

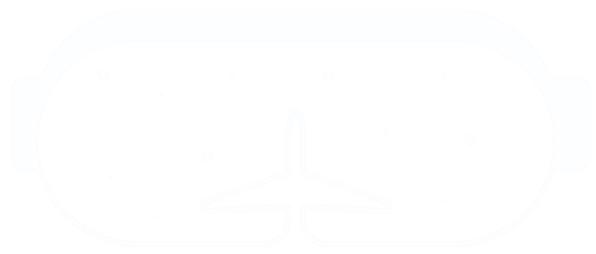


areola

Bericht über den Vergleich von Extended Reality (xR) und praktischen Trainings-Methoden



Finanziert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die des Autors/der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können für diese verantwortlich gemacht werden.



areola

Revision	Datum	Autor / Organisation	Beschreibung
1 st	20.12.2023	FA	Autor
2 nd	26.02.2024	Alle	
3 rd			

Inhalt

1. Vorwort	3
2. Hands-on (traditionelle) Methode für praktisches Lernen	4
3. Einsatz von Extended Reality in der Aus- und Weiterbildung	5
3.1 Einsatz von XR in der Ausbildung zur Additiven Fertigung	6
3.1.1 Die Vorteile der Verwendung von XR-Werkzeugen für Training in der Additiven Fertigung .	7
3.1.2 Die Grenzen der Verwendung von XR-Werkzeugen für Training in der Additiven Fertigung.	8
4. Methode	9
4.1 Anwendungsfälle	9
4.2 Gestaltung des Pilotkurses	12
4.3 Instrumente	14
4.4 Teilnehmer	15
4.5 Datenanalyse	16
5. Ergebnisse	16
5.1 Erfolgsquote zwischen praktischer und XR-Methode	16
5.2 Die Unterschiede zwischen der Hands-on-Methode und der XR-Methode bei der Bewertung	17
5.3 Die Unterschiede zwischen XR-Feedback-Score und Alter	17
5.4 Die Unterschiede zwischen der XR-Feedback-Bewertung und der früheren Verwendung von XR	18
5.5 Meinung der Teilnehmer zu den verwendeten Schulungsmethoden	19
5.5.1 Vorteile der praktischen Ausbildungsmethode	19
5.5.2 Vorteile der XR-Methode	19
5.5.3 Einschränkungen bei der Anwendung der Methode der praktischen Ausbildung	20
5.5.4 Einschränkungen bei der Anwendung der XR-Methode	21
5.6 Einsatz der XR-Methode als ergänzendes Instrument	21
5.7 Feedback der Ausbilder zum Vergleich von praktischen Übungen und der Verwendung von XR-Tools	23
5.8 Ergebnisse der virtuellen Runden Tische	25
6. Diskussion	26
7. Schlussfolgerung	29
8. Referenzen	31

1. Vorwort

Das Projekt AREOLA ist Teil des Programms Erasmus+ und umfasst ein Konsortium von Organisationen, nämlich EOS, EWF, FA, IDONIAL, LZH Laser Akademie (LAK), MakeReal und MTC (in alphabetischer Reihenfolge). Eines der Ziele des Projekts ist die Entwicklung von Bildungsmaterialien, die digitale Technologien nutzen, um die Berufsausbildung im Bereich der additiven Fertigung zu verbessern.

Das Aufkommen der Covid-19-Pandemie hat die Online-Bildung und die Integration verschiedener digitaler Technologien in die Bildung gefördert. Dies hat die Bedeutung innovativerer Bildungsmethoden anstelle der traditionellen Bildungsmethoden erhöht. Da der technologische Fortschritt die Landschaft der allgemeinen und beruflichen Bildung weiterhin umgestaltet, sind verschiedene Methoden entstanden, um die Lernerfahrung zu verbessern. Als Reaktion auf diesen Wandel und um die Berufsbildung attraktiver und zeitgemäßer zu gestalten, hat sich das AREOLA-Projekt der Entwicklung digitaler Bildungsinhalte verschrieben. Das Projekt geht jedoch über die bloße Erstellung digitaler Inhalte hinaus und untersucht auch die pädagogischen Auswirkungen des Einsatzes dieser Technologien.

Um dies zu erreichen, wurden im Rahmen des Projekts Materialien für die theoretische Ausbildung für den Online-Einsatz und Extended Reality (XR) Materialien für die praktische Ausbildung entwickelt. Diese Materialien wurden auch im Rahmen von Pilotprojekten im Projekt Ergebnis 4 getestet.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse von Pilotstudien vorgestellt, die eine vergleichende Analyse zwischen der praktischen Ausbildung vor Ort und dem Lernen durch den Einsatz von XR-Werkzeugen beinhalteten. Der Schwerpunkt lag auf der Frage, wie sich diese Ansätze auf die Lernenden auswirken und zum Erreichen von Bildungsergebnissen beitragen. In diesem Bericht werden zwei unterschiedliche Lehrmethoden verglichen: Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR), in diesem Bericht auch als Extended Reality (XR) bezeichnet, und praktische (traditionelle) Methoden. Jede Methode hat einzigartige Vorteile und Einschränkungen, die sich auf ihre Effektivität bei der Vermittlung von Bildungsinhalten und der Entwicklung von Fähigkeiten auswirken. Die Ergebnisse dieser Studie tragen zu unserem Verständnis darüber bei, wie sich XR-Tools auf die berufliche Bildung und insbesondere auf die Ausbildung von PBF-LB-Bedienern im Luft- und Raumfahrtsektor auswirken. Dieser Bericht richtet sich an ein breit gefächertes Publikum, darunter Berufsbildungsanbieter, Berufsbildungsausbilder, Forscher auf dem Gebiet

der Bildungstechnologie sowie Ausbilder und Schulungsentwickler im Luft- und Raumfahrtsektor und in anderen Branchen, die die additive Fertigungstechnologie nutzen.

2. Hands-on (traditionelle) Methode für praktisches Lernen

Die Schulung von Mitarbeitern ist für praktisch alle Unternehmen von großer Bedeutung, unabhängig davon, ob sie neue Mitarbeiter einstellen oder ihre bestehenden Mitarbeiter weiterbilden, um die allgemeine betriebliche Effizienz zu steigern. Dies gilt insbesondere für Branchen, die mit hochkomplexen Prozessen arbeiten und erhebliche Risiken bergen. Praktische Schulungen sind ein integraler Bestandteil dieser Programme, da sie es den Mitarbeitern ermöglichen, wertvolle Erfahrungen in realen Szenarien zu sammeln [9]. Sie hat jedoch ihre eigenen Grenzen. Erstens kann die praktische Ausbildung ressourcenintensiv sein und erhebliche finanzielle Investitionen in Ausrüstung, Einrichtungen und qualifizierte Ausbilder erfordern. Dieses finanzielle Engagement kann das Budget eines Unternehmens belasten, so dass die Suche nach kostengünstigen Alternativen unumgänglich ist.

Außerdem darf der mit der praktischen Ausbildung verbundene Risikofaktor nicht unterschätzt werden. In Branchen mit risikoreichen Tätigkeiten kann die Durchführung praktischer Schulungen die Mitarbeiter potenziell gefährlichen Situationen aussetzen. Dies erfordert die Umsetzung strenger Sicherheitsprotokolle und -maßnahmen, um diese Risiken zu mindern, was den Schulungsprozess zusätzlich kompliziert und teuer macht. Darüber hinaus kann die praktische Ausbildung die komplizierte interne Struktur und die Betriebsabläufe komplexer Maschinen und Systeme nicht vollständig vermitteln.

Auch die logistische Unterstützung stellt bei der praktischen Ausbildung eine Herausforderung dar. Die Koordinierung der Verfügbarkeit von Ausrüstung, Einrichtungen und Ausbildern mit den Zeitplänen der Mitarbeiter kann ein logistisches Rätsel sein, das oft eine sorgfältige Planung und Koordination erfordert. Verzögerungen oder Schwierigkeiten in diesem Prozess können den Ausbildungsplan stören und die Produktivität beeinträchtigen.

In solchen Bereichen werden kosteneffiziente Schulungsprogramme dringend benötigt, da sie dem doppelten Zweck dienen, die mit der Schulung verbundenen Risiken zu verringern, die Schulungsergebnisse zu verbessern und gleichzeitig die Schulungskosten zu senken. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, können moderne Technologien als alternative Lösung

angeboten werden, wobei XR in Betracht gezogen werden könnte, um die Schulungsanforderungen zu erfüllen

3. Einsatz von Extended Reality in der Aus- und Weiterbildung

Extended Reality (XR) ist ein Begriff, der verschiedene Technologien umfasst, die die Realität verändern, indem sie der physischen oder realen Umgebung digitale Elemente hinzufügen. Einige Beispiele für XR sind Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR). XR kann für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, z. B. in der Unterhaltung, im Militär, in der Ausbildung im Gesundheitswesen und in der industriellen Ausbildung in der Fertigung. XR kann immersive und fesselnde Erlebnisse schaffen, bei denen die Benutzer in Echtzeit mit computergenerierten Elementen interagieren können [1]. Wenn diese Technologien mit speziellen Headsets, Brillen oder Displays verwendet werden, können virtuelle und digitale 3D-Elemente mit Hilfe von Hologrammen in die Umgebung des Nutzers eingefügt werden.

