeit und Raum festgelegt wurden.

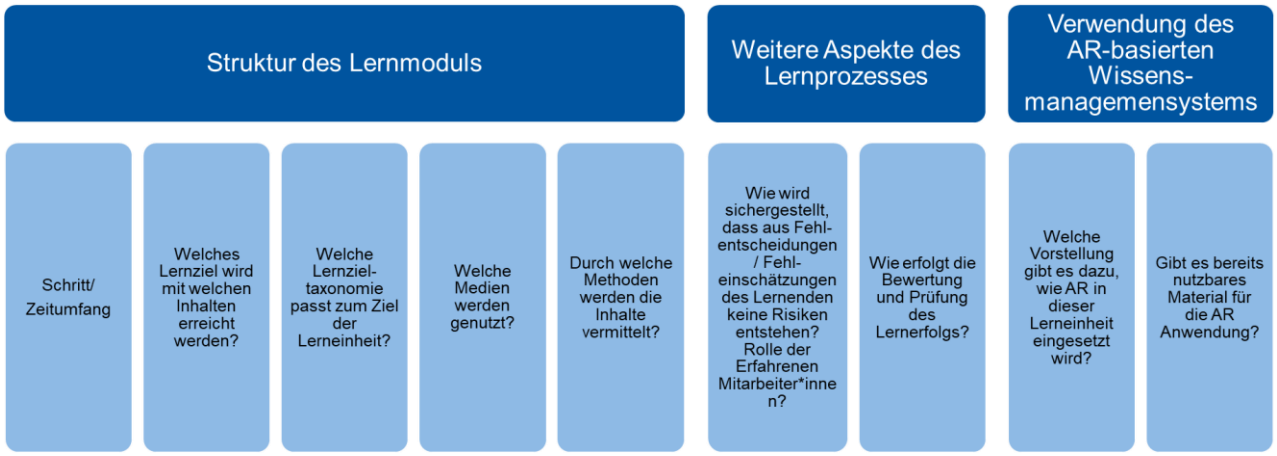

Abbildung 1. Beispielmatrix für die Entwicklung von Lernszenarien für das AR-basierte Wissensmanagement

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 2

Das WZL-IQS übernahm im Rahmen von Arbeitspaket 2 die inhaltliche und methodische Konzeption des didaktischen Lernkonzepts. Ausgehend von einer umfassenden Literaturrecherche zu lerntheoretischen und mediendidaktischen Grundlagen wurden zentrale theoretische Modelle und Konzepte identifiziert, die für die Ausgestaltung der Lernprozesse im industriellen Umfeld als besonders geeignet erschienen. Die Recherche fokussierte sich insbesondere auf die Gestaltung von Lernarrangements, das

Zusammenspiel von formellen und informellen Lernprozessen im Betrieb, organisationales Lernen, den Einsatz digitaler Medien (insb. AR/VR) sowie auf mediendidaktische Modelle. Ein besonderer Fokus lag auf der kritischen Auseinandersetzung mit dem in der ursprünglichen Vorhabensbeschreibung formulierten Forschungsstand. Dieser wurde gezielt mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und den im Projektverlauf ermittelten praktischen Anforderungen abgeglichen, um ein möglichst praxisnahes und gleichzeitig theoriegeleitetes Lernkonzept zu gewährleisten. Dabei wurde deutlich, dass einige ursprünglich als vielversprechend betrachtete Konzepte (z. B. der Einsatz von Gamification-Elementen) differenziert betrachtet werden müssen. So ergaben sich aus den Interviews der Mitarbeitenden Hinweise darauf, dass Rankings oder Punktesysteme unter Umständen zu Fehlanreizen führen könnten – etwa einer Priorisierung von Schnelligkeit gegenüber Sorgfalt bei der Arbeitsausführung. Ein weiteres zentrales Ergebnis der qualitativen Bedarfsanalyse war die Erkenntnis, dass sich der Bedarf an Information oft erst im konkreten Handlungskontext zeigt. Daraus resultiert die Anforderung, dass ein lernförderliches System flexibel auf spontane Informationsbedarfe reagieren können muss. Die Herausforderung besteht daher darin, zwischen technologiegestützter Vorauswahl von Lerninhalten und nutzergesteuerter Entscheidungsautonomie ein ausgewogenes Verhältnis zu finden. Zur internen Konsensbildung und Reflexion dieser Erkenntnisse wurde im April 2023 ein Workshop durchgeführt, bei dem die theoretischen Modelle dem gesamten Projektkonsortium vorgestellt wurden. Ziel war es, ein gemeinsames Verständnis für die didaktischen Grundlagen zu entwickeln und deren Relevanz für die konkrete Ausgestaltung von Lernszenarien zu diskutieren. In diesem Workshop wurden gemeinsam die verschiedenen Lernziele definiert und ausdetailliert,

Das WZL-IQS war darüber hinaus federführend an der iterativen Weiterentwicklung des Lernkonzepts beteiligt. In enger Verzahnung mit den Ergebnissen der Literaturrecherche und den Erkenntnissen aus der Bedarfsanalyse wurden konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet und in das Konzept überführt. Dies umfasste sowohl die Ausgestaltung von Lernzielen als auch Überlegungen zu geeigneten Methoden, Medien und sozialen Arrangements für das Lernen im Arbeitsprozess. Besonders betont wurde hierbei die Bedeutung der aktiven Wissensgenerierung durch die Mitarbeitenden selbst – sowohl als Lernende als auch als Wissensautoren. Abschließend trug das WZL-IQS wesentlich dazu bei, die theoretischen Modelle mit der praktischen Umsetzung zu kombinieren und eine fundierte didaktische Grundlage für die Entwicklung eines lernförderlichen, adaptiven Wissensmanagementsystems im industriellen Kontext zu schaffen.

