



areola

Ar/vr foR aErOspace pfb-Lb operAtors

Projektnummer: 2021-1-PT01-KA220-VET-
000034876

Bericht über die Analyse des Validierungsbedarfs



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.

Revision	Datum	Autor/Organisation	Beschreibung
1.	30.09.2022	EOS	Erster Entwurf
2.	07.10.2022	EOS	Weitere Ergebnisse der Befragung
3.	04.11.2022	EOS / Fan3D	Überarbeitung des Berichts auf der Grundlage des finalen Feedbacks der Projektpartner
4.	04.11.2022	MTC	Abschließende Überprüfung

Inhaltsübersicht

1. Vorwort.....	3
2. PR1 Präsentation.....	4
2.1 Allgemeine Informationen	4
2.2 Task 1: Interne Analyse und Desk Research	4
2.2.2 XR-Bewertungsmatrix	6
2.2.3 Schlussfolgerung	7
2.3 Task 2: Entwicklung eines Interviewleitfadens	8
2.4 Task 3: Analyse der Interviewergebnisse.....	8
2.4.1 Präsentation der Ergebnisse	8
2.4.2 Schlussfolgerung	21
3. Schlussfolgerung	23
4. Anhang	24
Anhang 1: Blended Learning / Extended Reality Screening.....	24
Anhang 2: XR-Bewertungsmatrix.....	25
Anhang 3: Interview-Leitfaden	26

1. Vorwort

PR1 bildet die Grundlage für die Arbeiten, die im Rahmen des AREOLA-Projekts durchgeführt werden sollen. Seit der Einführung der additiven Fertigung (oder Additive Manufacturing, kurz AM) vor über drei Jahrzehnten hat die Industrie mit dem Mangel an qualifizierten Fachkräften für die additive Fertigung zu kämpfen. Dieses Problem ist besonders akut in dem sich schnell entwickelnden Bereich der Metall-PBF-LB (Powder Bed Fusion Laser Beam) Technologie, wo es einen Mangel an Bedienern und Ingenieuren gibt. Die Covid-19-Pandemie hat gezeigt, dass es problematisch ist, sich ausschließlich auf persönliche Schulungen zu verlassen. Um dieses Problem zu lösen, muss die Ausbildung kontinuierlich verbessert und weiterentwickelt werden, um die Vorteile neuer digitaler Ausbildungsinstrumente zu nutzen. Ziel des AREOLA-Projekts ist es, den Mangel an PBF-LB-Bedienern durch den Einsatz von AR- und VR-Technologien zu beheben, insbesondere um Aspekte der praktischen Ausbildung zu übernehmen.

Die Notwendigkeit einer verbesserten AM-Ausbildung wurde bereits in der AM Skills Strategy Roadmap 2021, die im Rahmen des Erasmus+ SAM-Projekts (Sector Skills Strategy in AM Sector) entwickelt wurde, festgestellt, wo der "Wettbewerb um qualifizierte AM-Arbeitskräfte und der Mangel an AM-Kenntnissen bei den vorhandenen Arbeitskräften/Studenten" sowie der "Mangel an Ausbildungszentren, insbesondere auf der Ebene der beruflichen Aus- und Weiterbildung, die in der Lage sind, AM-Ausbildung anzubieten", als Lücken identifiziert wurden, die im AM-Sektor geschlossen werden müssen. Was das Ausbildungsangebot angeht, so gibt es zwar eine Reihe von Kursen an Universitäten, die sich auf AM fokussieren (z.B. an der Cranfield University im Vereinigten Königreich), diese sind jedoch in erster Linie auf Masterniveau angesiedelt (Stufe 7 im European Qualifications Framework, kurz EQF). Da sie auf ein relativ hohes akademisches Niveau abzielen, könnten sie für viele Arbeitnehmer, die potenziell "qualifiziert" werden könnten, unzugänglich sein. In diesem Sinne wird eine höhere Anzahl von Qualifikationen für niedrigere EQF-Niveaus im AM-Bildungssystem für notwendig erachtet, vorzugsweise Qualifikationen, die auf europäischer/internationaler Ebene anerkannt sind. Andererseits erfordern hochkomplexe, vielfältige und wissensintensive Produktionsprozesse wie die additive Fertigung ein hohes Maß an Spezialisierung der Fähigkeiten und Kenntnisse, was von der großen Mehrheit der AM-Bildungszentren noch nicht berücksichtigt wird. Den im Rahmen des SAM-Projekts durchgeführten Studien zufolge, bieten die Schulungsanbieter ihre Schulungen in den Räumlichkeiten des Kunden oder im Schulungszentrum selbst an. Ein weiterer großer Teil der Schulungen wird online angeboten. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass einzelne Anbieter verschiedene Möglichkeiten nutzen, um Schulungen anzubieten (am Firmenstandort/Bildungszentrum oder als Mischung aus Präsenz- und Online-Schulungen, z.B. Blended Learning).

AREOLA kann als logische Entwicklung betrachtet werden, die einige der im SAM-Projekt aufgeworfenen Anliegen aufgreift, insbesondere die Notwendigkeit, praktische Ausbildung in einem flexibleren, zugänglicheren, effizienteren und skalierbaren Ansatz durchzuführen. Auf diese Weise wird das Projekt dazu beitragen, die große Zahl von Arbeitnehmern zu unterstützen, die bisher von traditionellen Lernangeboten vernachlässigt wurden und deren Potenzial zur

Höherqualifizierung dadurch verloren ginge. Maschinenbediener von Metall-PBF-LB-Anlagen fallen genau in diese Zielgruppe.

2. PR1 Präsentation

2.1 Allgemeine Informationen

Für die detaillierte interne Analyse wurden zunächst die Inhalte des bestehenden Berufsbildungsprofils für Metall-AM PBF-LB Maschinenbediener (definiert im Internationalen AM-Qualifizierungssystem - IAMQS -, das im Rahmen des SAM-Projekts entwickelt wurde) durch Desk-Research hinsichtlich seiner Zusammensetzung und Machbarkeit für die Implementierung von Augmented Reality oder/und Virtual Reality analysiert. Im Folgenden werden auch die Abkürzungen "AR" und "VR" für die Begriffe "Augmented Reality" und "Virtual Reality" verwendet. Zusätzlich wird die Abkürzung "XR" eingeführt, die für den Sammelbegriff "Extended Reality" steht und die Technologien AR und VR umfasst.

Dieser erste Schritt wird in Abschnitt 2.2.1 anhand eines Blended Learning- und AR/VR-Screenings durchgeführt. Im Einzelnen bedeutet dies, dass jede einzelne Lerneinheit ("Competence Unit" oder "CU") des Ausbildungsprofils auf ihr Potenzial für Blended Learning oder AR/VR-Unterstützung untersucht wurde.