Die Nutzung von XR-Systemen breitet sich heute in verschiedenen Bereichen aus, darunter soziale Medien, Gesundheitswesen, Unterhaltung, Tourismus und Bildung. Die Fähigkeit der XR-Technologie, verschiedene Umgebungen zu simulieren, wird zunehmend im Bildungsbereich eingesetzt. Sie entwickelt sich zu einer der am weitesten verbreiteten Schulungsmethoden, da sie risikoreiche Schulungen durch Simulation weniger riskant macht, die mit logistisch anspruchsvollen Schulungsprogrammen verbundenen Kosten durch virtuelle Umgebungen reduziert und das Verständnis abstrakter Konzepte durch simulierte Erfahrungen verbessert [2].

Ein weiterer Grund für den Einsatz von XR-Systemen im Bildungsbereich ist das höhere Maß an Interaktion, das sie bieten. Dank haptischer Handschuhe und tragbarer Sensoren ermöglichen XR-Systeme den Nutzern, einen Tastsinn und andere Empfindungen zu erleben. Diese Fähigkeit überbrückt effektiv die Kluft zwischen der realen Welt und der virtuellen Umgebung. Die folgende Abbildung erläutert die wichtigsten Komponenten eines XR-Systems und zeigt die Interaktion zwischen Benutzer und Geräten.

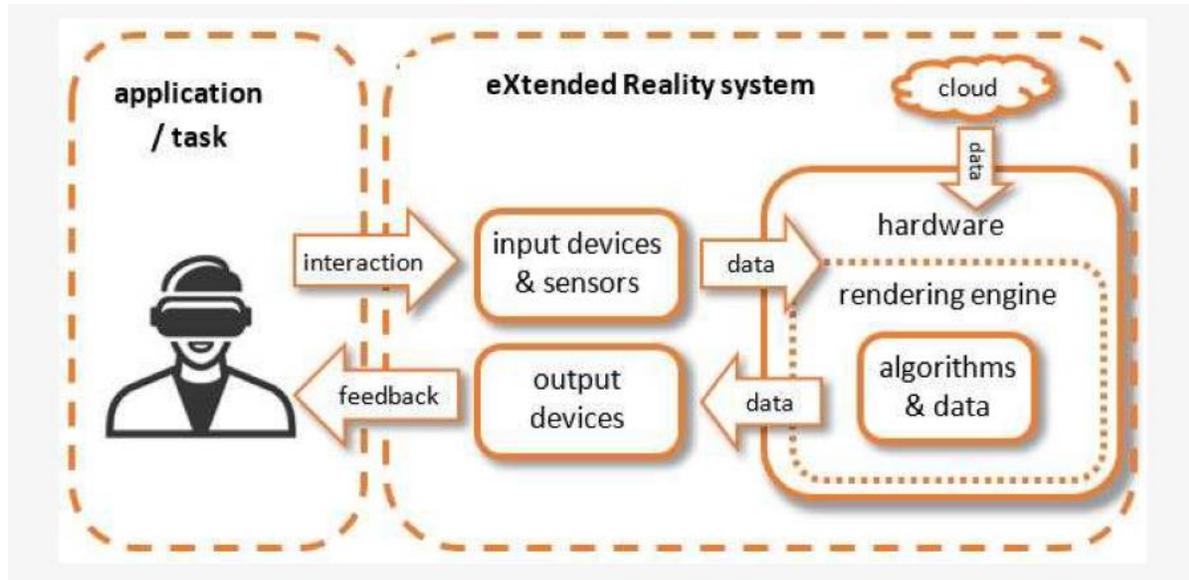


Abbildung 1. Der Arbeitsablauf des XR-Systems [12]

3.1 Einsatz von XR in der Ausbildung zur Additiven Fertigung

Die additive Fertigung (AM), gemeinhin als 3D-Druck bekannt, hat die Herstellung von Objekten und Produkten revolutioniert. Von der Luft- und Raumfahrt bis zum Gesundheitswesen hat diese Technologie in verschiedenen Branchen Anwendung gefunden. Um das volle Potenzial der additiven Fertigung auszuschöpfen, sind jedoch qualifizierte Arbeitskräfte erforderlich. Um dies zu erreichen, spielt die Ausbildung eine entscheidende Rolle. Ein innovativer Ansatz zur Verbesserung der Effektivität von AM-Schulungen ist die Einbeziehung von Extended Reality (XR)-Technologien, die Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) kombinieren, um immersive, interaktive und ansprechende Schulungserfahrungen zu bieten [10].

XR-Systeme werden in der AM-Ausbildung bevorzugt, da diese Technologien es uns ermöglichen, immersive Lernumgebungen zu schaffen, realistische Simulationen zu entwerfen, interaktives Training anzubieten, leicht anzupassen und zu adaptieren und schließlich Ferntraining und Zusammenarbeit zu ermöglichen. Darüber hinaus überbrücken sie die Lücke zwischen Theorie und Praxis und bieten den Auszubildenden eine risikofreie Umgebung, um ihre AM-Fähigkeiten zu entwickeln. Da die Technologie immer weiter fortschreitet, wird die Rolle von XR in der AM-Schulung nur noch wachsen. Sie macht die AM-Ausbildung zugänglicher,

kosteneffektiver und anpassungsfähiger an die sich entwickelnden Bedürfnisse der Industrie. Durch die Einbeziehung von XR kann der Sektor der additiven Fertigung für gut ausgebildete Arbeitskräfte sorgen, die in der Lage sind, das volle Potenzial dieser revolutionären Technologie auszuschöpfen [7]

3.1.1 Die Vorteile der Verwendung von XR-Werkzeugen für Training in der Additiven Fertigung

Die XR-Technologie wird bereits in verschiedenen Branchen wie der Luft- und Raumfahrt und der Fertigung für die Schulung und Entwicklung von Mitarbeitern eingesetzt. Hier sind einige Vorteile des Einsatzes von XR-Technologien in der additiven Fertigung:

1- Simulation von realen Arbeitsumgebungen: XR-Technologien schaffen virtuelle Umgebungen, die reale Erfahrungen nachbilden und es Unternehmen ermöglichen, die Fähigkeiten ihrer Mitarbeiter durch simulierte Schulungen zu verbessern. Auf diese Weise können die Mitarbeiter Aufgaben wie das Steuern von Flugzeugen, einschließlich Starts und Landungen, in einer virtuellen Umgebung üben, bevor sie sich in die reale Welt begeben [3].

2- Schaffung sicherer Umgebungen: XR-Technologien bieten eine sichere Lernumgebung, in der die Auszubildenden aus ihren Fehlern lernen können, wodurch potenzielle Risiken minimiert werden. So können Techniker beispielsweise die Bedienung von Hochspannungsschaltern üben, ohne sich dabei einer realen Gefahr auszusetzen [3].

3- Kostenersparnis: XR-Technologien senken die Ausbildungskosten, indem sie die Kosten für Schulungsausrüstung und physische Umgebungen reduzieren. So ist beispielsweise die Schulung von Mitarbeitern in der Reparatur von Flugzeugtriebwerken durch virtuelle Realität kosteneffizienter als der Einsatz von echtem Fluggerät für den gleichen Zweck [3].

4- Lernenden helfen, konzentriert zu bleiben: XR hält die Konzentration der Lernenden aufrecht, indem es sie von Ablenkungen in der realen Welt isoliert. Dies führt zu einer längeren Aufmerksamkeitsspanne und ermöglicht eine schnellere Aufnahme und Aneignung von neuem Wissen [5].

5- Verringerung der Ausfallzeiten der Anlagen: XR ermöglicht es den Unternehmen, ihre Produktionstätigkeit ohne Unterbrechungen fortzusetzen und verhindert so Ertragseinbußen aufgrund von Schulungsmaßnahmen. [6]

6- Anleitung in Echtzeit: Die XR-Technologie bietet den Mitarbeitern in der Produktion ein unmittelbares Feedback und spart so Zeit, da sie nicht immer wieder auf Schulungsunterlagen zurückgreifen oder sich von den Vorgesetzten beraten lassen müssen. Diese Unterstützung in Echtzeit reduziert den Zeitaufwand für die Bewältigung von Problemen in der Produktion erheblich.

3.1.2 Die Grenzen der Verwendung von XR-Werkzeugen für Training in der Additiven Fertigung

Während XR-Werkzeuge zahlreiche Vorteile für die Ausbildung in der Additiven Fertigung (AM) bieten, gibt es auch einige Nachteile und Herausforderungen im Zusammenhang mit ihrer Verwendung. Es ist wichtig, sich dieser potenziellen Nachteile bewusst zu sein:

- 1- Kosten: Die Entwicklung und der Einsatz von XR-Tools in einer 3D-Umgebung sowie die laufende Wartung und Softwareaktualisierung können sehr kostspielig sein [3]. Darüber hinaus schränken die hohen Kosten für die Hardware den Zugang zu diesen Technologien weiter ein und machen sie für ein breiteres Publikum unzugänglich [8].
- 2- Technische Schwierigkeiten: Die XR-Technologie ist relativ neu und daher kann der Implementierungsprozess auf technische Schwierigkeiten stoßen. Diese Probleme können zu Verzögerungen bei der Ausbildung führen und möglicherweise die Gesamteffektivität des Ausbildungsprogramms verringern [7].
- 3- Fehlen einer persönlichen Interaktion: Die XR-Schulung ist zwar immersiv, aber es fehlt die persönliche Interaktion, die traditionelle Schulungsmethoden bieten. Dies kann ein Nachteil für Auszubildende sein, die die persönliche Interaktion mit Ausbildern und Kollegen schätzen [3].
- 4- Reisekrankheit: Die Verwendung von XR-Technologie kann bei bestimmten Teilnehmern Reisekrankheit auslösen, was die Gesamtwirksamkeit des Schulungsprogramms beeinträchtigen kann [7].
- 5- Mangelnde Anpassungsfähigkeit: XR-basierte Schulungen bieten oft nicht die Flexibilität traditioneller Schulungen, bei denen die Mitarbeiter aktiv Vorschläge einbringen und Fragen stellen können. XR-Programme können weniger an individuelle Wünsche angepasst werden und schränken die Lernmöglichkeiten der Teilnehmer ein, da sie durch vordefinierte Software eingeschränkt sind.