Das WZL-PS war im Rahmen von Arbeitspaket 2 vorrangig für die Weiterentwicklung und Validierung des didaktischen Konzeptes aus Perspektive der Produktionspraxis verantwortlich. Hierzu zählte insbesondere die Ausgestaltung konkreter Lernszenarien, welche sich an realen Arbeitsprozessen im industriellen Umfeld orientieren. Ein zentraler Beitrag des WZL-PS bestand in der aktiven Mitwirkung an mehreren Workshops zur Entwicklung eines strukturierten Lernzielkatalogs. Diese Workshops wurden gemeinsam mit dem WZL-IQS sowie mit Mitarbeitenden der Meissner AG durchgeführt. Auf Basis der zuvor ermittelten Anforderungen und Use-Cases wurden für zwei unterschiedliche Nutzergruppen – „erfahrene“ und „unerfahrene“ Mitarbeitende – differenzierte Grob- und Feinlernziele formuliert. Die betrachteten Szenarien umfassten unter anderem die Montage von Anbauteilen, das Entgraten von Produkten in variierender Ausführung sowie den Einbau von Luftdüsen. Diese Aufgabenbereiche wurden exemplarisch gewählt, da sie sowohl standardisierte als auch komplexe manuelle Tätigkeiten abbilden und sich somit besonders gut zur Entwicklung technologiegestützter Lernprozesse eignen. Im Anschluss an die Definition der Lernziele wurden unter Beteiligung des WZL-PS Lernszenarien systematisch ausgearbeitet. Dabei wurden – orientiert an den didaktischen Modellen – unter anderem die physischen und zeitlichen Rahmenbedingungen, die eingesetzten digitalen Medien, das methodische Vorgehen (z. B. Demonstration, Beobachtung, angeleitetes Mitmachen) sowie der Rollenwechsel zwischen lernender und lehrender Person definiert. Diese Szenarien wurden im weiteren Projektverlauf iterativ angepasst und in regelmäßigen Konsortialtreffen reflektiert. Ergänzend hierzu wurde vom WZL-PS eine Analyse potenzieller Wissensschnittstellen entlang der Werkzeugbauprozesskette vorgenommen. Ziel war es, systematisch zu identifizieren, an welchen Stellen Wissen besonders effektiv aufgenommen,

dokumentiert und in das Wissensmanagementsystem eingespeist werden kann. Relevante Anknüpfungspunkte wurden insbesondere in den Bereichen mechanische Fertigung und Montage identifiziert. Darüber hinaus wurde vorgeschlagen, bereits im Konstruktionsprozess relevante Informationen zu erfassen und durch geeignete Schnittstellen in das System zu integrieren. Diese vorausschauende Einbindung soll sicherstellen, dass das System nicht nur als Rückblick-Archiv dient, sondern aktiv zur Wissenssicherung und -weitergabe über den gesamten Produktentstehungsprozess hinweg beiträgt.

Arbeitspaket 3: Entwicklung Wissensmanagementsystem

Parallel zu den abschließenden Arbeiten in AP 2 wurde in AP 3 unter Federführung der Modell Aachen GmbH mit der Entwicklung des AR-Wissensmanagementsystems begonnen. Als Rahmenbedingungen wurden zum einen die organisatorischen Voraussetzungen bei der Meissner AG analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass aufgrund des zunehmenden demografischen Wandels insbesondere im Montagebereich explizites und implizites Wissen erhalten und bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden muss. Im Rahmen des Meilensteintreffens konnten zudem verschiedene Visualisierungsmedien (Microsoft Hololens 2, RealWear und Tablet) getestet und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz im Rahmen des AR-Wissensmanagementsystems bewertet werden. Darüber hinaus wurde ein Konzept erarbeitet, wie das Wissen der Mitarbeitenden in Q.wiki aufbereitet und in einer AR-Umgebung dargestellt werden kann (Wissen konsumieren). Dazu wurde Q.wiki als führendes System definiert, aus dem das tabellarisch erfasste Wissen nach oculavis Share in eine Lernkarten-Ansicht konvertiert wird. Die Lernkarten sind für die Darstellung in der AR-Umgebung besonders geeignet und beschreiben die Arbeitsschritte immer mit Bild und Text. Darüber hinaus berücksichtigt das Konzept ebenfalls die Erweiterung von bestehendem Wissen, indem das Wissen aus der AR-Umgebung wieder in das Managementsystem zurückgespielt werden kann (Wissen konservieren). Dafür wurde ebenfalls die Voraussetzung geschaffen, das ergänzende Wissen des Mitarbeiters über die AR-Umgebung in oculavis Share zu erfassen und in das Wissensmanagementsystem Q.wiki zurückzuspielen.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 3

Im Rahmen von Arbeitspaket 3 war das WZL-PS in unterstützender Funktion tätig und trug insbesondere zur Sicherstellung der im Lastenheft definierten Anforderungen bei. Der Schwerpunkt lag auf der Gewährleistung einer intuitiven und praktikablen Wissensaufnahme und -weitergabe im Produktionsumfeld. Hierzu wurde das Zusammenspiel zwischen den relevanten Systemen – Q.wiki und oculavis SHARE – sowie den Interaktionen mit den Werkern analysiert und ausgestaltet. Zusätzlich übernahm das WZL-PS die Aufnahme und Bewertung technischer und organisatorischer Rahmenbedingungen innerhalb des Konsortiums. Im Rahmen eines Meilensteintreffens wurden hierzu verschiedene Technologien, wie z. B. die Microsoft HoloLens 2, durch die Projektpartner getestet und hinsichtlich ihrer Eignung für den produktionsnahen Einsatz evaluiert.

Das WZL-IQS war in AP 3 für die Integration des didaktischen Lernkonzepts in das modulare Wissensmanagementsystem verantwortlich. Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen aus AP 2 wurde das entwickelte Konzept konkret auf zwei praxisrelevante Anwendungsfälle angewendet: das Einschlagen sowie das Anarbeiten von Luftdüsen. Ziel war es, diese Prozesse didaktisch fundiert aufzubereiten und für das AR-Wissensmanagementsystem nutzbar zu machen. Mitte August 2023 fanden dazu erste Vorgespräche mit der Meissner AG statt, in deren Rahmen die Lernprozesse vor Ort gemeinsam mit einem erfahrenen Mitarbeiter durchgespielt wurden. Besonderes Augenmerk lag darauf, diesen Experten gezielt in die lerndidaktischen Überlegungen einzuführen, um eine qualitativ hochwertige und praxisgerechte Wissensvermittlung sicherzustellen. Zur Vorbereitung des Besuchs bei Meissner wurden bestehende Arbeitsanweisungen zu den Tätigkeiten Einschlagen und Anarbeiten von Luftdüsen überarbeitet und präzisiert. Parallel dazu wurde ein Entwurf relevanter Lernziele erstellt. In enger Abstimmung mit dem eingebundenen Mitarbeiter wurden sowohl die fachliche Tiefe als auch die didaktische Umsetzbarkeit reflektiert. Die eigentliche Durchführung vor Ort beinhaltete die schrittweise Erklärung der beiden Tätigkeiten durch den Mitarbeitenden. Diese wurde vom WZL-IQS begleitet, wobei gezielt Rückfragen

gestellt und die Inhalte über verschiedene Medienformate – darunter Kameraaufnahmen, Tablet-Video und AR-Brille – dokumentiert wurden.