Für den zweiten Schritt der Analyse im Rahmen von PR1 (Project Result 1) wurde eine Bewertungsmatrix entworfen, mit der einzelne Anwendungsfälle innerhalb der zuvor identifizierten Lerninhalte genauer analysiert werden können. Schließlich wurde jeder dieser Anwendungsfälle auf der Grundlage einer Reihe von Kriterien bewertet und klassifiziert. Die sich daraus ergebende Bewertungspunktzahl ermöglicht eine pragmatische Einschätzung, wie geeignet der einzelne Anwendungsfall für die Überarbeitung mit XR-Tools ist. PR3 wird diese Vorlage nutzen, um die Analyse potenzieller Anwendungsfälle abzuschließen, damit die Szenarien ausgewählt werden können, die mit Hilfe von XR-gestütztem Training behandelt werden sollen.

2.2 Task 1: Interne Analyse und Desk Research

2.2.1 *Blended Learning / Extended Reality Screening*

Ein wesentlicher Teil der Desk Research besteht in der Analyse des bestehenden Ausbildungsprofils für den Metall-AM PBF-LB Maschinenbediener. Jede einzelne CU wurde unter Berücksichtigung von vier Perspektiven überprüft: Training, Didaktik, XR und schließlich Normen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

AREOLA Course Objectives		CU Analysis				Comments
Content	Contact Hours	Training	Norms	Didactics	XR	
PBF-LB Process Principles	2h		x	x		
PBF-LB System - Hardware and Software	4h	x	x	x	x	shorter!
PBF-LB Parameters	3h	x	x	x		shorter!
PBF-LB Feedstock	2h		x	x		shorter!
PBF-LB Consumables	2h		x	x		shorter!
Post Processing	1h	x	x	x	x	

Abbildung 1: BL/XR-Screening

Die Spalten unter der ersten Überschrift "AREOLA Course Objectives" leiten sich direkt aus dem Inhalt des Trainingsprofils ab. "Content" spezifiziert die einzelnen Lernpakete, die im Profil angegeben sind, während "Contact Hours" die Zeit darstellt, die Trainer und Lerner physisch miteinander verbringen, um den spezifischen Inhalt zu bearbeiten.

Die zweite Rubrik ("CU-Analyse") fasst die Desk Research zusammen. Hier wurde jeder Lerninhalt im Hinblick auf die folgenden Ansätze bewertet, die umgesetzt werden könnten, nämlich

- Training (physische Ausbildung vor Ort)
- Didaktik (Lernkonzepte wie z.B. eLearning)
- XR (Extended Reality Inhalte)

Darüber hinaus wurde die Konformität der jeweiligen Lerninhalte mit der Norm ISO/ASTM 52942 " Additive Manufacturing - Qualification principles - Qualifying Machine Operators of Laser Metal Powder Bed Fusion Machines and Equipment used in Aerospace Applications " überprüft, soweit dies aufgrund der verfügbaren Daten möglich war. Dieser Leitfaden stellt die Grundlage der Ausbildung im Bereich AM für die Luft- und Raumfahrt dar. Sie bietet eine weltweite Standardisierung der Zertifizierung von PBF-LB Maschinenbedienern in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Hersteller, Zulieferer und Kunden sollten in der Lage sein, dem gegebenen Ausbildungsniveau zu vertrauen, wenn eine Zertifizierung vorliegt.

Damit der Standard seine Gültigkeit für unsere Module nicht verliert, müssen die Aktivitäten, die digital erweitert oder ersetzt werden, sorgfältig ausgewählt werden. So wurden die folgenden Untersuchungen und Recherchen sorgfältig durchgeführt, um eine mögliche Gefährdung der Akzeptanz des Zertifikats zu vermeiden.

2.2.2 XR-Bewertungsmatrix

Das Screening für die Nutzung von BL und XR in Abschnitt 2.1.1 zeigte großes Potenzial für die Anwendung von XR innerhalb des Lernpfads. Als nächstes wurde für die Analyse des Potenzials möglicher Anwendungsfälle innerhalb von PR3 eine XR-Bewertungsmatrix entwickelt. Dazu wurden viele verschiedene Kriterien gesammelt und geclustert, um eine angemessene Bewertung jedes einzelnen möglichen Anwendungsfalls zu ermöglichen.

Screenshots der vollständigen Version der Matrix sind in Anhang 2 dieses Berichts enthalten. Die unten abgebildete Version enthält alle Kriterien und zugehörigen Fragen, ohne die Anwendungsfälle zu bewerten.

Die folgenden Erläuterungen geben einen detaillierten Überblick über die Gesamtstruktur sowie über jedes einzelne in der Matrix definierte Kriterium.

Die Matrix besteht aus fünf Abschnitten, von denen jeder wiederum eine Sammlung von Fragen und Kriterien enthält. Die fünf Abschnitte sind wie folgt definiert:

Knock-Out-Kriterien / Knock-Out-Criteria

Um theoretische und analoge Inhalte erfolgreich in XR-Inhalte umzuwandeln, müssen einige Dinge als Grundvoraussetzungen berücksichtigt werden. Wenn diese Grundvoraussetzungen nicht erfüllt werden können, macht dies die Umsetzung dieses spezifischen Anwendungsfalls unmöglich.

Der Abschnitt "Knock-Out Criteria" fasst diese Kriterien zusammen und ermöglicht damit in einem ersten Bewertungsschritt eine Filterung aller theoretisch möglichen Anwendungsfälle ohne Berücksichtigung weiterer Kriterien. Zu den wichtigsten Kriterien in diesem Abschnitt gehören z.B. die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit geeigneter 3D/CAD-Daten. Wenn auf geeignetes 3D-Datenmaterial nicht zugegriffen werden kann oder IP-Rechte den Zugang verwehren, wird die Entwicklung von XR-Inhalten oft deutlich erschwert und teurer. Ist auch ein stark vereinfachtes Reverse Engineering von 3D-Daten nicht möglich, verhindert dies oft die Entwicklung von XR-Inhalten komplett.

Klassifizierung von Anwendungsfällen / Use Case Classification

Dieser Abschnitt bezieht sich pragmatisch auf die Eigenschaften des jeweiligen Anwendungsfalls. Aufgrund der Fähigkeit von XR, 3D-Animationen zu verwenden, eignen sich praktische Inhalte einer Anwendung oder Schulung (z.B. manuelle Arbeitsschritte) oft viel besser für die Umsetzung als XR-Inhalte als theoretische Inhalte (z.B. Software-Schulungen). Auch die Anzahl der Arbeitsschritte und die zusätzlich benötigten Werkzeuge oder Geräte spielen eine Rolle.