4. Methode

Entsprechend den Zielen dieses Projektergebnisses organisierten die Partner des AREOLA-Projekts eine praktische Schulung, um die XR-Tools in die Schulungsumgebung zu integrieren und die XR- und die praktische Methode zu vergleichen. Die in dieser Arbeit verwendeten XR-Tools wurden im Rahmen des AREOLA-Projekts entwickelt.

4.1 Anwendungsfälle

Um geeignete Anwendungsfälle der Additiven Fertigung für die Entwicklung von XR-Werkzeugen zu ermitteln, wurde eine gründliche Überprüfung der praktischen Vorgänge durchgeführt, die Bestandteil der PBF-LB-Qualifikation sind. Der Auswahlprozess umfasste die Bewertung der zehn vielversprechendsten Anwendungsfälle anhand einer umfassenden Matrix, die den Bedarf der Industrie, die Kompatibilität mit XR-Schulungswerkzeugen und den Gesamtwert für Berufsbildungszentren und Schüler berücksichtigte.

Die Matrix umfasste verschiedene Kriterien, die kategorisiert wurden, um jeden potenziellen Anwendungsfall, der im EWF-Leitfaden für den "International Metal AM Operator - Powderbed Fusion – Laser Beam" beschrieben ist, effektiv zu bewerten. Zu diesen Kriterien gehörten:

- **Knock-out-Kriterien:** Wesentliche Bedingungen für die erfolgreiche Umwandlung analoger Inhalte in XR, wobei Faktoren wie die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit genauer 3D/CAD-Daten im Vordergrund stehen.
- **Klassifizierung von Anwendungsfällen:** In Anbetracht der Fähigkeit von XR, 3D-Animationen zu erstellen, wurde in dieser Kategorie die Praktikabilität der Implementierung von XR-Inhalten für praktische Anwendungen oder Schulungen mit Schwerpunkt auf manuellen Schritten gegenüber theoretischen Inhalten bewertet.
- **Business Case:** Neben der technischen Machbarkeit wurden bei diesem Kriterium auch die mit jedem Anwendungsfall verbundenen geschäftlichen Aspekte und Auswirkungen untersucht.
- **Risikobewertung:** Bewertung des Potenzials, potenziell gefährliche Inhalte in XR-Schulungen sicher darzustellen, um sowohl die Schulungsteilnehmer als auch die Ausrüstung zu schützen.

- **XR-bezogen:** Diese Kategorie stützt sich auf Erfahrungswerte und berücksichtigt Aspekte, die weniger auf harten Fakten beruhen, ähnlich wie der Abschnitt "Business Case".

Der Auswahlprozess beinhaltete auch eine gründliche Untersuchung der Art und Weise, wie diese praktischen Operationen derzeit gelehrt werden, einschließlich der Schulungsmaterialien, die mit jeder Competence Unit (CU) innerhalb der PBF-LB-Operator-Qualifikation im Zusammenhang mit der Competence Unit 21: Wartung von PBF-LB-Systemen gemäß dem International Additive Manufacturing Qualification System (IAMQS) verbunden sind.

Nach der Auswahl der praktischen Szenarien wurden die verfügbaren XR-Tools bewertet, wobei Unity 3D als Softwaretool für die Entwicklung praktischer Anwendungsfälle in der virtuellen Realität (VR) ausgewählt wurde. Unity 3D wurde aufgrund seiner weit verbreiteten Verwendung bei der Entwicklung immersiver Anwendungen ausgewählt und bietet Funktionen sowohl für die lokale Entwicklung als auch für die Bereitstellung, die für die Erfüllung der strengen Datensicherheitsanforderungen im Luft- und Raumfahrtsektor unerlässlich sind.

Einer der identifizierten Anwendungsfälle für die Pilotphase beinhaltet die Entwicklung und den Einsatz einer XR-Anwendung für das Szenario des Austauschs und der Ausrichtung von Beschichter-Klingen. Dieses spezielle Szenario konzentriert sich auf die präzise Ausrichtung einer Beschichter-Klinge und umfasst die Positionierung eines Beschichter-Klingengehäuses und die Verfahrensschritte für die Ausrichtung von Beschichter-Klingen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

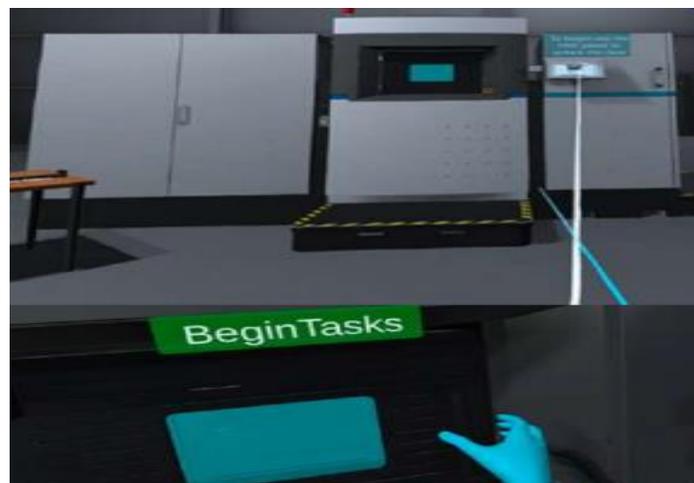


Abbildung 2: Anwendungsfall Recoatermesser

Ein weiterer Anwendungsfall, der für die Entwicklung in der Pilotphase ausgewählt wurde, ist der *Rundgang zu Sicherheit und Gesundheit*. Dieser Anwendungsfall zielt darauf ab, die Benutzer mit der persönlichen Schutzausrüstung vertraut zu machen, ein Verständnis für maschinenspezifische Sicherheitsmechanismen zu vermitteln und Wissen über sicherheitskritische Bereiche der Maschine zu vermitteln. Die Szene für den Anwendungsfall *Rundgang zu Sicherheit und Gesundheit* ist in Abbildung 3 dargestellt.

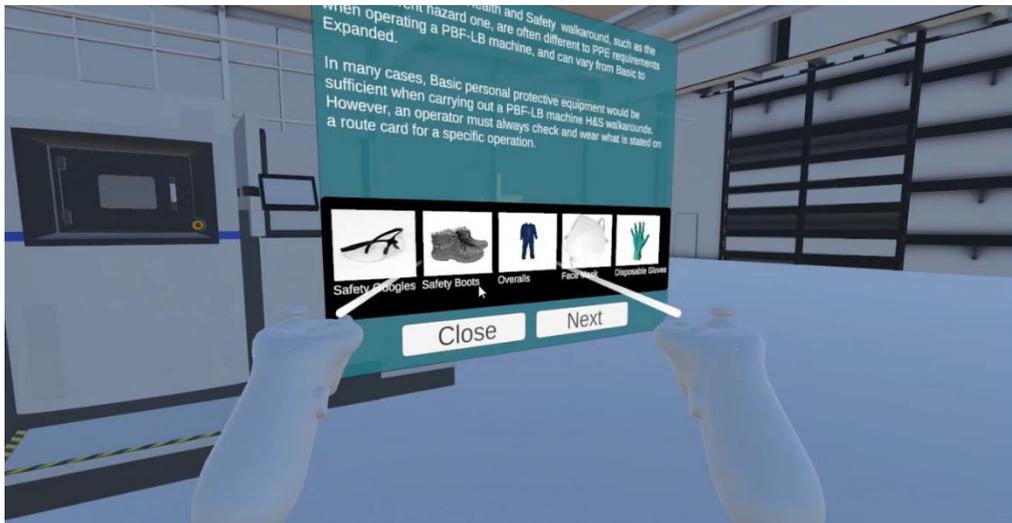


Abbildung 3: Anwendungsfall Gesundheits- und Sicherheitsrundgang

Das Szenario zur Messung der Laserleistung wurde ebenfalls in die XR-Anwendung aufgenommen. In diesem Anwendungsfall geht es um die Überprüfung der Laserleistung, ein entscheidendes Verfahren für additive Fertigungsaufträge. Da das Lasersystem eine zentrale Rolle bei der Erzeugung der für das Schmelzen von Partikelmaterial erforderlichen Energie spielt, müssen die Bediener sicherstellen, dass es optimal funktioniert, um eine Verschlechterung oder Veränderung zu verhindern. Eine Szene aus dem Szenario der Laserleistungsmessung ist in Abbildung 4 zu sehen.