Die Auswertung dieses Besuchs lieferte mehrere Erkenntnisse: Erstens konnten wertvolle Hinweise zur Auswahl geeigneter Medien für die Lerninhalte gewonnen werden, beispielsweise in Bezug auf Verständlichkeit, Darstellung von Spezialfällen und Erfolgskriterien. Zweitens wurde die Vollständigkeit und Klarheit der Arbeitsanweisungen überprüft. Drittens konnten auf dieser Grundlage zentrale Lernziele abgeleitet und systematisch in einen Lernzielkatalog für Meissner überführt werden. Abschließend wurde der Lernprozess für die Tätigkeiten Einschlagen und Anarbeiten von Luftdüsen auf Basis dieser Erkenntnisse detailliert ausformuliert.

Arbeitspaket 4: Softwarekonzeption und -entwicklung

Basierend auf den in Arbeitspaket 3 erzielten Meilensteinen wurden in Arbeitspaket 4 unter der Leitung der oculavis GmbH die Module des AR-Wissensmanagementsystems entwickelt und in die bestehende Systemlandschaft integriert. Die in AP 3 erarbeiteten technologischen Rahmenbedingungen, definierten Schnittstellen und didaktischen Grundlagen bildeten dabei die Grundlage für die Realisierung.

Das Zusammenspiel von oculavis SHARE und Q.Wiki wurde durch die von i2solutions entwickelte Middleware realisiert. Diese ermöglicht die Übergabe der Daten aus den Arbeitsanweisungen in Q.wiki an die Workflows in oculavis SHARE und die Rückgabe der Daten aus den Feedbackschritten von oculavis SHARE. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Datensicherheit gelegt. Hier berücksichtigt die Integration das umfassende Rollen- und Rechtekonzept von Q.Wiki und oculavis SHARE, das den Zugriff auf die Daten und deren Verwendung innerhalb des AR-Wissensmanagementsystems regelt. Basierend auf der langjährigen Expertise der i2solutions GmbH im Bereich „Production IT-Security“ wurde die Lösung so konzipiert, dass sie den aktuellen Datenschutzstandards entspricht.

Die Entwicklung erfolgte durchgängig iterativ, wodurch eine regelmäßige Abstimmung zwischen den Projektpartner und das Einbinden von Feedback ermöglicht wurde. Dies förderte eine kontinuierliche Transparenz über den Fortschritt der Modulentwicklung. Q.wiki und SHARE dienen je nach Anwendungsfall der Wissensaufnahme bzw. der -vermittlung. Während Q.wiki das führende System zur Wissensaufnahme ist und zur Bewahrung des Wissens z. B. erfahrener Mitarbeiter eingesetzt wird, dient SHARE der Wissensvermittlung. Aus diesem Grund ist auch eine Synchronisation durch eine Middleware nötig.

Die Praxistauglichkeit und Anwenderorientierung wurden während der gesamten Entwicklung durch die Meissner AG sichergestellt. Als Vertreter der Anwenderperspektive begleitete sie die Modulentwicklung und trug dazu bei, dass die Module an den tatsächlichen Anforderungen und Arbeitsabläufen ausgerichtet sind. Zur Qualitätssicherung wurde ein iterativer Prüfprozess implementiert, bei dem alle Module schrittweise getestet und optimiert wurden. Das WZL unterstützte dabei durch den Einsatz agiler Methoden und stellte sicher, dass die entwickelten Module regelmäßig anwendungsbezogen getestet und angepasst wurden. Darüber hinaus wurden erste Best Practices erfasst und dokumentiert, die über das System abrufbar sind und eine nachhaltige Nutzung ermöglichen.

Am Ende der Entwicklung wurden die Module in die bestehende Softwarearchitektur von oculavis SHARE und Q.wiki integriert. Sie erfüllen die in Arbeitspaket 3 definierten didaktischen und technologischen Anforderungen. Die entwickelten Schnittstellen sind flexibel erweiterbar und ermöglichen einen übertragbaren Einsatz in weiteren Unternehmenskontexten, insbesondere für KMU. Damit ist eine nachhaltige Implementierung des AR-Wissensmanagementsystems gewährleistet.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 4

Das WZL-PS unterstützte bei der agilen Entwicklungsbegleitung zur Ausgestaltung der verschiedenen Lernmodule. Um sicherzustellen, dass das agile Konzept erfolgreich umgesetzt wurde, fanden regelmäßige Abstimmungsrunden statt, in denen die aktuellen Zwischenstände dem Projektkonsortium präsentiert wurden. Diese Treffen dienten nicht nur dazu, den Fortschritt zu validieren, sondern auch um die nächsten Schritte und Funktionen gemeinsam zu definieren.

Ein zentrales Ergebnis dieser Abstimmungen war u. a. die Erkenntnis, dass eine Feedback-Schleife am Ende des Lernprozesses von großer Bedeutung ist. Diese Idee wurde im AR-Wissensmanagementsystem konkret umgesetzt: Die Mitarbeitenden haben die Möglichkeit, am Ende ihrer Lernaktivitäten Bilder und Kommentare zu hinterlassen, um ihre Erfahrungen und Einschätzungen zur durchgeführten Arbeit festzuhalten. Darüber hinaus wurde das Potenzial identifiziert, das 3D-Modell des zu bearbeitenden Bauteils im Rahmen der AR-Anwendung darzustellen. Die eigentliche Umsetzung dieses Punkts erfolgte im anschließenden fünften Arbeitspaket. Zusätzlich übernahm das WZL-PS die Verantwortung für die Überprüfung der Erfüllung Punkte, die im Rahmen vom ersten Arbeitspaket im Lastenheft definiert wurden.