Business Case

Der Cluster "Business Case" geht noch einen Schritt weiter und bewertet nicht mehr nur, ob Anwendungsfälle grundsätzlich technisch möglich sind, sondern bezieht, wie die Bezeichnung sagt, auch wirtschaftliche Aspekte und Auswirkungen mit ein. Diese beziehen sich sowohl auf die Hardware, auf die der Inhalt zugeschnitten ist (unter Berücksichtigung der installierten Maschinenbasis sowie der Verkaufsprognosen), als auch auf Faktoren wie Zeitersparnis, wie

häufig Aufgaben ausgeführt werden oder ob XR-Inhalte bei der Erledigung von Aufgaben Zeit sparen könnten.

Risikobewertung / Risk Assessment

XR-Schulungsinhalte bieten die Möglichkeit, potenziell gefährliche Inhalte sicher abzubilden. Dies gilt sowohl für die zu schulenden Personen als auch für die verwendete Hardware. In diesem Abschnitt wird versucht, diese Risiken aufzuzeigen und zu bewerten.

XR-spezifisch / XR Related

Dieser letzte Abschnitt der Bewertung enthält Kriterien, die sich auf die XR-Entwicklung beziehen. Diese beruhen weniger auf Fakten, wie im Abschnitt "Business Case", sondern vielmehr auf Erfahrungen.

2.2.3 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Rahmen der Desk Research durchgeführte Analyse des Berufsbildes PBF-LB Maschinenbediener ein großes Potenzial für die Digitalisierung von Inhalten mittels XR-Technologien birgt. Auffällig ist, dass sich vor allem Competence Units mit einem Fokus auf manuell durchzuführende Ausbildungsinhalte, wie z.B. die Maschinenwartung, als geeignet für eine Transformation erweisen. Dies zeigt ein Blick auf die "CU 21: Maintenance of PBF-LB Systems" deutlich. Aber auch andere Inhalte sollten nicht vernachlässigt werden. Laut Desk Research kann es sich lohnen, auch Themen wie Sicherheit und Gesundheitsschutz (Health & Safety, kurz H&S) oder die Schulung von Maschinensoftware aufzunehmen. Diese Bereiche scheinen auf den ersten Blick nicht für die Umsetzung mit XR-Technologien geeignet zu sein, aber auch hier lassen sich Wege finden, diese Inhalte mit XR zu ergänzen und damit zu bereichern.

Zusammengefasst besteht das Profil aus 10 Competence Units, die sich wiederum aus insgesamt 43 einzelnen Lerneinheiten (Trainingseinheiten von 1-5 Stunden) zusammensetzen. Das Blended-Learning/Extended-Reality-Screening hat gezeigt, dass nur etwa 58% dieser Einheiten gut für klassisches Präsenztraining geeignet sind. Rund 72% hingegen eignen sich hervorragend für den Einsatz von didaktischen Lerntechnologien wie eLearning. Knapp 42% der Inhalte sind für den Einsatz von XR-Lerntechnologien geeignet, was das bereits erwähnte große Potenzial perfekt widerspiegelt.

Es ist zu beachten, dass diese Analyse ganz zu Beginn des Projekts durchgeführt wurde. Es ist nicht auszuschließen, dass sich die prozentuale Verteilung mit fortschreitendem Projektverlauf und zunehmender Erfahrung leicht verändert. Außerdem kann dieser erste Schritt der Analyse nur als grobe Annäherung verstanden werden. Eine genauere Analyse der einzelnen Anwendungen wird erst durch die im Folgenden erstellte und in PR3 angewandte XR-Evaluationsmatrix möglich sein.

Die Erstellung der XR-Bewertungsmatrix auf der Grundlage der Desk Research wird daher als notwendiges Instrument für die abschließende Bewertung der einzelnen Anwendungsfälle angesehen. Vor allem, wenn sie auf dem großen Potenzial basiert, das im BL/XR-Screening identifiziert wurde. Im Idealfall decken sich die Ergebnisse der evaluierten Anwendungen mit den

zuvor betrachteten Lerneinheiten der Competence Units. Abweichungen sind jedoch, wie bereits angedeutet, nicht auszuschließen.

2.3 Task 2: Entwicklung eines Interviewleitfadens

Für Task 2 wurde ein Interview-Leitfaden als methodischer Ansatz für die Einbeziehung von Partnern aus der Luft- und Raumfahrt entwickelt. Eines der Ziele dieses Interviews war es, die Ergebnisse der internen Bewertung möglicher Anwendungsfälle mit Expertenmeinungen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie und von Ausbildungsanbietern zu vergleichen. Dieser Ansatz ermöglichte einen objektiven Einblick in die Ergebnisse der internen Bewertung und deckte mögliche unberücksichtigte Anforderungen der Luft- und Raumfahrtindustrie und der Ausbildungsanbieter auf.

Die vollständige Fassung des Gesprächsleitfadens ist in Anhang 3 dieses Berichts beigefügt.

Im Allgemeinen bilden die folgenden Fragen den Kern der Forschung:

- Welche Art von AM-Ausbildung wird genutzt/benötigt?
- In welcher Form werden die Schulungen in Ihrer Organisation durchgeführt? (z.B.: interne Schulungen, ausgelagerte Schulungen, gemischte Schulungen, E-Learning, persönliche Schulungen)
- Wie führen Sie die praktische Ausbildung durch (intern oder durch Maschinenhersteller)?
- Haben Sie AR/VR-Tools für die Ausbildung in Betracht gezogen/eingesetzt und welche Erfahrungen haben Sie damit gemacht?
- Könnten AR/VR-Tools eingesetzt werden, um das persönliche Training zu ersetzen, oder ist es eine Ergänzung zur Unterstützung konventioneller Trainingswege?
- Wie wirkte/wirkt sich Covid19 auf die Ausbildung in Ihrer Organisation aus?

2.4 Task 3: Analyse der Interviewergebnisse

2.4.1 Präsentation der Ergebnisse

Die folgenden Seiten bieten einen Einblick und eine Zusammenfassung der Interviewergebnisse. Für die Datenerhebung mit den Teilnehmern wurde ein halbstrukturiertes Interviewformular verwendet. Das Interviewprotokoll wurde vom Projektleiter entwickelt und mit den Expertenmeinungen der anderen Partner abgestimmt. Das endgültige Protokoll enthält elf Fragen, die die Art der AM-Schulung, das Format der in Ihrer Organisation durchgeführten Schulung, die Art der praktischen Schulung, die Erfahrung mit AR/VR, die Ansicht über die Verwendung von AR/VR in der Schulung und die Auswirkungen von Covid-19 auf die Schulung betreffen.