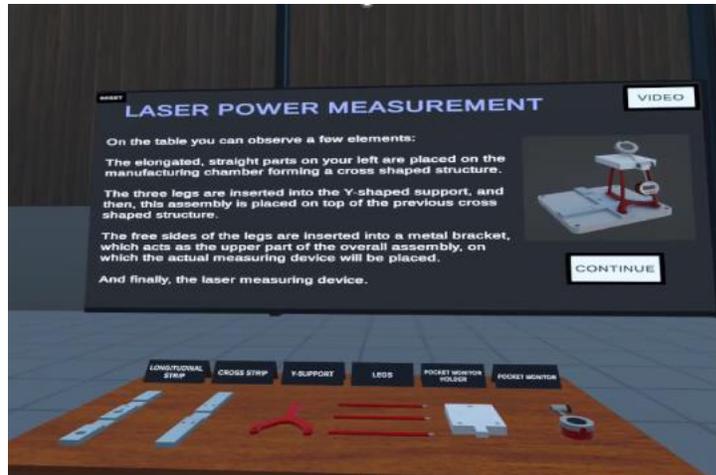


Abbildung 4: Anwendungsfall Laserleistungsmessung

4.2 Gestaltung des Pilotkurses

Die Studie ist als experimentelle Studie im Rahmen des AREOLA-Projekts angelegt. Die Pilotstudien wurden an mehreren Standorten durchgeführt, darunter Portugal, Spanien, Deutschland und dem Vereinigte Königreich. IDONIAL, EOS und MTC führten diese Pilotschulungen in ihren jeweiligen Einrichtungen durch. FA arbeitete mit einer anderen Organisation in Portugal zusammen, nämlich ISQ, und gemeinsam führten sie die praktischen Pilotversuche in der Einrichtung von ISQ durch. Es ist erwähnenswert, dass einige Partner Schulungssitzungen angesetzt haben, die über einen einzigen Tag hinausgingen, was auf den umfassenden Charakter der im Rahmen der Studie durchgeführten Schulungsaktivitäten hinweist. Darüber hinaus führte die RWTH Aachen, ein assoziierter Partner im Projekt, eine Pilotveranstaltung durch.

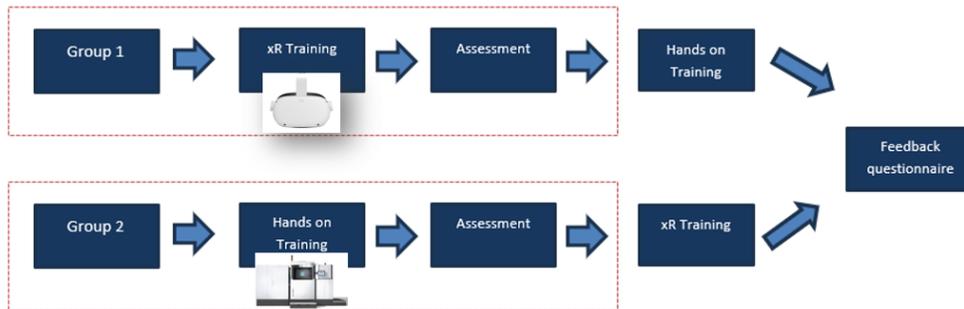
Die Partner wählten einen Anwendungsfall auf der Grundlage ihres verfügbaren PBF-LB-Maschinenmodells aus, aber alle Partner hielten sich an das gleiche Design für die Datenerfassung, um den Vergleich der beiden im AREOLA-Projekt eingesetzten Methoden zu erleichtern. Die Details der von den Partnern durchgeführten Pilotversuche sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Details der praktischen Pilotsitzung der Partner

Land	Partner	N° Auszubildender	Anwendungsfälle	Datum
Deutschland	EOS	6	Messung der Laserleistung	19-20. September
		2		14. November 2023
Portugal	FAN	12	Rundgang zu Gesundheit und Sicherheit	13. November 2023
Spanien	IDONIAL	11	Messung der Laserleistung	8. November 2023
		8		14. November 2023
UK	MTC	5	Recoatermesser	26. September
		5		18. Oktober
		7		25. Oktober
Deutschland	DAP RWTH (Aachener Universität)	4	Rundgang zu Gesundheit und Sicherheit	17. Januar

Die Schulungsteilnehmer wurden in zwei Gruppen eingeteilt: Eine Gruppe nahm an einer praktischen Schulung teil, während die andere Gruppe an Sitzungen mit der XR-Methode teilnahm. Beide Gruppen wurden in beiden Methoden zu den gleichen Inhalten unterrichtet. Nach Abschluss der jeweiligen Schulung bearbeiteten die Teilnehmer Prüfungsfragen, um die Beibehaltung des Wissens der Teilnehmer zu erfassen. Dann wechselten die Gruppen die Methoden, so dass jede Gruppe die Möglichkeit hatte, beide Ansätze zu erleben. Am Ende der Schulung füllten die Teilnehmer und Ausbilder einen speziell für sie entworfenen Feedback-Fragebogen aus, um ihre Meinung über die Anwendung dieser beiden unterschiedlichen Methoden zu äußern. Das Designschema der Pilotsitzung wird im Folgenden skizziert.

Abbildung 1: Der Entwurf des praktischen Pilotprojekts, der von allen Partnern verfolgt wurde



Nach Abschluss der praktischen Erprobung führten die Partner virtuelle Runde Tische auf nationaler Ebene durch, um die Ergebnisse der Erprobung zu validieren, Einblicke in die Erkenntnisse der Auszubildenden zu gewinnen und die künftigen Auswirkungen des AREOLA-Projekts auf die Ausbildung der PBF-LB-Betreiber zu bewerten.

4.3 Instrumente

Die Prüfungsfragen wurden von den Projektpartnern entwickelt, um die Lernergebnisse der Schulungsinhalte abzudecken. Wie bereits erwähnt, wurde den Teilnehmern sowohl bei der praktischen Schulung als auch bei der XR-Methode derselbe Inhalt vermittelt. Es gibt drei verschiedene Prüfungssätze, die mit den Schulungsinhalten verbunden sind: Das Szenario für den Rundgang zu Gesundheit und Sicherheit enthält drei Multiple-Choice-Fragen, und die Szenarien für die Messung der Laserleistung und den Wechsel der beschichteten Klinge enthalten vier Prüfungsfragen.

Um das Feedback der Teilnehmer zu ihren Erfahrungen mit den verwendeten Schulungsmethoden zu sammeln, wurde ein Feedback-Fragebogen entwickelt. Es gibt acht Fragen in einer 4-Punkte-Likert-Skala, die u.a. Aspekte wie Pädagogik, Interaktivität, Ermutigung zum Lernen beinhalten. Einige Beispielfragen sind: "Diese Methode war interaktiv", "Diese Methode machte den Inhalt leicht verständlich" und "Diese Schulungsmethode hat mir gefallen".

Zusätzlich wurde von den Partnern ein Feedback-Fragebogen (siehe Anhang I) entwickelt, mit dem die Ausbilder ihre Meinung zu zwei verschiedenen Schulungsmethoden äußern konnten. Nach Abschluss der gesamten Schulungssitzung beantworteten die Ausbilder den Feedback-Fragebogen. Der Fragebogen besteht aus drei Abschnitten: Im ersten Abschnitt werden Informationen über die Ausbilder gesammelt, der zweite Abschnitt dient der Bewertung der praktischen Lernmethoden (4 Fragen, jeweils mit einer 4-Punkte-Likert-Skala), und der dritte

Abschnitt besteht aus offenen Fragen, die es den Ausbildern ermöglichen, ihre Meinung zu den Vorteilen, Grenzen und Verbesserungsmöglichkeiten zu vertiefen.

Die Sammlung von Feedback im Rahmen der virtuellen Rundtischgespräche erfolgte anhand halbstrukturierter Diskussionsfragen, wobei die Partner die Flexibilität hatten, während des Diskussionsverlaufs zusätzliche oder andere Fragen einzubringen. Beispiele für solche Fragen sind: "Wie würde der Kurs (sowohl der theoretische als auch der im Rahmen des AREOLA-Projekts durchgeführte Pilotkurs) zu Ihrer Zukunft in der Additiven Fertigung (AM) beitragen?" und "Was denken Sie über die potenziellen Auswirkungen des AREOLA-Projekts auf die Ausbildung von PBF-LB-Betreibern?"

4.4 Teilnehmer

Es wurden acht praktische Pilotsitzungen durchgeführt, um die erforderlichen Daten für den Vergleich dieser beiden Methoden zu sammeln und den Prozentsatz der praktischen Ausbildung zu ermitteln, der mit der XR-Methode durchgeführt werden kann.

Insgesamt nahmen 61 Teilnehmer an der praktischen Pilotenausbildung teil. Die meisten Teilnehmer (50,9 %) waren zwischen 26 und 40 Jahre alt, während 20 % zwischen 41 und 57 Jahre alt waren. Außerdem waren 18,2 % zwischen 19 und 25 Jahren, 3,6 % zwischen 16 und 18 Jahren und schließlich 1,8 % über 58 Jahre alt.

49,2 % der Teilnehmer waren Ingenieure, 5,1 % Bediener, 22 % Techniker, 3,4 % Designer und 20,3 % entschieden sich für die Rubrik „sonstige“ und bezeichneten sich als Studenten und Doktoranden. Was das Bildungsniveau betrifft, so hatten 44,1 % der Befragten einen Grundschulabschluss, 18,6 % hatten das Gymnasium absolviert, 23,7 % hatten eine Fach- oder Berufsschule besucht. Außerdem waren 11,9 % Hochabsolventen.

Von den Teilnehmern hatten 43,6 % noch keine Erfahrung mit XR-Technologien, 30,9 % hatten die Technologie bereits für allgemeine Zwecke eingesetzt und 16,4 % hatten XR-Tools für andere Schulungszwecke verwendet.

Darüber hinaus nahmen 66 Teilnehmer an den virtuellen nationalen Runden Tischen teil, von denen einige bereits an den (theoretischen und praktischen) Pilotschulungen des AREOLA-Projekts teilgenommen hatten, während andere zum ersten Mal vom AREOLA-Projekt hörten. Die Teilnehmer der virtuellen Runden Tische kamen aus dem verarbeitenden Gewerbe und arbeiteten hauptsächlich als Ingenieure, Konstrukteure, Ausbilder/Lehrer von Berufsschulen,

Bildungsanbietern und Hochschuleinrichtungen sowie als Universitätsstudenten verwandter Fachrichtungen (Maschinenbau und Werkstofftechnik).