Das WZL-IQS unterstützte die Tätigkeiten des Arbeitspakets durch die Einbringung spezifischer Anforderungen aus dem lerndidaktischen Konzept. Ziel war es, eine anforderungsgerechte Ausgestaltung der Lernmodule zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang wurde besonders darauf geachtet, ob die lerndidaktischen Grundlagen sichergestellt sowie die definierten Lernziele tatsächlich erreicht werden. Ein weiterer Fokus lag auf der Analyse der Wege zur aktiven Wissensgenerierung durch die Mitarbeitenden selbst – sowohl in ihrer Rolle als Lernende als auch als Wissensautoren.

Arbeitspaket 5: Inbetriebnahme der modularen AR-Umgebung

Ziel des Arbeitspaketes 5 war die Umsetzung des Softwarekonzeptes durch entsprechende Softwareentwicklung sowie die Implementierung des Wissensmanagementsystems. Unter der Leitung von i2solutions wurde das modulare Zusammenspiel von Q.wiki und oculavis SHARE erarbeitet und mit der vorhandenen IT-Infrastruktur der Meissner AG verknüpft. Q.wiki wurde bereits früh als führendes System zur Wissensdokumentation definiert. Der Vorteil des Einsatzes von oculavis SHARE liegt hingegen darin, dass keine tabellarische Darstellung erfolgt, sondern dem Werker einzelne Lernblätter im Sichtbereich angezeigt werden, die entsprechend dem individuellen Wissen genutzt werden können. Um das Zusammenspiel der beiden Systeme zu gewährleisten, hat i2Solutions die Software Q.wiki und Oculavis Share über eine Datenbank für den Datentransfer miteinander verbunden. Darüber hinaus wurde nach technischen Lösungen gesucht, um die 3D-Modelle in der AR-Anwendung darstellbar zu machen. Diese Hürde wurde durch die Integration eines externen Converters überwunden, der eigens zu diesem Zweck von i2solutions entwickelt wurde. Sowohl die bidirektionale Schnittstelle als auch die Transferdatenbank konnten im Rahmen des Projektes erstellt, funktional getestet und den Konsortialpartnern zur Verfügung gestellt werden. Die Transferdatenbank von i2solutions ist in dieser Infrastruktur zielführend, da hierüber eine Adaption des Systems auf ähnliche Anwendungsfälle sichergestellt werden, als auch ein relevanter Teil eines Error-Handling und damit der Usability sichergestellt werden kann.

Zusätzlich wurde die notwendige IT- und Hardware-Infrastruktur für die Implementierung des Systems installiert. Die Meissner AG hat das AR-Wissensmanagementsystem erfolgreich in ihre IT- und Software-Infrastruktur im Produktionsbereich integriert. Nach Abschluss der Installation wurde das System gemeinsam in Betrieb genommen. Die oculavis GmbH und die Modell Aachen GmbH begleiteten diesen Prozess und führten gezielte Optimierungen an den Modulen durch.

Die Inbetriebnahme des Systems erfolgte mit exemplarischen Wissensinhalten, die für erste prototypische Anwendungen bereitgestellt wurden. Das WZL und das IMA wählten auf Basis eines lerndidaktischen Konzepts geeignete Inhalte aus, um das System gezielt zu testen und die Effizienz der Wissensvermittlung zu evaluieren.

Der für die Konvertierung der STEP-Dateien in weblesbare Formate notwendige Konverter wurde ebenfalls erfolgreich erstellt, getestet und allen Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt. Dieser Konverter war zum Zeitpunkt des Projektantrags noch nicht vorgesehen, kann aber als zusätzlicher verwertbarer Nutzen aus dem Projekt verbucht werden. In Arbeitspaket 6 konnte die Funktion der Software validiert und damit bestätigt werden. In den Phasen des AP 5 und AP 6 wurde eine darüber hinaus eine detaillierte Analyse der Schnittstelle und der Datenbank auf Standards der IT-Sicherheit durchgeführt und damit eine Minimierung der Bedrohung durch externe und interne Faktoren erreicht.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 5

Das WZL-PS und WZL-IQS waren an der schrittweisen Inbetriebnahme des AR-Wissensmanagementsystems durch die Auswahl und Strukturierung geeigneter Wissensinhalte beteiligt. Im Rahmen dieser Inbetriebnahme wurde beschlossen, den spezifischen Use Case „Lüftdüsen einschlagen“ zu fokussieren. Die relevanten Lernziele sowie die entsprechenden Lerninhalte für diesen Use Case wurden bereits in den vorangegangenen Arbeitspaketen definiert.

Darüber hinaus war dieses Arbeitspaket von einer Vielzahl weiterer agiler Abstimmungen geprägt. In diesen Meetings wurde unter anderem die Darstellung von 3D-Modellen eingehend diskutiert. Hierbei konnte das WZL-PS seine technische Vorerfahrung einbringen und wertvolle Hinweise geben, wie das 3D-Modell am effektivsten im Sichtbereich der Mitarbeitenden präsentiert werden sollte. Die technische Umsetzung selbst erfolgte anschließend durch i2solutions.

Ein bedeutender Meilenstein im Projekt war das Konsortialtreffen am 18. April 2024 bei der Meissner AG, das am Ende des fünften Arbeitspakets stattfand. Bei diesem Treffen hatten die Teilnehmenden die Gelegenheit, die Funktionalitäten des AR-Wissensmanagementsystems aus erster Hand zu testen. Das WZL-PS übernahm hierbei eine koordinierende Rolle und sorgte unter anderem für die Erstellung und Abstimmung einer detaillierten Agenda, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

Im Rahmen des Treffens wurden verschiedene Workflows des ausgewählten Use Cases mit unterschiedlichen AR-Technologien vor Ort durchgespielt. Während dieser praktischen Tests konnten noch offene Punkte identifiziert werden, was zur Entscheidung führte, eine Bugliste zu erstellen. Diese Liste wurde im Anschluss Schritt für Schritt abgearbeitet.

Zusätzlich wurden während des Projekttreffens bereits erste Überlegungen zur Validierung und zum Verwertungsplan angestellt. Diese Konzepte wurden im sechsten Arbeitspaket weiter konkretisiert, um sicherzustellen, dass alle Aspekte der Implementierung gründlich durchdacht sind und sowohl die Qualität als auch die Effizienz des AR-Wissensmanagementsystems gewährleistet werden können.