Jedes Mitglied des Konsortiums führte mindestens ein Interview mit Stakeholdern der Luft- und Raumfahrtindustrie (OEMs oder Tier-1-Zulieferer) oder Schulungsanbietern. Die Interviews

wurden über Videoanrufe und persönliche Treffen geführt und dauerten etwa 30 Minuten. Insgesamt führte das Konsortium zwanzig Interviews durch. In Anbetracht der Art der qualitativen Daten sind zwanzig Interviews völlig ausreichend, um Schlussfolgerungen über die Bedürfnisse der Luft- und Raumfahrtindustrie und der Ausbildungsanbieter zu ziehen. Abschließend werden die wichtigsten und aussagekräftigsten Antworten aus allen Interviews in einer paraphrasierten Version wiedergegeben.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass alle Interviewergebnisse in anonymer Form zur Verfügung gestellt werden. Dennoch gibt die folgende Tabelle einen Überblick über die durchgeführten Interviews:

#	Industrie Sektor/Rolle	Land
1	Flugzeughersteller	USA
2	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Deutschland
3	Flugzeughersteller	Deutschland
4	Raumfahrtunternehmen	Deutschland
5	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Spanien
6	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Spanien
7	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Türkei
8	Forschungsinstitut	Deutschland
9	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Spanien
10	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Deutschland
11	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Deutschland
12	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Großbritannien
13	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Großbritannien
14	Luft- und Raumfahrtzulieferer	Großbritannien
15	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Portugal
16	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Portugal
17	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Spanien
18	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Türkei
19	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Italien
20	Berufsbildungs- und Ausbildungszentrum	Irland

Die Antworten der Teilnehmer wurden unmittelbar nach den Interviews in den Fragebogen eingetragen. Anschließend wurden die gesammelten Daten mit Hilfe der deskriptiven Analyse- methode ausgewertet und in Kategorien eingeteilt.

Durchführung von AM-Schulungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie und bei Schulungsanbietern

Für die meisten der Luft- und Raumfahrtunternehmen und Schulungsanbieter, mit denen wir gesprochen haben, scheint es von grundlegender Bedeutung zu sein, dass ihre Maschinenbediener nach den Methoden der offenen Ausbildung geschult werden, entweder an ihrem eigenen Standort oder in den Einrichtungen der OEMs. Dies unterstreicht die Bedeutung der von der überwiegenden Mehrheit der OEMs angebotenen Präsenzs Schulungen und spricht auch für deren Qualität.

Im Folgenden werden einige Kommentare zu den Interviews gegeben:

Frage	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
Bieten Sie Schulungen für die additive Fertigung an oder haben Sie vor, solche anzubieten?	<p>Ja, wir bieten technische Schulungen an.</p> <p>Ja, für unsere Maschinenbediener ist es eine Grundvoraussetzung, vom Maschinenanbieter geschult zu werden, auch wenn es eine hohe Fluktuation gibt.</p>	<p>Ja</p> <p>Ja, für Designer zu entwerfen oder im Allgemeinen Thema. Designer, Betreiber und wir sind bereit, dies auch für Ingenieure zu tun.</p>
Welche Art von AM-Ausbildung bieten Sie an?	<p>Allgemeine Schulung zu AM, um die Technologie besser zu verstehen, damit sie in Zukunft eingesetzt werden kann</p> <p>Schulung zum Postprocessing: Bearbeitung von AM-Teilen</p> <p>Sie benötigen eine Ausbildung in Konstruktionstechnik für AM, Berechnungen, Optimierung und Simulation von Komponenten.</p>	<p>PBF-LB; Einführungsstufe</p> <p>PBF-LB-Schulungen für Studenten und interne Mitarbeiter in kleinen Gruppen</p> <p>Wir verfügen über Polymer-, Metall-AM-, FDM-, SLS-, Stratasys 400-mc- und SLM-PBF-Maschinen und bieten Schulungen in diesen Bereichen an.</p>

<p>Wie führen Sie die praktische Ausbildung durch (intern oder durch Maschinenhersteller)?</p>	<p>Für uns ist es besonders interessant, eine erste persönliche Schulung durch den OEM in unseren eigenen Einrichtungen zu erhalten. Für alle anderen Kollegen, die in den AM-Prozess involviert sind, können die Personen, die zuerst die OEM-Schulung erhalten haben, andere weiterbilden.</p> <p>Zwei leitende Bediener werden vom Maschinenhersteller geschult, diese leitenden Bediener schulen das zusätzliche Personal intern.</p> <p>Es wird kein spezielles Schulungsmaterial verwendet, die Schulung basiert auf den im Maschinenhandbuch festgelegten Betriebsverfahren.</p> <p>Alle Maschinenbediener nehmen an der Grundschulung zur Maschinenbedienung teil. Aufgrund der geringen Anzahl von AM-Mitarbeitern wird die persönliche Schulung recht teuer, daher wurden auch Fernschulungen durchgeführt, insbesondere während der Covid-Zeiten.</p> <p>Die praktische Ausbildung wird vor Ort an unseren eigenen Maschinen durchgeführt.</p> <p>Alle unsere Maschinenführer haben die persönliche Schulung zur Maschinenbedienung durchlaufen. Soweit wir uns das vorstellen können, würden wir das auch für neue Kollegen tun. Wir wollen sicherstellen, dass alle richtigen Techniken und Sicherheitsvorkehrungen getroffen</p>	<p>Die Ausbildung an der Pulverbettmaschine erfolgt im Haus.</p> <p>Hausintern</p> <p>Im Moment sind wir dabei, Blended Learning einzuführen, d.h. einige Module werden online, d.h. theoretisch, stattfinden. Diese werden beide im Hause durchgeführt.</p> <p>Wir sind dabei, unsere Lernelemente zu entwickeln. Wir wollen zuerst die theoretischen Teile vermitteln und sie dann mit einer praktischen Einheit verstärken, damit die Schulungen integrierter sind.</p>
--	--	--

	<p>werden. Bei kleineren Verfahren würden wir das intern machen.</p> <p>Für unsere Maschinenbediener ist es eine Grundvoraussetzung, vom Maschinenanbieter geschult zu werden, auch wenn die Fluktuation hoch ist. Es geht nicht nur um die Bedienung der Maschine, sondern auch um das Hintergrundwissen, das für unsere Bediener wichtig ist. Neue Kollegen arbeiten in der Regel einige Wochen mit erfahrenen Kollegen zusammen, bevor sie zu EOS geschickt werden. Wir halten die Schulung vor Ort für noch effizienter, wenn die Bediener bereits ein gewisses Maß an Vorwissen erworben haben. Sie sind dann offener für zusätzliche Informationen.</p>	
--	---	--

Den Ergebnissen zufolge gibt es sowohl in der Luft- und Raumfahrtindustrie als auch bei den Berufsbildungsanbietern Schulungen zur additiven Fertigung (AM), die auf unterschiedlichen Ebenen angeboten werden. Im Falle der Industrie wird die Ausbildung intern, extern oder durch den OEM der AM-Maschine durchgeführt. Ausbildungsanbieter bieten jedoch häufig interne Schulungen an, auch wenn der OEM der AM-Maschine diese durchführt.