4.5 Datenanalyse

Die Daten der Piloten wurden mittels Bewertungs- und Feedback-Fragebögen erhoben. Die gesammelten Daten wurden mit SPSS V22 ausgewertet. Zunächst wurde eine deskriptive Analyse durchgeführt, um die Merkmale der Stichprobe zu definieren und zu prüfen, ob die Daten normal verteilt waren oder nicht. Da die Werte für Schiefe und Wölbung zwischen +3 und -3 lagen, wurde die Datenverteilung als normalverteilt angenommen. Zum Vergleich der Mittelwerte zwischen den praktischen und den XR-Methoden hinsichtlich des Erfolgs und der Zufriedenheit wurden t-Tests durchgeführt. Außerdem wurde eine ANOVA durchgeführt, um die Beziehung zwischen Alter, früherer Anwendung und Präferenz für XR-Werkzeuge zu verstehen. Zusätzlich wurde eine Inhaltsanalyse durchgeführt, um die offenen Fragen in den Feedback-Fragebögen und die in den virtuellen Rundtischgesprächen gesammelten Daten zu analysieren.

5. Ergebnisse

5.1 Erfolgsquote zwischen praktischer und XR-Methode

Ein t-Test für unabhängige Stichproben wurde durchgeführt, um die Durchschnittswerte zwischen der Hands-on-Gruppe ($M = 74,14$, $SD = 19,95$) und der XR-Gruppe ($M = 65,24$, $SD = 30,82$) zu vergleichen. Der t-Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen, $t(60) = 1,32$, $p = 0,19$. (Siehe Tabelle 2)

Tabelle 2. **Ergebnisse des** t-Tests für unabhängige Stichproben

	Methode	N	Mittlere	Std.	Std.	Fehler t
			Abweichung	Abweichung	Mittelwert	
ErgebnisAnwendung	Praktische	28	74.14	19.95	3.77	1.32
	XR	34	65.24	30.82	5.28	

Die Ergebnisse zeigten, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Ausbildung mit praktischen und XR-Methoden in Bezug auf das Erreichen von Lernergebnissen gab.

5.2 Die Unterschiede zwischen der Hands-on-Methode und der XR-Methode bei der Bewertung

Um die Unterschiede zwischen den praktischen und den XR-Methoden zu analysieren, wurde ein t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Diese Testmethode wurde gewählt, da wir gepaarte Daten erhoben haben, d. h. jeder Teilnehmer hat sowohl die praktische als auch die XR-Methode erlebt. Das Ergebnis des t-Tests für gepaarte Stichproben (siehe Tabelle 3) zeigte, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Hands-on-Methode ($M = 26,38$, $SD = 7,12$) und der XR-Methode ($M = 26,75$, $SD = 3,35$) gab, $t(52) = 0,72$, $p > ,005$ (zweiseitig gebunden). Der mittlere Unterschied zwischen den Ergebnissen der Hands-on-Methode und der XR-Methode betrug $-0,38$, das 95%-Konfidenzintervall für den Unterschied reichte von $-2,51$ bis $1,75$.

Tabelle 3. Ergebnisse des t-Tests für gepaarte Stichproben

Variabel	Praktische Anwendung	XR
Mittelwert (M)	26.38	26.75
Standardabweichung (SD)	7.12	3.35
t -Statistik	-.355	
Freiheitsgrade (df)	52	
p -Wert	0.724	
95% CI für Mittelwertdifferenz	[-2.5101, 1.75]	

Die Ergebnisse zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Nutzererfahrung zwischen Hands on und XR-Methoden gibt.

5.3 Die Unterschiede zwischen XR-Feedback-Score und Alter

Zur Untersuchung der Unterschiede in den XR-Werten zwischen fünf Altersgruppen (Gruppe 1: 16-18 Jahre; Gruppe 2: 19-25 Jahre; Gruppe 3: 26-40 Jahre; Gruppe 4: 41-57 und Gruppe 5: 58+) wurde eine einseitige ANOVA durchgeführt; die Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die

Ergebnisse der ANOVA ergaben einen $F(4,47)=1,16$, $p\text{-Wert}=0,34$. Es gab also keinen signifikanten Unterschied in den XR-Werten zwischen den fünf Altersgruppen.

Tabelle 4. Die ANOVA-Ergebnisse zeigten Unterschiede in der Bewertung der XR-Tools in Abhängigkeit vom Alter

Quelle der Variation	Summe der Quadrate	Freiheitsgrade (df)	Mittleres Quadrat	F-Statistik	p-Wert
Zwischen Gruppen	58.43	4	14.61	1.16	0.34
Innerhalb von Gruppen	591.80	47	12.59		
Insgesamt	650.23	51			

Die Analyse legt nahe, dass das Alter bei der Bevorzugung der XR-Technologie keine wesentliche Rolle zu spielen scheint.

5.4 Die Unterschiede zwischen der XR-Feedback-Bewertung und der früheren Verwendung von XR

Zur Untersuchung der Unterschiede zwischen der früheren Verwendung von XR-Tools in den drei Gruppen mit früherer Erfahrung (Gruppe 1: Ja, in anderen Schulungen; Gruppe 2: Ja, aber nur allgemein; Gruppe 3: Nein und die Bevorzugung der XR-Tools) wurde ein Einweg-ANOVA-Test durchgeführt, wie in Tabelle 5 dargestellt. Die ANOVA-Ergebnisse ergaben einen $F(2,50)=0,07$, $p\text{-Wert}=0,94$. Die Ergebnisse zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied in den mittleren XR-Werten zwischen den drei Gruppen mit Vorerfahrung gab.

Tabelle 5. Unterschiede in der Bewertung der XR-Tools auf der Grundlage der bisherigen Nutzung von XR-Tools

Quelle der Variation	Summe der Quadrate	Freiheitsgrade (df)	Mittleres Quadrat	F-Statistik	p-Wert
Zwischen Gruppen	1.71	2	.86	.07	.94

Innerhalb von	650.1	50	13
Gruppen			
Insgesamt	651.81	52	

Diese Ergebnisse deuteten darauf hin, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied in den XR-Bewertungen zwischen den früheren Erfahrungen der Benutzer gab. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vertrautheit mit der XR-Technologie kein ausschlaggebender Faktor für die Bevorzugung von XR-Tools für die Ausbildung ist, basierend auf dem Ergebnis der ANOVA.

5.5 Meinung der Teilnehmer zu den verwendeten Schulungsmethoden

Die Teilnehmer schrieben auch ihre Gedanken zu den Vorteilen und Einschränkungen der beiden Methoden auf. Ihre Antworten wurden zusammengefasst und anhand der gemeinsamen Antworten in Kategorien eingeteilt.

5.5.1 Vorteile der praktischen Ausbildungsmethode

Die Teilnehmer gaben an, was ihnen an der Methode der praktischen Ausbildung am besten gefällt. Die Teilnehmer waren sich einig, dass die praktische Ausbildung den Auszubildenden viele Möglichkeiten bietet, so zum Beispiel die Interaktion zwischen Ausbilder und Auszubildenden verbunden mit der Möglichkeit unmittelbares Feedback von den Ausbildern zu erhalten sowie der Umgang mit echter Ausstattung. Teilnehmerzitate:

- Sie können der Lehrkraft Fragen stellen. (PT12)
- Echte praktische Erfahrung, realistische Bedingungen, sofortiges Feedback. (SP2)
- Trainer kann viele Fehler schnell erkennen und sofort verbessern. (DE3)
- Mehr direkte Interaktion und die Möglichkeit, persönliche Fragen zu stellen. (SP6)
- Die Arbeit mit echten Materialien ermöglicht Ihnen ein umfassenderes Verständnis (SP5)
- Sie können das, woran Sie arbeiten, physisch sehen und anfassen. (UK2)
- Teile wirklich zur Hand haben, Gewicht und Handhabbarkeit abschätzen. (DE6)

5.5.2 Vorteile der XR-Methode

Die Teilnehmer gaben an, dass die XR-Methode einige Vorteile hat, wie z. B. die einfachere Interaktion mit der Maschine, die Möglichkeit der Anpassung der Inhalte, die Bequemlichkeit der Auszubildenden ohne Angst vor Fehlern und Verletzungen, keine Unterbrechung des Produktionsprozesses und schließlich die Möglichkeit der Fernschulung und des individualisierten Lernens. Hier einige Teilnehmerstimmen:

- Das ist eine einfachere und bequemere Art der Interaktion mit der Maschine. (PT7)
- Ich habe die Maschine besser verstanden, bevor ich mit ihr gearbeitet habe. (UK10)
- Strukturiert; man bekommt einen guten Eindruck und fühlt sich bereit, zur Maschine zu gehen. (DE3)
- Viel Potenzial für die Anpassung von Inhalten. (PT9)
- Individuelles Training, Interaktion mit der Umwelt ohne Risiko, Vertrautmachen mit Materialien, visuelle und auditive Unterstützung. (SP8)
- Vertiefung und Realitätsnähe, praktisches Lernen ohne Angst vor dem Scheitern, sofortiges Feedback. (SP2)
- Es ist nicht notwendig, die Produktion zu stoppen, damit die Schulung stattfinden kann. (SP4)
- Es besteht keine Verletzungsgefahr oder die Gefahr, dass die Geräte beschädigt werden. Das Lernen kann stattfinden, ohne die eigentliche Maschine zu beeinträchtigen. (SP5)
- Die Möglichkeit, Schulungen aus der Ferne durchzuführen. Mehrere Schüler können gleichzeitig üben. (SP9)
- Die Möglichkeit, mit einer Maschine zu interagieren, die man physisch nicht zur Verfügung hat. (SP10)
- Fernunterricht ohne Ausrüstung. (SP14)
- VR ermöglichte es, die Operation in jeder Umgebung durchzuführen. (UK14)