Arbeitspaket 6: Validierung der modularen AR-Umgebung

Ziele des Arbeitspaketes sechs waren die Durchführung von Tests des Protypens mit Mitarbeitenden aus dem Werkzeugbau, die Validierung und Optimierung des Systems sowie die Entwicklung eines Vermarktungskonzeptes. Die Tests wurden bei der Firma Meissner durchgeführt. Hierfür haben sieben Mitarbeitende mit unterschiedlichen Erfahrungsständen die Arbeitsanweisung „Lüftdüsen einschlagen“ mithilfe des Systems in Kombination mit einer HoloLens durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf den Workflows „Wissen konsumieren“ und „Wissen zurückspielen“. Für die Validierung wurde das Mixed Method Design angewendet. Bei der quantitativen Validierung haben die Probanden im Nachgang an die Validierung eines Fragebogens mithilfe einer 5-stufigen Likert Skala beantwortet. Für die qualitative Validierung wurden während und nach der Experimentdurchführung Interviews durchgeführt. Aus der Validierung der Ergebnisse der Meissner AG zeigt sich, dass das Konzept eine Erleichterung der Arbeit ermöglicht. Komplexe Arbeitsschritte führten teilweise zu einer Überforderung der Mitarbeitenden. Die Probanden sehen aus diesem Grund den Anwendungsfall in der Montage von Baugruppen. Neben der Optimierung von Produktionsprozessen adressiert die modulare AR-Umgebung zur flexiblen Wissensaufnahme & -vermittlung eine weitere zentrale Säule produzierender Unternehmen – die kontinuierliche Aus- und Weiterbildung, durch die das erfahrbare Lernen adressiert wird. Im Rahmen der Validierung erzielte das Konzept gute Ergebnisse für die Vereinfachung des Teilens und der Kommunikation von Wissen. Die Dokumentation und Generierung von Wissen weist zusätzliches Optimierungspotential in Hard- und Software auf. Die technische Beschränkung zeigt sich in der Nutzung der Foto-Funktion und dem Rückfluss der Dokumentation in das Wissensmanagementsystem. Dieser Prozess bedarf einer intuitiven Handhabung für den Mitarbeitenden im Produktionsprozess. Neben der Validierung des Nutzens, Teilens und der Entwicklung von Wissen umfasst der Prozess eine Bewertung der Effektivität und Effizienz des AR-Wissensmanagementsystems. Die Effektivität kennzeichnet sich in der Erprobungsphase besonders durch die Vollständigkeit und Genauigkeit des Systems und wurde mit dem Fazit sehr gut von den Probanden evaluiert. In Bezug auf die Effizienz zeigt sich ein indifferentes Ergebnis. Positiv ist in der Validierung der Materialverbrauch hervorgehoben. Diesem wird von den Mitarbeitenden eine

hohe qualitative Bedeutung zugesprochen. Optimierungspotentiale zeigen sich bei den monetären Ressourcen, da sich bei der verwendeten HoloLens eine problematische Kosten-/Nutzenabwägung zeigt. Der abschließende Validierungsaspekt ist die Zufriedenstellung der Mitarbeitenden. In diesem Bereich erzielt das modulare AR-Wissensmanagementsystem gute Ergebnisse. Die physischen Reaktionen waren eher positiv und die Anwendung führte bei den Probanden zu keiner Frustration oder Stress im Anwendungsprozess. Zusätzlich zeigten die Mitarbeitenden positive emotionale Reaktionen. Die Zufriedenstellung der Mitarbeitenden spricht für eine allgemeine Akzeptanz des Prototyps und für eine Annäherung an das Thema AR im Umfeld des Produktionsprozesses. Das Konzept weist eine gute Usability auf und bietet eine wertvolle Unterstützung im Wissensmanagementprozess. Optimierungspotentiale bestehen im Kosten/Nutzenverhältnis und der AR-Technologie der HoloLens.

Zusammenfassend wird das im Projekt entwickelte AR-basierte Wissensmanagementsystem für den Arbeitsalltag positiv eingeschätzt. Jedoch weist der aktuelle technische Stand der AR-Brillen nur eine geringe Nutzungsmöglichkeit für den Shopfloor auf. Dies resultiert aus der ergonomischen Belastung des Mitarbeitenden durch eine längere Nutzung der Brille sowie aus materieller Sicht instabilen Ausführung von dieser. Als Alternative für die Nutzung einer HoloLens bietet sich die Verwendung eines Tablets an, welches nach aktuellem technischem Standard geeignet für den Shopfloor ist.

Neben der Validierung des Prototyps wurde auch das Vermarktungskonzept festgelegt. Dazu wurden die Produktstrategie auf Basis der Value Proposition sowie die Koordination von Partnerschaften und Ressourcen festgelegt. Im nächsten Schritt wurden die Schritte zur Marktreife definiert. Dazu wurde der zu erreichende Reifegrad definiert, die zu implementierenden Features ausgewählt und die weiteren umzusetzenden Entwicklungsschritte erarbeitet. Darüber hinaus wurde ein Konzept für den Erlösstrom erarbeitet. Schließlich wurden innerhalb des Konsortiums die Kanäle zur wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Verwertung der Forschungsergebnisse und des Systems nach Projektende definiert. Dies beinhaltet die Nutzung diverser Veranstaltungen der einzelnen Projektpartner, die Teilnahme an diversen Messen und Konferenzen sowie weitere Publikationen und Zeitschriftenbeiträge.

Zusammenfassen wurde im Projekt ein AR-basiertes Wissensmanagementsystem entwickelt, das die Stärken von Q.wiki zur Wissensdokumentation mit oculavis SHARE zur AR-gestützten Visualisierung verbindet. Eine eigens entwickelte Middleware von i2solutions ermöglicht die bidirektionale Datenübertragung zwischen beiden Systemen. Ergänzt wird die technische Lösung durch einen Konverter, der 3D-Modelle im .step-Format für AR-Anwendungen aufbereitet. Grundlage der Anwendung bildet ein didaktisch fundiertes Lernkonzept, das unterschiedliche Nutzerbedarfe berücksichtigt und auf etablierten Modellen wie dem Lehr-Lernarrangement, dem Novizen-Experten-Modell und der Lernzieltaxonomie basiert. Die Systemtests zeigten, dass die Lösung insbesondere für Montageaufgaben geeignet ist und die Genauigkeit sowie Vollständigkeit überzeugt. Gleichzeitig wurden bei der Nutzung von AR-Brillen wie der HoloLens ergonomische Einschränkungen festgestellt, weshalb Tablets aktuell als praktikablere Hardwarelösung gelten. Abschließend wurde ein Vermarktungskonzept mit klarer Produktstrategie, Partnerrollen und Erlösmodell entwickelt, um die Ergebnisse des Projekts in der Wirtschaft und Wissenschaft weiter zu entwickeln und zu etablieren.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse des WZLs im Arbeitspaket 6