Bewusstsein für AR/VR-Tools in der AM-Ausbildung

Um das Wissen der Industrie und der Bildungsanbieter über AR/VR zu erklären, wurden den Teilnehmern einige Fragen gestellt.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, haben 57% der Befragten Kenntnisse über AR/VR und 43% haben teilweise Kenntnisse über AR/VR. Allerdings haben alle Befragten eine Vorstellung davon, was AR/VR ist.

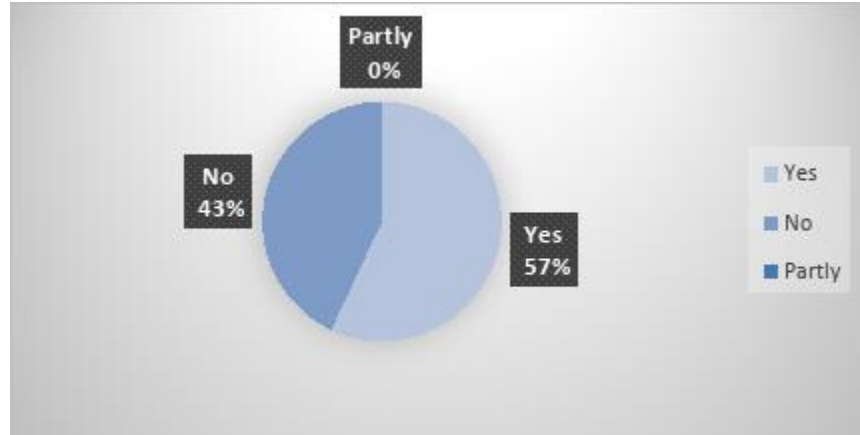


Abbildung 2: Wissen über AR/VR

Die Teilnehmer wurden ebenfalls gefragt, ob AR/VR die Ausbildung unterstützen kann oder nicht. Fast alle Teilnehmer gaben an, dass ihrer Meinung nach AR/VR als Hilfsmittel in der Ausbildung eingesetzt werden kann (siehe Abbildung 3).

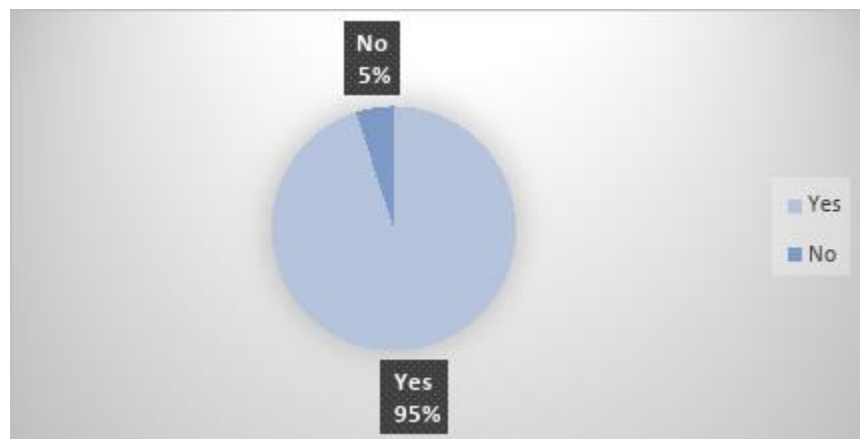


Abbildung 3: AR/VR als Trainingsunterstützung

Die Teilnehmer wurden gefragt, ob sie bereits AR/VR-Tools für die Durchführung von Schulungen verwendet haben (Abbildung 4), die Mehrheit Teilnehmer beantworteten die Frage mit "ja".

Es ist allerdings anzumerken, dass AR/VR im Allgemeinen für die Ausbildung von Führungskräften eingesetzt wurde, keine der befragten Organisationen verwendet AR/VR für die praktische AM-Ausbildung.

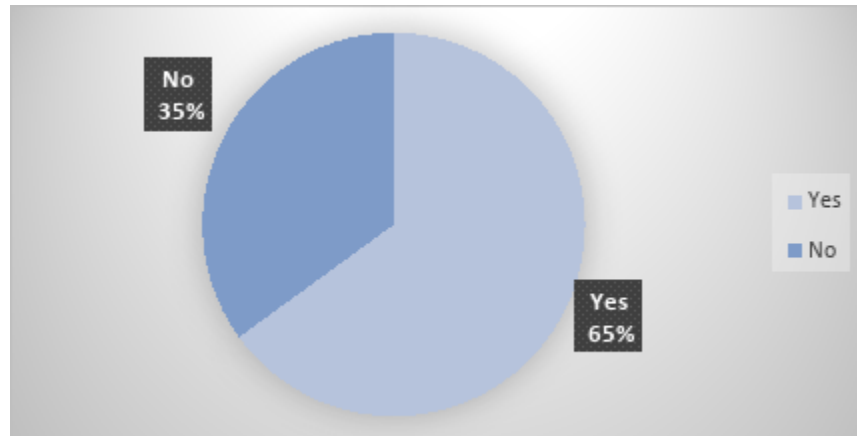


Abbildung 4: Einsatz von AR/VR in der Ausbildung

Die obigen Diagramme vermitteln ein klares Bild von der Anwendung von AR/VR-Technologien in der Luft- und Raumfahrtausbildung. Die Darstellungen zeigen, dass alle befragten Luft- und Raumfahrtorganisationen und Schulungsanbieter AR/VR-Technologien kennen. Zumindest gibt es in jeder Gruppe von Befragten Teilnehmer, die mit der Technologie vertraut sind. Nur einzelne Befragte waren mit der Technologie nicht vertraut oder waren sich der Unterscheidung zwischen AR und VR nicht sicher. Innerhalb jeder Befragtengruppe herrschte Einigkeit darüber, dass die Technologien für den Einsatz im Ausbildungsbereich geeignet sind, wobei 65 % der Branchenvertreter und Ausbildungsanbieter AR/VR-Tools in die Ausbildung integrieren.