5.5.3 Einschränkungen bei der Anwendung der Methode der praktischen Ausbildung

Die Teilnehmer wiesen auf einige Einschränkungen bei der Anwendung praktischer Ausbildungsmethoden hin. Sie gaben an, dass es bei der praktischen Methode an Wiederholung und Verbesserung, unabhängiger Reflexion und individuellen praktischen Übungen mangelt. Hier einige Teilnehmerstimmen:

- nicht wiederholbar; man vergisst Dinge schneller, weil man sie ohne Trainer nicht wiederholen kann. (DE3)

- Sie brauchen mehr Zeit für eigenständiges Nachdenken, um das gelernte Wissen abzurufen. (DE4)
- Es muss eine praktische Übung enthalten sein. (PT2)
- Ich muss mehr Zeit mit der Maschine verbringen, um mich mit ihr vertraut zu machen. (PT3)

5.5.4 Einschränkungen bei der Anwendung der XR-Methode

Die Teilnehmer wiesen auf der Grundlage ihrer spezifischen Erfahrungen auf bestimmte Einschränkungen bei der Nutzung von XR-Methoden hin. Zu diesen Einschränkungen gehörten eine geringere Interaktivität und visuelle Qualität der Inhalte, fehlende mehrsprachige Optionen, Unvertrautheit mit der Technologie, taktile Einschränkungen der XR-Technologie und räumliche Überlegungen. Hier einige Teilnehmerstimmen:

- sollte interaktiver sein, Informationen und grafische Inhalte sollten die Vorteile der VR-Fähigkeiten nutzen. (PT9)
- Option zur Auswahl der Sprache für Erklärungen und Text. (SP7)
- alle Schritte des Verfahrens, einschließlich der Hilfsmaschinen und der verschiedenen Fälle und Probleme, die auftreten können, durchzuführen. (SP11)
- Die Unkenntnis der XR-Steuerung kann von den Lernergebnissen der Schulung ablenken (UK5)
- Mehr Freifläche für einen Rundgang. (UK7)
- Um ein Grundgefühl zu bekommen und Verfahren zu erlernen großartig, aber nicht gut, um genaue Parameter zu lernen. (DE2)

5.6 Einsatz der XR-Methode als ergänzendes Instrument

Die Teilnehmer wurden nach ihrer Meinung zum Einsatz der XR-Methode als ergänzendes Instrument für die praktische Ausbildung befragt. Die meisten von ihnen gaben an, dass die XR-Methode als ergänzendes Instrument zur Verbesserung der praktischen Ausbildung eingesetzt werden könnte, indem sie Sicherheitsbedenken abbaut, die Vertrautheit mit der Maschine und das Üben von Handlungen ermöglicht, die Ausbildung ferngesteuert und flexibel gestaltet, Zeit und Kosten spart und den Informationsgehalt erhöht. Hierzu ebenfalls einige Teilnehmerstimmen:

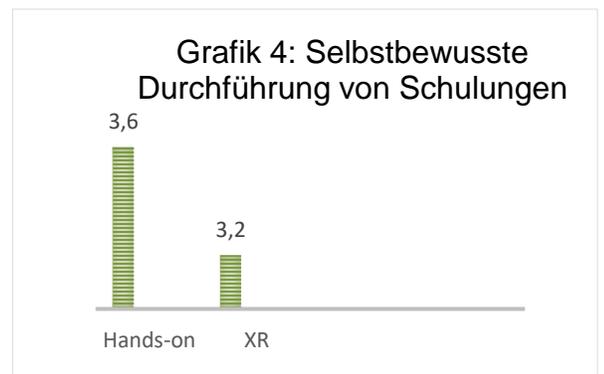
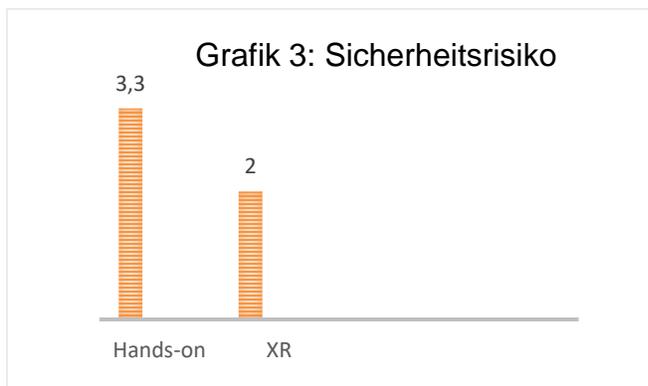
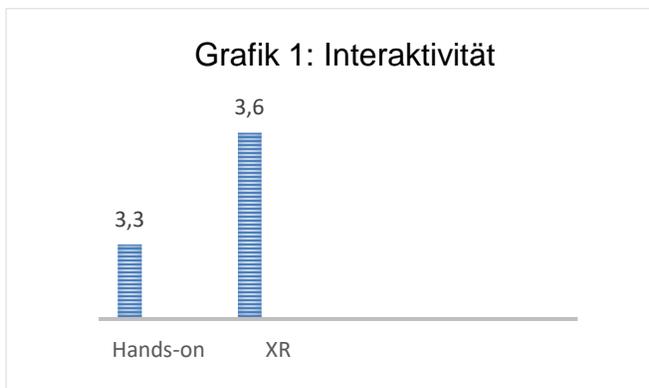
- Mehr Informationen könnten in der VR-Welt präsentiert werden und noch interaktiver sein. (PT4)

- Dinge, die nicht mit den Händen gemacht werden können, können im Virtuellen eingestellt werden. (PT6)
- Es ist einfacher, die Schulung in der VR zu wiederholen, und der praktische Ansatz bietet mehr Raum für Fragen und mehr Informationen. (PT7)
- Es ist sicherer mit XR (PT8)
- Ich sehe die Möglichkeit, mit VR in Geräte/Verfahren einzuführen und weniger Zeit für Schulungen vor Ort aufzuwenden. (PT9)
- Ja, wenn die virtuelle Schulung zuerst erfolgt, fühlt sich der Bediener während der maschinellen Schulung sicherer. (SP1)
- Deutlich größeres Selbstvertrauen / Vertrautheit mit der Maschine, sicheres Erlernen von Bewegungen im Raum um die Maschine. (DE4)
- Üben in der VR, bis man den Prozess verinnerlicht hat, und ihn dann unter Aufsicht an der Maschine durchführen, um die echten Details zu erkennen, die die VR noch nicht erreicht hat. (SP3)
- Mit VR-Training können Sie sicher üben, bis die Schritte des Prozesses automatisch ablaufen, und mit maschinellem Training sehen Sie die tatsächliche Realität des Prozesses. (SP11)
- Es ist eine ergänzende Erfahrung und ein sicherer Ort, um neue Prozesse auszuprobieren. (UK6)
- Die Möglichkeit, Fehler zu machen. (SP14)
- Obwohl VR der Realität sehr nahekommt, ist es immer ratsam, beide Methoden zu kombinieren, insbesondere bei kritischen Vorgängen. (SP16)
- Sie kann aus der Ferne und im eigenen Tempo durchgeführt werden. (UK1)
- Eine virtuelle Schulung wäre ein sehr nützlicher und informativer erster Schritt in der Maschinenschulung, der es ermöglicht, das praktische Element gezielt zu spezifizieren. (UK5)
- Vertrautheit mit der Maschine; Handlungen sind bekannt und geübt, daher mehr Zeit für andere Informationen über die Maschine. (DE6)
- XR - Hands on ist ein guter Weg. (UK10)
- Sie können die Schulung überall absolvieren, und Sie müssen die Maschine nicht haben, um etwas zu lernen. (UK11)
- Zeitersparnis, lokale Komponente; kein Stillstand der Maschine während der Ausbildung. (DE1)

- Ja, wenn ein Ausbilder für Folgefragen zur Verfügung steht, ist das eine gute Vorbereitung; weniger Kosten; schnelleres und flexibleres Training; wiederholbar; man kann nichts beschädigen. (DE3)

5.7 Feedback der Ausbilder zum Vergleich von praktischen Übungen und der Verwendung von XR-Tools

Die Ausbilder beantworteten den Feedback-Fragebogen nach Abschluss der Schulung. Es wurden einige Fragen gestellt, um ihre Meinung über die Interaktivität, die Aufmerksamkeit der Ausbilder, die Sicherheitsrisiken und das Gefühl der Sicherheit bei der Durchführung der Schulung zu erfahren. Auf der Grundlage ihrer Antworten wurden für jedes Feld Durchschnittswerte berechnet. Die Mindestpunktzahl ist 0 und die Höchstpunktzahl ist 4 für jedes Feld. Die folgende Grafik wurde erstellt, um die Ergebnisse visuell darzustellen.



Nach den Angaben der Ausbilder scheint die XR-Methode interaktiver zu sein und die Aufmerksamkeit der Auszubildenden während der Ausbildung besser zu fesseln. Außerdem gaben die Ausbilder an, dass die XR-Methode eine sicherere Umgebung für die praktische Ausbildung bietet. Trotz dieser Vorteile sind die Ausbilder bei der Durchführung der praktischen Ausbildung zuversichtlicher.

Die Ausbilder teilten auch ihre Meinung über die Vorteile der praktischen und der XR-Methode mit. Einige Vorteile der praktischen Ausbildungsmethode werden im Folgenden durch direkte Zitate der Ausbilder wiedergegeben.