WZL-PS war hauptverantwortlich für das Arbeitspaket sechs. Dabei war WZL-PS maßgeblich an der Durchführung und Auswertung der Nutzertests mit den Mitarbeitenden der Meissner AG beteiligt. Der Fokus lag hierbei insbesondere auf der praktischen Erprobung der im Projekt entwickelten Lernszenarien sowie der Wissensaufnahme- und Vermittlungsprozesse im realen Produktionsumfeld. Die Tests zielten darauf ab, die Eignung und Effektivität des AR-Wissensmanagementsystems im operativen Einsatz zu validieren. Gemeinsam mit dem WZL-IQS und Modell Aachen wurde hierzu ein Fragebogen sowie ein Leitfaden für die Experteninterviews entwickelt. Der Fragebogen beinhaltet insgesamt 39 Fragen, die mithilfe einer 5-stufigen Likert-Skala beantwortet wurden. Diese wurden bei den Tests mit insgesamt sieben Mitarbeitenden unterschiedlichen Wissensstands erprobt. WZL-PS übernahm gemeinsam mit Modell Aachen hierbei sowohl die inhaltliche Begleitung der Tests als auch die qualitative Beobachtung der Mitarbeitenden bei der Nutzung der Systeme. Auf Basis der gewonnenen Eindrücke konnten Aussagen zur Anforderungsgerechtheit, Akzeptanz und praktischen Umsetzbarkeit abgeleitet

werden. So wurden die Effektivität und Zufriedenstellung des Systems als gut bis sehr gut bewertet. Die Effizienz des Systems wurde von den Mitarbeitenden als indifferent eingeschätzt, da die Kosten für eine Brille und das System im Verhältnis zum erzielen Nutzen aktuell als höher eingestuft wurden. Zudem wurde das System bzw. die Nutzung der AR-Brille als ermüdend und ergonomisch anstrengend eingeschätzt. Die Wissensnutzung und das Teilen von Wissen werden als positiv bewertet. Jedoch waren zwei der Mitarbeitenden bei der simultanen Anwendung von Wissen während der Nutzung der Brille teils überfordert. Dies deutet auf notwendige Anpassung in den Arbeitsbeschreibungen hin. Der Aspekt der Wissensentwicklung wird als negativ eingeordnet, da die aktuelle Handhabung mit der Brille die Aufnahme von Wissen erschwert. Hier ist hardwareseitiger Nachbesserungsbedarf vorhanden. Die Darstellung und Vollständigkeit der Arbeitsanweisungen werden als gut und hilfreich bewertet. Folglich bieten diese eine Unterstützung für den Alltag. Zusammenfassend ergaben die Tests eine gute Nutzbarkeit und Unterstützung des Systems im Wissensmanagement. Jedoch wird die Alltagstauglichkeit aufgrund der hardwareseitigen Einschränkungen in Bezug auf die Fragilität der Brille sowie das entsprechende Kosten-Nutzen Verhältnis als negativ bewertet.

Das WZL-IQS übernahm im Rahmen von Arbeitspaket 6 die methodische Begleitung und wissenschaftliche Validierung des didaktischen Lernkonzepts auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Nutzertests. Ein zentrales Ziel war es, das im Projekt entwickelte Konzept auf seine Praxistauglichkeit zu prüfen und gezielt an spezifische Nutzergruppen, Arbeitskontexte und Lerninhalte anzupassen. Basierend auf dem strukturierten Feedback der Mitarbeitenden der Meissner AG – insbesondere in Bezug auf Usability, Informationszugänglichkeit, Kontextpassung und wahrgenommenen Mehrwert – erfolgte eine differenzierte Analyse der lernförderlichen und hemmenden Faktoren beim Einsatz des AR-Wissensmanagementsystems. Auf Grundlage dieser Rückmeldungen wurde das didaktische Konzept iterativ überarbeitet. Dabei wurden insbesondere der Lernzielkatalog leicht optimiert.

Neben der Validierung wurde federführend vom WZL gemeinsam mit den Projektpartnern der Verwertungsplan bzw. das Vermarktungskonzept entwickelt. Dieses wurde auf Basis des Value Proposition Canvas durchgeführt. Das im Projekt entwickelte AR-basierte Wissensmanagementsystem verfolgt eine Produktstrategie, die auf den zentralen Mehrwert für die Kundschaft ausgerichtet ist. Im Mittelpunkt steht ein modulares und flexibles System, das auf einer bestehenden Wiki-Lösung basiert und so konzipiert ist, dass es den Arbeitsprozess nur geringfügig unterbricht. Die Reduzierung von Nebenzeiten wird durch effizientere Kommunikationswege sowie durch eine einfache Speicherung und Weitergabe von Wissen erreicht. Das System ermöglicht zudem eine mitarbeiterunabhängige Konservierung von Wissen, sichert die Einhaltung von Produktqualitäts- und Prozessstandards und unterstützt eine stetige Verbesserung von Arbeitsabläufen. Ein mögliches Betreibermodell sieht vor, dass das Serverhosting durch Modell Aachen und oculavis übernommen wird. Im Bereich Marketing und Vertrieb wird auf einen engen Kontaktaustausch zwischen oculavis und Modell Aachen gesetzt – beispielsweise durch gemeinsames Auftreten auf Messen, durch Veröffentlichungen sowie durch gegenseitige Schulung der Vertriebsmitarbeitenden. Die Wartung und regelmäßige Updates erfolgen arbeitsteilig entsprechend der jeweiligen Teilsysteme, wobei eine gemeinsame Plattform zur Abstimmung bereitgestellt wird. Die Weiterentwicklung erfolgt ebenfalls getrennt je Teilsystem, unterstützt durch eine projektübergreifende Austauschplattform. Für die Erreichung der Marktreife muss der Demonstrator bestimmte Features und einen gewissen Reifegrad aufweisen, damit er potenziellen Kunden überzeugend vorgestellt werden kann. Dazu zählen ein problemfreier Durchlauf der getesteten Use Cases, ein eventbasierter Synchronisationsmechanismus bei der Neuanlage von Wissen, die Möglichkeit, eigene Videocalls zu Arbeitsanweisungen zu starten, sowie die Darstellung verschiedener Grafik-Layer im AR-Viewer mittels eines Konverters. Technisch liegt der Fokus auf einer nutzerfreundlichen Umsetzung auf Tablets oder AR-Brillen.