Die folgenden paraphrasierten Zitate geben einen besseren Einblick in die aktuelle Rolle von AR/VR in der Ausbildung von Luft- und Raumfahrtunternehmen:

Frage	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
Haben Sie AR/VR-Tools zur Durchführung von Schulungen verwendet?	Wir haben sie nicht selbst eingesetzt, aber ich weiß, dass sich in unserem Unternehmen etwas mit dieser Technologie tut. Unser Unternehmen testet die AR-Technologie bereits auf dem Gebiet der Montage. Wir könnten uns den gleichen Aufbau für Wartungsarbeiten an einer AM-Maschine vorstellen.	Ja, wir erwägen den Einsatz von AR/VR-Tools. Wir sollten von Schulungszwecken ausgehen, also manchmal für Unternehmen, die nicht über die entsprechenden

	<p>Unsere Erfahrungen mit AR/VR stammen aus der Implementierung solcher Tools für die Ausbildung im Lichtbogenschweißen. Aus der Perspektive der Befragten kann AR/VR in der Anfangsphase der Ausbildung als Ersatz verwendet werden. Ab einem bestimmten Niveau ist es schwieriger, sie einzusetzen, da sie dann ihren Nutzen verlieren. Zumindest für das Lichtbogenschweißen sind die Erfahrungen gut, AR/VR kann als ergänzendes Werkzeug für die praktische Ausbildung eingesetzt werden.</p> <p>Wir haben AR/VR-Tools hauptsächlich in der Managementschulung eingesetzt.</p> <p>Wir haben AR/VR für eine Fertigungsaufgabe genutzt, die wir einmal für die schnelle Lieferung von Beatmungsgeräten für Covid-Patienten durchgeführt haben. Danach wurden weitere MS HoloLens gekauft, um die Kommunikation zwischen den Standorten zu unterstützen, wenn die Reisemöglichkeiten eingeschränkt waren. Wir haben drei Anwendungsfälle festgelegt: Schulung, Fernunterstützung und Qualitätssicherung. Obwohl die Nutzung relativ gering ist (es wird ein internes "Audit" der Nutzung durchgeführt), hat sich der Einsatz von AR/VR-Tools in einigen Fällen als sehr hilfreich erwiesen, z.B., um zu vermeiden, dass wichtige technische Experten um die Welt reisen müssen, um verschiedene Standorte zu besuchen.</p>	<p>Einrichtungen verfügen. Sie sind weit vom Schulungszentrum entfernt oder wenn man Material und Ressourcen sparen will, sind AR/VR-Tools sehr effektiv.</p> <p>Ja, es wird ein Virtual-Reality-Schweißgerät verwendet. Dieses Tool kann die reale Erfahrung nicht vollständig ersetzen. Es ermöglicht jedoch die Simulation sehr komplizierter Szenarien, die im wirklichen Leben nicht einfach nachgebildet werden können, wie z.B. das Schweißen in verschiedenen Positionen.</p>
--	--	---

Ansichten zum Einsatz von AR/VR in der Ausbildung

Die Teilnehmer wurden gefragt, was sie über die negativen (Einschränkungen) und positiven (Vorteile) Aspekte des Einsatzes von AR/VR-Tools in der Ausbildung denken, um detailliertere Informationen über den Einsatz von AR/VR-Tools in der Luft- und Raumfahrtindustrie und den Ausbildungsanbieter zu erhalten. Einige Zitate der Teilnehmer lauten wie folgt:

Fragen	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
Sehen Sie Grenzen für den Einsatz von AR/VR-Tools in	Für die Ausbildung unserer Mitarbeiter haben wir uns intern noch strengere Regeln auferlegt, als die Norm vorschreibt. Die XR-Inhalte müssten daher auch unseren strengeren Regeln entsprechen. Dies könnte	Erfordert hochqualifizierte Ausbilder, die die Ausbildung durchführen. Es gibt viele Variablen, die ins Spiel kommen, wenn

<p>der praktischen Ausbildung?</p>	<p>auch bei anderen Unternehmen der Fall sein, was eine Herausforderung für die Erstellung von XR-Inhalten darstellen könnte. Grundlegende Informationen könnten jedoch über XR-Technologien übertragen werden.</p> <p>Mit der Zeit wird jede Maschine einzigartig, da immer mehr Wartungsarbeiten an ihr durchgeführt werden. Standardschulungen können nicht mit dem tatsächlichen Zustand der Maschine übereinstimmen. Die Grundschulung sollte jedoch nahe genug sein.</p> <p>Sich in die XR-Umgebung hineinzusetzen, könnte komplizierter sein als die Aufgabe, die man eigentlich zu erledigen hat.</p> <p>Headsets sind oft nicht die beste Lösung. Min. 1 Std. - Aufwand für die Einrichtung des Geräts (dieser Wert kann sich bei häufiger Nutzung ändern). Max. 4 Std. - Unbequemes Tragen über einen längeren Zeitraum.</p> <p>Einschränkung, wenn die Anzeigen z.B. in engen, unzugänglichen Bereichen einer Maschine usw. angebracht werden sollen, zu denen auch der Bediener keinen guten Zugang hat (konstruktive Einschränkungen je nach Art der Tätigkeit).</p> <p>Wenn Sie nur virtuell trainiert wurden, haben Sie kein Gefühl für die Kräfte, die Sie brauchen, um etwas zu öffnen oder zu entriegeln. Wenn man in die Realität zurückkehrt, hat man Angst, zu viel Kraft auf etwas zu verwenden.</p> <p>Bei VR gibt es im Grunde keine Bedenken, aber es fehlt die Haptik, d.h. das Gewicht z.B. beim Abfüllen oder Umfüllen von Pulver kann</p>	<p>es um PBF-LB geht, und es kann sich als sehr schwierig erweisen, eine Simulation zu erstellen, die genau wiedergibt, was im wirklichen Leben passiert.</p> <p>Diese Werkzeuge sind teuer. Es ist schwierig, mit ihnen komplexe Szenarien zu erstellen.</p> <p>Das Fehlen eines echten Gefühls.</p> <p>Sie ist noch nicht zu 100% repräsentativ für die Realität und muss noch entwickelt werden.</p> <p>Manchmal wollen die Schüler die Brille nicht tragen, weil die Brille Auswirkungen hat. Einige wissenschaftliche Studien wiesen auf die Auswirkungen von Schwindel, Übelkeit und so weiter hin.</p> <p>Wenn Sie nicht für jeden Schüler eine Brille haben, müssen sie aufeinander warten, was Zeit kostet.</p> <p>Wenn eine Software nicht über eine gute Qualität und Auflösung verfügt, haben diese Inhalte eine Nebenwirkung auf die Nutzer.</p>
------------------------------------	--	---