- Die praktische Ausbildung ist "fließender" in dem Sinne, dass die Ausbildung leichter an die Auszubildenden angepasst werden kann. Sie ist auch für ein größeres Publikum schneller durchführbar, da sie von mehreren Personen gleichzeitig durchgeführt werden kann. Der Zeitaufwand für diese Schulungsmethode ist auch relativ konstant, da der Ausbilder in der Regel die gleiche Zeit benötigt, während XR je nach Teilnehmer länger oder kürzer dauern kann. (T1)
- besseres Gefühl für die Aufgaben aufgrund der manuellen Handhabung (T4)
- Detaillierte Ansicht der Maschine und aktuelle Darstellung der Arbeitsschritte. Die Möglichkeit, Fragen zu stellen. (T5)

Außerdem werden die Vorteile der Verwendung von XR hervorgehoben;

- Abgesehen von den offensichtlichen Vorteilen in Bezug auf Sicherheit und Gesundheitsschutz ist die XR-Schulung ein einfacheres Konzept für den Anfang. Es bietet auch eine stressfreiere Umgebung, da keine Gefahr besteht, die echten Maschinen zu beschädigen. So kann der Benutzer Operationen, die unter realen Bedingungen gefährlich wären, so oft wie nötig durchführen, bevor er sich an die echte Maschine wagt. Die XR-Schulung kann auch so oft wie nötig wiederholt werden, um das Verständnis zu verbessern.

Für die XR-Schulung wird keine Maschine benötigt, wodurch die Kosten für die Schulung erheblich gesenkt werden.

Ein zentrales Problem bei der XR-Schulung ist, dass ihre Wirksamkeit direkt mit der Qualität des Szenarios zusammenhängt und dass ihre Wirksamkeit von Fall zu Fall gemessen werden muss. (T1)

- kein Pulverkontakt + schnell + keine PSA erforderlich + reproduzierbar + hängt stark von der Qualität des VR-Programms ab. (T3)

- kann das Grundwissen der Auszubildenden vorbereiten, so dass es während der Ausbildung nicht zu "Quetschungen" kommt. (T4)
- Gefahr beseitigt, Konflikt der Maschinenverfügbarkeit beseitigt. (T5)

Die Ausbilder wurden auch nach der Verwendbarkeit der XR-Tools in der praktischen Ausbildung befragt. 100 % von ihnen bejahten dies. Außerdem waren sie im Durchschnitt der Meinung, dass 50 % der praktischen Ausbildung durch XR-Tools ersetzt werden könnten.

5.8 Ergebnisse der virtuellen Runden Tische

Die Validierung der Pilotergebnisse wurde durch nationale virtuelle Runde Tische vorgenommen, an denen Teilnehmer mit unterschiedlichem Hintergrund teilnahmen. Unter den Teilnehmern waren sowohl solche, die bereits an AREOLA-Schulungen teilgenommen hatten, als auch solche, die zum ersten Mal mit dem AREOLA-Projekt in Berührung kamen. Die Inhaltsanalyse zeigt einen allgemein positiven Ausblick auf das AREOLA-Projekt, wobei das Potenzial zur Verbesserung der Ausbildung von PBF-LB-Bedienern durch praktisches Lernen, Kosteneinsparungen und breitere organisatorische Auswirkungen hervorgehoben wird. Die Antworten unterstreichen auch die Notwendigkeit eines ausgewogenen Ansatzes, der virtuelle Schulungen mit Live-Demonstrationen kombiniert. Im Folgenden werden einige Zitate von Teilnehmern wiedergegeben.

- - Kann nützlich sein, um zu lernen, wie man mit PBF-LB-Systemen unabhängig von ihrem Standort arbeitet!
- - Sehr gute Chancen in der zukunftsorientierten Produktion
- - Weniger Maschinenbelegung durch Ausbildung in VR
- - Damit wird ein äußerst leistungsfähiges Schulungsinstrument eingeführt. Es ermöglicht eine autonomere und geführte Ausbildung.

Darüber hinaus sahen die Teilnehmer, die an der AREOLA-Schulung teilgenommen haben, den Kurs als vorteilhaft für die praktische Anwendung, die Unterstützung von Ausbildungsbemühungen, die Verbesserung der aktuellen Arbeit im Bereich des 3D-Drucks und die Bereitstellung von Vorteilen für die zukünftige berufliche Entwicklung im Bereich der additiven Fertigung an. Auch die Rolle des Kurses beim Wissenserwerb und bei der Erweiterung des Verständnisses für die Möglichkeiten der additiven Fertigung wurde anerkannt. Im Folgenden werden einige Zitate von Teilnehmern wiedergegeben.

- Man kann viel von den erhaltenen Informationen verstehen und sie im Alltag anwenden, sei es bei der Wartung oder bei der Reparatur von einfachen Dingen am 3D-Drucker.
- Im Bereich der Bauteile ist dies für die zukünftige Produktion praktisch, da man bereits über Vorkenntnisse verfügt.
- Gut, mögliche Anwendungen zu kennen; einen Überblick über die Möglichkeiten der additiven Fertigung gewonnen.
- Teile der Ausbildung könnten durch eine virtuelle Umgebung ersetzt werden und Material könnte eingespart werden.
- Sie haben Kenntnisse erworben, die im 3D-Druck verwendet werden können, Sie kennen verschiedene Verfahren, um Bauteile besser/schneller herzustellen.

Die Teilnehmer gaben an, dass viele mögliche Themen mit Hilfe von XR-Werkzeugen in der PBF-LB-Bedienschulung vermittelt werden können, wobei Sicherheit, Optimierung und die Anwendung in verschiedenen Bereichen der additiven Fertigung erwähnt werden. In den folgenden Zitaten finden Sie einige Rückmeldungen von Teilnehmern.

- Pulvertypen, Fehlersuche an Maschinen
- Sie können bestimmte Arbeitsschritte im Voraus überprüfen und optimieren.
- AM ist sehr breit gefächert und hat viele andere Unterthemen, sei es bei der Prozessnutzung oder der Kalibrierung/Wartung von Geräten.
- Meiner Meinung nach wird die XR-Ausbildung in einer Vielzahl von Bereichen wie Schweißen, Zerspanung, CNC und anderen angewendet werden.

Schließlich fanden die Teilnehmer des Runden Tisches das Projekt interessant, und einige äußerten die Absicht, die Projektergebnisse zu verfolgen. Darüber hinaus erwähnten andere, dass sie die Projektwebsite bei Bedarf besuchen würden, was auf eine positive Aufnahme und ein anhaltendes Interesse an den Entwicklungen des Projekts hindeutet.

6. Diskussion

XR-Technologien wurden in erster Linie für die praktische Ausbildung eingesetzt, wobei der Schwerpunkt auf praktischen Aufgaben lag, wie sie in der Industrie üblich sind. Es ist jedoch weitere Forschung erforderlich, um zu untersuchen, wie XR in Schulungsprogramme integriert werden kann, um traditionelle Schulungsansätze zu ergänzen und möglicherweise sogar zu ersetzen [11]. Um diese Lücke zu schließen, vergleicht dieser Bericht die Wirksamkeit der XR-Methode mit der traditionellen praktischen Ausbildung. Die Analyse der Lernergebnisse der

Ausbildungsprogramme zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der praktischen Ausbildungsmethode und der XR-Ausbildungsmethode gibt. Die Leistung der Auszubildenden bei der Bewertung ergab recht ähnliche Ergebnisse. Dies bedeutet, dass beide Methoden in Bezug auf den Erwerb der in den Lernergebnissen definierten Fähigkeiten und Kenntnisse gleich effizient sind, und die Ausbilder schlagen vor, dass 50 % des praktischen Ausbildungsprogramms für die PBF-LB-Bedienerqualifikation unter Verwendung der XR-Werkzeuge durchgeführt werden könnten.

Die Analyse der Feedback-Bewertungen der Auszubildenden ergab ein bemerkenswertes Ergebnis: Es gab keinen signifikanten Unterschied in der wahrgenommenen Effektivität zwischen den praktischen und den XR-Methoden. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Auszubildenden beide Methoden in Bezug auf pädagogische Wirksamkeit, Interaktivität, Lernanreiz und Vertrauensbildung ähnlich einschätzen. Diese Übereinstimmung in der Wahrnehmung unterstreicht das Potenzial von XR-Tools als ebenso praktikable und effektive Alternative zu den traditionellen praktischen Methoden. Darüber hinaus hat die Analyse der Ergebnisse gezeigt, dass das Alter und die vorherige Verwendung von XR-Tools keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung der Nutzer durch die XR-Methode haben. Daher kann die Methode in verschiedenen Altersgruppen eingesetzt werden und erfordert keine hohen technischen Kenntnisse oder Fähigkeiten, um das XR-Tool zu bedienen.

Darüber hinaus nannten die Teilnehmer verschiedene Vorteile, die mit dem Einsatz von XR-Tools verbunden sind, darunter die Ermöglichung individueller und selbstgesteuerter Lernerfahrungen, die Möglichkeit der Fernschulung, die Verringerung des Zeit- und Kostenaufwands für Schulungsprogramme und die Vorbeugung von Schäden bei der Erstbegegnung mit Maschinen. Die Beobachtung, dass der Einsatz von XR-Methoden die Arbeits- und Produktionsprozesse an den Maschinen nicht stört, wurde von den Auszubildenden als weiterer wichtiger Vorteil bewertet. Die wahrgenommene Effektivität und die Anerkennung mehrerer Vorteile sind vielversprechend für die Integration von XR-Tools in Ausbildungsmethoden.