Für die tatsächliche Marktreife sind weitere technische Erweiterungen zu berücksichtigen. Hierzu gehören die Bereitstellung interner Endpunkte über die Partner-API „Share“ zur versionsübergreifenden Kompatibilität, eine erweiterte API zum Pushen von Inhalten in Q.wiki, zusätzliche Schaltflächen für Videocalls und Workflows in Q.wiki sowie die Lizenzierung für den CAD-Konverter. Darüber hinaus ist eine tiefere Integration des AR-Viewers in die MR-Share-Applikation erforderlich, inklusive der Nutzung

transparenter 3D-Modelle mit zusätzlichen Informationen und Hinweisen. Ein mögliches zukünftiges Feature ist die Einbindung konkreter Produkte direkt in Share.

Die Umsetzung dieser technischen Anforderungen erfordert spezifische Beiträge der beteiligten Partner. Modell Aachen übernimmt unter anderem die API-Erweiterung, die Abbildung dynamischer Links pro Workflow für Videocalls sowie Verantwortung für das Hosting. Oculavis ist zuständig für die Bereitstellung der internen Endpunkte in der Partner-API sowie für die Integration des Konverters in die MR-Share-Plattform. I2solutions übernimmt die Umstellung und Weiterentwicklung des CAD-Konverters sowie der zugehörigen APIs und entwickelt die eventbasierte Synchronisierung der Wissensinhalte. Die Preisstrategie sieht vor, erste Erfahrungen über einen Testballon mit dem Demonstrator bei ausgewählten Kunden von Modell Aachen und oculavis zu sammeln.

Das WZL unterstützt die Verbreitung durch eigene Kommunikationskanäle und Netzwerke. Mögliche Kommunikationsformate sind unter anderem die WBA-Demowelt, branchenspezifische Messen und Konferenzen, direkte Kundenbesuche, das Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium sowie weitere WZL-Veranstaltungen wie Lehrformate (z. B. „Unternehmensführung und Wandel“) oder Events der WBA, wie das WBA-Jahrestreffen oder projektbezogene Weiterbildungen. Ergänzt wird das Ganze durch Fachveröffentlichungen in einschlägigen Zeitschriften. In Bezug auf das Branding wird das Produkt unter den jeweiligen Marken der beteiligten Partner angeboten. Die Integration des jeweils anderen Systems erfolgt über kostenpflichtige Add-ons. Bei Bedarf kann durch Whitelabeling – insbesondere durch oculavis – eine Lösung bereitgestellt werden, bei der dem Kunden nur ein einheitliches System sichtbar ist.

II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Die **Apple Vision Pro** erschien zu Beginn des Jahres 2024 und stellt eine große Neuerung im Bereich VR bzw. AR dar. Es handelt sich hierbei um eine VR-Brille mit einem sehr guten Passthrough, was sie gleichzeitig als AR-Brille qualifiziert. Sie verfügt über sehr gutes Hand- und Augentracking und hat ein neues Bedienkonzept, bei dem der User einen Button nur ansehen muss und mittels eines Doppeltipps des Daumen- und Zeigefingers in die Luft auswählen kann. Leider ist die Vision Pro für das hier erarbeitete Wissensmanagementsystem uninteressant, da sie Applikationen nicht ermöglicht, Zugriff auf die Kamera zu erlangen (Stand Dezember 2024), und somit viele grundlegende Funktionen, nicht unterstützt.

Die **Spectacles 5** von Snap wurden 2023 vorgestellt und kommen von Snap Inc. (dem Unternehmen hinter Snapchat). Sie sind AR-Brillen, die immersive Erlebnisse bieten und mit einem Gewicht von nur 226 Gramm leichter sind als viele VR-Headsets. Mit vier Kameras ausgestattet, ermöglichen sie nahtloses Hand-Tracking, was für interaktive AR-Erfahrungen ideal ist. Allerdings eignen sich die Spectacles 5 für das Projekt nur eingeschränkt. Die Akkulaufzeit ist mit etwa 45 Minuten ziemlich begrenzt, was für längere Schulungs- oder Arbeitsanwendungen problematisch sein könnte. Außerdem sind sie derzeit vor allem für Entwickler verfügbar und noch nicht wirklich für den breiten Massenmarkt zugänglich.

II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Verwertung der Projektergebnisse können aus zweierlei Blickwinkeln betrachtet werden; zum einen aus der Verwertbarkeit aus wissenschaftlicher Sicht, und zum anderen aus der Verwertbarkeit aus wirtschaftlicher Sicht.

Für die wissenschaftliche Verwertung ist vor allem die Hochschule als Projektpartner verantwortlich. Hier ist es interessant, die Ergebnisse auch aus arbeitswissenschaftlicher Sicht zu evaluieren und mit weiteren Gesprächspartnern, wie in den Kapiteln II.4 und II.7 beschrieben zu diskutieren.

Eine Verwertbarkeit aus wirtschaftlicher Perspektive wurde in einer Reihe von Terminen innerhalb des Konsortiums erörtert. Diese Ergebnisse sind im Kapitel II.4 detailliert beschrieben. Der Nutzen des Projektes liegt hier bei einem vermarktungsfähigen Demonstrator, der von allen Konsortialpartnern an die

jeweiligen Kunden und Interessenten kommuniziert werden kann. Daraus resultiert im Idealfall ein Folgegeschäft, dass durch mehrere Partner wirtschaftlich so weiterverwertet werden kann, dass sich möglichst ein kooperatives Geschäftsmodell für die Konsortialpartner ergeben wird. Dieser Mehrwert kann vor allem dadurch entstehen, dass durch die kooperative Nutzung der verschiedenen Applikationen synergetische Mehrwerte für einen potenziellen Kundenkreis auftreten.

Neben dieser direkten Weiterverwertung entsteht auch ein Nutzen durch die prototypische Architektur. Für strukturell ähnliche Anwendungsfälle ist eine Adaption des Demonstrators mit einem geringen Anpassungsaufwand realisierbar.