	<p>nicht nachempfunden werden. Das wäre wahrscheinlich die größte Schwierigkeit.</p> <p>Die Kosten für die Brille können je nach Aufgabenstellung eine Einschränkung darstellen.</p> <p>Bei risikoreicheren Aufgaben ist es noch wichtiger, die Hände an der Maschine zu haben (aber die AR/VR kann ein erster Einstieg sein).</p> <p>Einige Mitarbeiter scheinen neuen Ansätzen gegenüber abgeneigt zu sein. Im Idealfall gibt es jemanden, der IT-Probleme lösen kann. Die Benutzer müssen mit den Geräten vertraut gemacht werden, bevor die Schulung beginnt.</p> <p>AR/VR ist nicht so effektiv wie Präsenzunterricht, bei dem die Teilnehmer zusammenarbeiten müssen.</p> <p>Um den größtmöglichen Nutzen aus diesem Ansatz zu ziehen, müssen sich alle Teilnehmer wohlfühlen/entspannen. Einige Arbeitnehmer haben Schwierigkeiten mit den AR/VR-Geräten - insbesondere ältere Arbeitnehmer und solche ohne Erfahrung mit Computerspielen.</p> <p>Komplexität für das Thema der kurzen Trainingssequenzen. Denn für jeden Bedarfsfall müsste ein digitales Modell entwickelt werden, das sich möglicherweise nicht rechnet.</p>	
--	--	--

Die Meinungen der Teilnehmer zu den negativen Aspekten oder voraussichtlichen Einschränkungen der AR/VR-Nutzung waren recht ähnlich. Im Allgemeinen gaben die Teilnehmer

an, dass einige Einschränkungen bei der Nutzung von AR/VR aufgrund der Kosten für AR/VR-Brillen, der Unzulänglichkeit für komplexe Themen, des Widerstands des zu schulenden Personals und des fehlenden Realitätssinns bestehen.

Auf der anderen Seite wurden die Vorteile und positiven Seiten der Nutzung von AR/VR von den Teilnehmern wie folgt erklärt:

Frage	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
<p>Welche Vorteile sehen Sie im Einsatz von AR/VR-Tools für die Ausbildung?</p>	<p>Wir konnten einige Trockenläufe mit einem pulverfreien Filter durchführen, aber wir könnten uns vorstellen, dies in einer virtuellen Umgebung zu tun, um noch näher an die Realität heranzukommen, ohne die Maschinen laufen zu lassen.</p> <p>XR kann dazu beitragen, mehrere Sinne gleichzeitig anzusprechen, was den Lernerfolg erhöht.</p> <p>Mögliche Anwendungen: RFS, Umgang mit Gefahrstoffen, HSE.</p> <p>Sicherlich im Bereich des Filterwechsels oder zum Einrichten der Maschine. Wir haben das Einrichten der Maschine in Papierform oder als PDF beschrieben. Digitale Werkzeuge könnten die Dinge einfacher machen, auch wenn es um Dokumentation und Qualitätssicherung geht, aber auch um die Sicherheit der Mitarbeiter.</p> <p>Es gibt also zwei Anwendungsbereiche. Der eine ist die Erstausbildung und der andere die digitale Unterstützung bei der Ausführung der Aufgaben.</p> <p>Der Filterwechsel war der furchterregendste Teil der Schulung, beim Rest fühlten wir uns recht wohl. Wenn man einen Weg finden könnte, den Filterwechsel zu lehren, ohne</p>	<p>Es ist wirklich nützlich für die Vorführung von Maschinen, also wirklich hilfreich für die Teilnehmer. Zum Beispiel bei der Reinigung des Bettes und wie das aussehen würde, wenn sie nicht vor Ort sein können. Ich denke, das wäre sehr nützlich.</p> <p>Um die Risiken zu vermeiden, die während der Ausbildung immer auftreten können, wenn Sie mit Schweiß- und Prüfprozessen konfrontiert werden, können Sie diese entweder mit Augmented Reality oder Virtual Reality durchführen.</p> <p>Sie können Ressourcen einsparen und haben eine viel größere Verfügbarkeit und Flexibilität, um den Prozess so durchzuführen, wie Sie es wünschen.</p> <p>Diese Maschinen sind sicher für gefährliche Aufgaben.</p> <p>Sie geben den Schülern visuelle Anregungen.</p>

	jemanden dem Risiko auszusetzen, dann sollte man es tun.	Sie können einen Prototyp machen oder im wirklichen Leben kann die Verschwendung von Materialien Stahl oder Titan zu vermeiden.
--	--	---

Die meisten Teilnehmer gaben an, dass AR/VR-Tools nützlich sind, um Ausbilder vor gefährlichen Chemikalien oder Aufgaben zu schützen, um Materialverschwendung zu vermeiden, um Ausbilder in eine neue Aufgabe einzuführen und um sich in eine reale Erfahrung hineinzusetzen.

Die Rolle von AR/VR in der Ausbildung

Covid-19 hat unbestreitbar schwerwiegende Auswirkungen auf die Bildungsprozesse gehabt. Sowohl die Stakeholder der Industrie als auch die Bildungsanbieter erwähnten, wie sich Covid-19 auf die Durchführung der Ausbildung ausgewirkt hat:

Frage	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
Wie hat/ist Covid-19 die Art und Weise verändert, wie Sie sich weiterbilden?	<p>Unter Einhaltung aller Sicherheitsprotokolle konnten wir die Schulung vor Ort im EOS Schulungszentrum durchführen.</p> <p>Eine Schulung fand innerhalb von Covid statt. Wir waren jedoch in der Lage, die Schulung vor Ort unter Einhaltung aller Sicherheitsprotokolle durchzuführen. Für einige Schulungen baten wir um Online-Schulungen/MS-Teams-Sitzungen.</p> <p>Covid hat die Art und Weise, wie wir Schulungen durchführen, völlig verändert. Es gibt kein persönliches Training von Angesicht zu Angesicht mehr, und es gibt einige Barrieren, die bei der Fernschulung nicht berücksichtigt werden können, wie z.B. die persönliche Interaktion und das Maß an Aufmerksamkeit der Teilnehmer während der gesamten Sitzung.</p>	<p>Während Covid-19 haben wir nur die theoretische Ausbildung durchgeführt.</p> <p>Früher dachte niemand über Online-Schulungen nach, aber heute wollen fast alle Studenten Online-Schulungen absolvieren. Das hat einige positive und negative Folgen. Positiv ist, dass man von überall aus an Schulungen teilnehmen kann, ohne Zeit mit dem Besuch von Schulungszentren zu verschwenden. Aber stellen Sie sich vor, Sie sind zu Hause und haben einige Verpflichtungen (Kinder, Kochen usw.), so dass unter diesen Umständen die Effizienz der Ausbildung abnimmt - dies ist eine der negativen Seiten des Online-Lernens.</p>

	<p>Covid-19 war für die Ausbildung sehr störend - schließlich wurden Online-(TEAMS) und Social-Media-Plattformen für die Ausbildung eingeführt. Wir evaluieren auch neue Online-Schulungsplattformen wie EDX und Udacity.</p>	<p>Wir haben alle Schulungen auf die Online-Plattform verlagert. Wir stellten den Teilnehmern die in den Schulungen verwendete Software mit Laptops zur Verfügung. Aber als wir in der Lage waren, die Lektionen persönlich zu halten, wurden unsere Schulungen zu 100 % praktisch und persönlich.</p>
--	---	--

Covid-19 wirkte sich besonders negativ auf die praktische Ausbildung aus, da sowohl die Industrie als auch die Ausbildungsanbieter nicht über genügend Ausbildungsmaterial für diese Ausbildung verfügten. Während Covid-19 konzentrierte sich die Ausbildung vor allem auf die theoretische Ausbildung, praktische Ausbildungslücken wurden geschlossen, als persönliche Schulungen durchgeführt werden konnten.