Trotz der offensichtlichen Vorteile der Integration von XR-Tools in die Ausbildung wiesen die Teilnehmer auf bestimmte Einschränkungen hin, die es zu berücksichtigen gilt. Eine wesentliche Voraussetzung für effektives XR-Training ist die Entwicklung des XR-Tools selbst in guter Qualität und hoher Auflösung. Dies unterstreicht, wie wichtig es ist, in die technologischen Aspekte von XR zu investieren, um eine nahtlose und immersive Lernerfahrung zu gewährleisten.

Darüber hinaus hat die Analyse trotz der quantitativen Ergebnisse gezeigt, dass frühere Erfahrungen mit XR-Tools den Teilnehmern keine Vorteile gegenüber denjenigen verschafften, die keine Erfahrung mit diesen Tools hatten. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass mangelndes Wissen oder mangelnde Vertrautheit der Auszubildenden mit diesen Instrumenten ein potenzielles Hindernis für effektives Lernen mit XR sein könnte. Diese Beobachtung unterstreicht die Notwendigkeit umfassender Schulungsprogramme, die nicht nur XR-Tools einbeziehen, sondern auch eine angemessene Orientierung und Anleitung für die Benutzer bieten.

Darüber hinaus wiesen die Teilnehmer auf die Bedeutung einer gut organisierten Trainingsumgebung hin und betonten die Notwendigkeit eines ausreichenden Platzes, um Bewegung und Gehen während der XR-Sitzungen zu ermöglichen. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, kann sich dies negativ auf die Effektivität des XR-basierten Trainings auswirken. Die Berücksichtigung dieser Überlegungen ist von zentraler Bedeutung für die Optimierung der Implementierung von XR-Tools, um sicherzustellen, dass ihre Vorteile maximiert und gleichzeitig potenzielle Herausforderungen gemildert werden.

Nicht nur die Auszubildenden sind mit dem Einsatz von XR-Materialien in der praktischen Ausbildung zufrieden, auch die Ausbilder freuen sich über die Erfahrung. Die Ausbilder loben die Interaktivität, die Sicherheit und die Effektivität der XR-Materialien, um die Aufmerksamkeit der Auszubildenden zu wecken. Sie betonen den bedeutenden Vorteil, dass die Auszubildenden grundlegende Informationen und praktisches Know-how erwerben, bevor sie mit den eigentlichen Maschinen arbeiten, was eine wertvolle vorbereitende Erfahrung darstellt. Die Ausbilder heben auch die Möglichkeit hervor, dass die Auszubildenden die Übungen bei Bedarf wiederholen können, um ihre Kenntnisse und Fähigkeiten zu festigen. Diese kollektiven Vorteile werden als ausgezeichnete Möglichkeiten zur Verbesserung des gesamten Ausbildungsprozesses angesehen. Wenn wir die Perspektiven von Auszubildenden und Ausbildern untersuchen, wird deutlich, dass die Integration von XR-Tools nicht nur die Lernenden zufrieden stellt, sondern auch zur Effektivität und Effizienz der Ausbildungsumgebung beiträgt.

Die Teilnahme an nationalen virtuellen Runden Tischen lieferte wertvolle Einblicke in den Einsatz von XR-Tools in der AM-Ausbildung und trug wesentlich zu unserem Verständnis bei. Die Mehrheit der Teilnehmer bestätigte die aus den Pilotergebnissen abgeleiteten Erkenntnisse und betonte, dass XR-Tools innovative und leistungsstarke Hilfsmittel für die Durchführung von Schulungen sind.

Darüber hinaus nannten die Teilnehmer mehrere Vorteile, die mit XR-Tools verbunden sind, darunter die entscheidenden Aspekte der verbesserten Sicherheit, der erhöhten Lernautonomie und der spürbaren Senkung der Gesamtkosten der Ausbildung. Diese Bestätigung der Vorteile unterstreicht die potenziellen transformativen Auswirkungen der XR-Technologien auf die Ausbildungsmethoden. Noch wichtiger ist, dass die Teilnehmer auch eine zukunftsorientierte Perspektive zum Ausdruck brachten und vorhersagten, dass die weit verbreitete Einführung von XR-Technologien zu einer Zunahme der Schulungsmöglichkeiten und des Zugangs zu diesen Schulungsmaterialien führen wird.

7. Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der praktischen Pilotausbildung darauf hindeuten, dass die Anwendung der XR-Methode in der praktischen Ausbildung von PBF-LB-Maschinenführern eine praktikable Option darstellt. Diese Methode könnte in die Ausbildung integriert werden, indem entweder komplexe und risikoreiche Aufgaben ausschließlich mit der XR-Methode durchgeführt werden oder indem die Auszubildenden mit wichtigen Informationen versorgt werden, bevor sie mit der eigentlichen Maschine arbeiten. Auf diese Weise zielt der Ansatz darauf ab, Unfälle und Verletzungen zu vermeiden, und er ermöglicht es den Ausbildern, weniger Zeit für die Vermittlung grundlegender Informationen aufzuwenden.

Es ist jedoch wichtig, dass die Schulungsanbieter sicherstellen, dass die Schulungsteilnehmer über die notwendigen Kenntnisse im Umgang mit der XR-Technologie verfügen. Um dies zu erreichen, können die Anbieter Richtlinien, Anweisungen oder Demonstrationen anbieten, um die Teilnehmer mit der Technologie vertraut zu machen. Dieser proaktive Ansatz stellt sicher, dass die Schulungsteilnehmer gut vorbereitet sind und den Umgang mit XR-Tools beherrschen, bevor sie an den praktischen Schulungen teilnehmen.

In Anbetracht der Ergebnisse der Pilotstudien werden im Folgenden einige Empfehlungen aufgeführt;

- Entwickeln Sie XR-Werkzeuge mit hervorragender Qualität und hoher Auflösung.
- Machen Sie die Teilnehmer vor der Schulung mit der Verwendung, Navigation und Steuerung des XR-Tools vertraut.
- Sorgen Sie für ausreichend Platz für immersive XR-Schulungsaktivitäten.
- Integrieren und verwenden Sie XR-Methoden, bevor Sie mit der praktischen Ausbildung beginnen, um den Lernfortschritt zu verbessern.



Co-funded by
the European Union

- Verwenden Sie XR-Methoden für Schulungen in risikoreichen Umgebungen oder Szenarien.

Diese wertvollen Ergebnisse der Piloterprobung in AREOLA können für Berufsbildungsanbieter von großem Nutzen sein, um XR-Tools in die praktische Ausbildung zu integrieren, indem sie den Empfehlungen des Berichts folgen. Diese Ergebnisse werden auch für die Überarbeitung des bestehenden "Leitfadens zur Umsetzung für Blended Learning" (IAB-95) im Rahmen des Arbeitsergebnisses 5, verwendet.

8. Referenzen

1. Interaction Design Foundation. (Year) 'Extended Reality (XR)'. Available at: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/extended-reality-xr>
2. Pomerantz, J. (2019) 'XR for teaching and learning: Year 2 of the EDUCAUSE/HP campus of the future project (ECAR Research Report)'. EDUCAUSE. Available at: <https://library.educause.edu/media/files/library/2019/10/2019hpxr.pdf?la=en&hash=306474918AA2F101DDDCABD59E4366AD7244D572>
3. Golubenko, S. (2019). *Pros and Cons of Using XR Tech in Employee Training*. Available at: <https://www.td.org/insights/pros-and-cons-of-using-xr-tech-in-employee-training>. (Zugriff: 21 October 2023).
4. Infopulse. (2022). The Place of Extended Reality in Digital Transformation Strategy for Manufacturing: Use Cases and Benefits. Available at: <https://www.infopulse.com/blog/xr-manufacturing-digital-strategy>. (Zugriff: 21 October 2023).
5. Raizada, A. (n.d). *Benefits of Extended Reality Technology for Manufacturing*. Available at: <https://copperdigital.com/blog/extended-reality-utilization-in-manufacturing-sector/> (Zugriff: 21 October 2023)
6. Doolani, S., Wessels, C., Kanal, V., Sevastopoulos, C., Jaiswal, A., Nambiappan, H. und Makedon, F. (2020). A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training. *Technologies*, 8(4), S.77. doi:<https://doi.org/10.3390/technologies8040077>.
7. Fransson, G., Holmberg, J. and Westelius, C. (2020). The challenges of using head mounted virtual reality in K-12 schools from a teacher perspective. *Education and Information Technologies*, 25(4), pp.3383–3404. doi:<https://doi.org/10.1007/s10639-020-10119-1>.
8. Chao, C.-J., Wu, S.-Y., Yau, Y.-J., Feng, W.-Y. and Tseng, F.-Y. (2017). Effects of three-dimensional virtual reality and traditional training methods on mental workload and training performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(4), pp.187–196. doi:<https://doi.org/10.1002/hfm.20702>.
9. Brandon Antonio Cárdenas-Sainz, María Lucía Barrón-Estrada, Ramón Zatarain-Cabada and Maria Elena Chavez-Echeagaray (2023). Evaluation of eXtended reality (XR) technology on motivation for

learning physics among students in mexican schools. 3, pp.100036–100036.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100036>.

10. De Lorenzis, F., Praticò, F.G., Repetto, M., Pons, E. and Lamberti, F. (2023). Immersive Virtual Reality for procedural training: Comparing traditional and learning by teaching approaches. *Computers in Industry*, 144, p.103785. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103785>.
11. Schreer, O.; Pelivan, I.; Schäfer, R.; Sabbah, Y.; Royan, J.; Deschanel, M.; Verly, J.; Gallez, A.; Grain, S.; Gérard, A.; et al. XR4all: Moving The European XR Tech Industry Forward: Final Research Agenda 2020. Available online: https://xr4all.eu/wp-content/uploads/xr4all_finalresearchagenda_2020_public.pdf (Zugriff: 26 October 2022).