II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes

Neben der Zusammenarbeit innerhalb des Projektkonsortiums fand im Projektverlauf ein reger Erfahrungsaustausch mit anderen Einrichtungen statt. So wurde im Rahmen des ersten Arbeitspaketes in der Branche Werkzeugbau sondiert, welche Unternehmen bereits über fortgeschrittene Ansätze im Bereich Augmented Reality oder Wissensmanagement verfügen. Ein Unternehmen, das u. a. durch eine eigenständige AR-Abteilung als führend in der Branche gilt, ist die ZF Friedrichshafen AG. Im Rahmen des durchgeführten Interviews konnten die Ansätze von ZF mit den eigenen Ideen verglichen und so ein Erfahrungsaustausch durchgeführt werden. Im weiteren Projektverlauf wurde nicht nur der Kontakt zu ZF gehalten, sondern auch zu anderen Unternehmen der Branche wie bspw. der Firma Siebenwurst aufgebaut. Das Forschungsprojekt ARLearn wurde im Rahmen von Konsortialprojekten mit bis zu fünfzehn Unternehmen zum Thema Wissensmanagement mehrfach vorgestellt und inhaltlich diskutiert. Dabei wurden die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Leitfadens für die allgemeine Implementierung eines Wissensmanagements auf dem Shopfloor genutzt. Im Gegenzug wurde aus den Konsortialprojekten Inhalte, wie bspw. Anforderungen an ein Wissensmanagement in das Forschungsprojekt einbezogen. Zudem wurden die Ergebnisse von ARLearn mehrfach in den Konsortialprojekten mit den Unternehmen diskutiert und Nutzungspotenziale evaluiert. Nicht zuletzt wurde durch die kontinuierliche Teilnahme an mehreren Vernetzungstreffen des PTKA und die dortige Vorstellung von Zwischenergebnissen der Austausch mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen gesucht.

II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.

Die Modell Aachen GmbH und das WZL haben den Projektfortschritt regelmäßig bei den Vernetzungstreffen am KIT in Karlsruhe vorgestellt und die Möglichkeiten zum Austausch mit anderen Projekten aktiv genutzt. Die Modell Aachen GmbH plant darüber hinaus eine Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, bei der die gesammelten Erkenntnisse von Wissensmanagementsystemen in der Montage dargelegt werden. Vom WZL wurde 2023 eine Veröffentlichung in der Zeitschrift Form+Werkzeug mit dem Titel „ARLearn – Nutzung eines modularen Wissensmanagementsystem entlang der Prozesskette“ verfasst und veröffentlicht. Zudem hat das WZL-IQS Zwischenergebnisse im Rahmen der 17. Ingenieurpädagogischen Jahrestagung 2023 („Herausforderungen zeitgemäßer Technikbildung im akademischen und berufsbildenden Sektor. Wege zu technischer Bildung“) an der Technischen Universität Dresden vorgestellt und veröffentlicht. Des Weiteren ist mit Abschluss des Projektes eine weitere wissenschaftliche Veröffentlichung geplant, bei der die gesammelten Ergebnisse des Projektes veröffentlicht werden. Das WZL hat im Zuge des WBA-Jahrestreffens und verschiedenen Konsortialtreffen der WBA Auszüge und Zwischenergebnisse aus dem Projekt vorgestellt und mit Unternehmen diskutiert. Die Ergebnisse sollen zudem in die Vorlesung Unternehmensführung und Wandel des WZLs inkludiert werden.

II.9 Literaturverzeichnis

[ARTS22] ARTS HR Lovers (Hrsg.) (2021): Wissensmanagement: Die Kompetenzen der Zukunft bilden

[BLM1973] Bloom, B. (1973): Die Lernzieltaxiome

[BMBF24] Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2024): Bildung in Deutschland 2024, S. 11

[DIHK24] Deutsche Industrie und Handelskammer (Hrsg.) (2024): Fachkräftereport 2024/2025, S. 5-10

[DREY80] Dreyfus & Dreyfus (1980): Die Stufen der Kompetenzbildung, S. 41

[EVER23] Eversberg, L.; Lambrecht, J. (2023): Evaluating digital work instructions with augmented reality versus paper-based documents for manual, object-specific repair tasks in a casestudy with experienced workers, S. 1

[HBL23] Handelsblatt (Hrsg.) (2023): Zwei Millionen stellen in Deutschland bleiben unbesetzt

[HÖHN09] Höhn, R. (2009): Vorgehensmodell zur Implementierung der wissenschaffenden Organisation nach Nonaka & Takeuchi, S. 3-6

[IHK15] Industrie- und Handelskammern Rhein-Neckar (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Perspektiven für Unternehmen der Metropolregion Rhein-Neckar, S. 4

[KAIS07] Kaiser, A. (2007): Didaktische und methodische Planung von Kursen: Erstellen einer Strukturplanung

[KERN19] Kern, E.-M.; Müller, J. C. (2019): Digitales Wissensmanagement oder die Frage: Kann Wissen online gemanagt werden?, S. 11

[KOLB14] Kolb, D. (2014): Theorie des Erfahrungslernens

[LAUKE21] Laukemann, A. (2021): Produktentwicklungsspezifisches Wissensmanagement-Verfahren für kleine und mittlere Unternehmen, S. 21

[NORTH16] North, K. (2016): Wissensorientierte Unternehmensführung, S. 161-204

[OM19] Offensive Mittelstand (Hrsg.) (2019): Umsetzungshilfe Arbeit 4.0, S. 130

[PUENT12] Puentedura, R. (2012): The SAMR Model: Six Exemplars

[SCHNK21] Schenk, J.; Kurik, J.; Gelberg, J. (2021): Wissensmanagement in virtuellen Welten: Wissensgenerierung in Virtual Reality-Umgebungen, S. 170

[SITZ11] Sitzmann, T. (2011): A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. In: Personnel Psychology, S. 489–528

[VOG06] Vogel, J. J.; Vogel, D. S.; Cannon-Bowers, J.; Bowers, C. A.; Muse, K.; Wright, M. (2006): Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. In: Journal of Educational Computing Research, S. 229–243

[WOLF97] Wolfe, J. (1997): The effectiveness of business games in strategic management course work, Simulation & Gaming, S. 360–376

[W&M86] Weinstein, C.; Mayer, R. (1986): The Teaching of Learning Strategies, S. 315-327