Die Verbreitung von Technologien und die Integration von Technologie in die Bildung können die Ausbildung unterstützen, aber nach Meinung der meisten Teilnehmer können AR/VR-Tools die persönliche Ausbildung nicht vollständig ersetzen.

Frage	Stakeholder der Industrie	Schulungsanbieter
<p>Könnten AR/VR-Tools als Ersatz für die persönliche Ausbildung oder als Ergänzung zu den herkömmlichen Ausbildungswegen eingesetzt werden? Welche Rolle könnten AR-/VR-Tools in der Ausbildung spielen?</p>	<p>Wenn Sie Ihre erste Maschine kaufen, ist eine persönliche Schulung erforderlich. Wenn Sie jedoch einen ersten Spezialisten haben und weitere Mitarbeiter hinzukommen, könnten Sie diese virtuell unterrichten und die erfahrene Person könnte anschließend eine praktische Schulung durchführen, um den Zeitaufwand für die praktische Schulung zu verringern. Ich glaube nicht, dass Sie die praktische Ausbildung ganz abschaffen können, es sollte eine Kombination sein.</p> <p>Nicht als Ersatz. Es kann verwendet werden, um die Dauer der persönlichen Schulung zu verkürzen.</p> <p>Wir können es nicht oft genug betonen, aber wir sehen AR/VR-Tools als Ergänzung zu den herkömmlichen</p>	<p>Zu AR kann ich nichts sagen, da es nicht möglich ist, die Brille über einen längeren Zeitraum zu tragen, und es nicht bezahlbar ist, jedem Schüler eine Brille zur Verfügung zu stellen. Ich kann jedoch sagen, dass VR zu 100 % durch konventionelles Training ersetzt werden könnte.</p> <p>Die Ausbildung kann nicht vollständig virtuell durchgeführt werden. Ich schätze, dass bis zu 80 % der Ausbildung virtuell durchgeführt werden könnten.</p>

	<p>Ausbildungswegen. Auf keinen Fall würden wir den ersten persönlichen Kontakt mit dem Technologieanbieter ersetzen, wenn möglich in unseren eigenen Einrichtungen. Für uns wäre es ein unterstützendes Werkzeug dafür, oder sogar für sekundäre Schulungen, die ein geringeres Maß an Immersion erfordern.</p> <p>Sie könnte die Vorspezialisierung teilweise ersetzen. Es wäre ein ergänzendes Instrument. Es ist sehr interessant, das Personal für die Ausbildung neuer Mitarbeiter zu reduzieren.</p> <p>Flexibilität der Szenarien, die jederzeit angezeigt werden können, insbesondere für Tätigkeiten, die nur selten vorkommen, z.B. an Maschinen, die nur 2-3 Mal pro Jahr gewartet werden.</p>	<p>Wir können AR/VR in einigen bestimmten Themenbereichen einsetzen; es ist jedoch nicht möglich, die herkömmliche Ausbildung vollständig zu ersetzen. Aber wenn Sie eine praktische Ausbildung wünschen und darauf warten können, ist AR-VR eine gute Lösung.</p>
--	--	--

2.4.2 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Interviews mit der Industrie und den Bildungsanbietern, der aktuelle Einsatz von AR/VR in der Ausbildung und die Ansichten der Teilnehmer zu diesem Thema haben die Notwendigkeit des AREOLA-Projekts bestätigt.

Geeignete Themen für AR/VR

AR/VR ist ein geeigneter Ansatz, um bereits geschulte und erfahrene Bediener neue Kollegen, die sich vielleicht an einem anderen Ort befinden, schulen zu lassen. AR/VR kann zur Verstärkung/Auffrischung von Schulungen eingesetzt werden, die zuvor von Angesicht zu Angesicht durchgeführt wurden. Hier könnten durch AR/VR-Technologien optimierte Lerninhalte eine geeignete Alternative sein, um neuen Kollegen Wissen auf zuverlässige und korrekte Weise zu vermitteln. Insbesondere AR/VR-Tools wären effizient, um neue Kollegen zu schulen oder Auszubildende eine neue Maschine oder Aufgabe vorzustellen. In einem Industrieunternehmen beispielsweise laufen neue Kollegen einige Zeit mit erfahrenen Kollegen im regulären Tagesablauf mit und werden dann mit ihrem bereits erworbenen Vorwissen zur OEM-Face-to-Face-Schulung geschickt. Auch bei AR/VR-Schulungen kann der Aufwand, den erfahrene Kollegen für die Schulung neuer Maschinenbediener betreiben, deutlich reduziert werden, ohne dass die Qualität der Schulung leidet.

Aus praktischer Sicht ist der Einsatz von AR/VR-Tools für die Ausbildung im Luft- und Raumfahrtsektor geeignet und wird zur praktischen Ausbildung beitragen. Insbesondere beim

Einsatz in Fragen der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes, in Einführungsfächern und bei Anwendungen, in denen kostenintensive Materialien verwendet werden, können sie dazu beitragen, Arbeitsunfälle zu reduzieren, Schäden an Maschinen zu vermeiden und Ressourcen zu sparen. Zur Veranschaulichung: In der Regel beginnt die persönliche Schulung der Bediener mit einer gründlichen Einführung in Fragen der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes, einschließlich der persönlichen Schutzausrüstung. Während der persönlichen Schulung wird kontinuierlich auf diese Themen eingegangen, und sie werden auch beim Umgang mit der realen Maschine erwähnt. Dennoch scheint es bei den befragten Ausbildern in der Luft- und Raumfahrtbranche einen zusätzlichen Bedarf an Fortbildung im Bereich Sicherheit und Gesundheitsschutz zu geben, der möglicherweise mit Hilfe digitaler Inhalte befriedigt werden könnte. Ein weiteres Beispiel: Beim Üben des Filterwechsels können die Auszubildenden mit Metallkondensat in Kontakt kommen, und die Tätigkeit ist oft nur mit persönlicher Schutzausrüstung (PSA) möglich. AR/VR-Tools bieten den Bedienern die Möglichkeit, Schulungen durchzuführen, ohne mit gefährlichen Stoffen in Kontakt zu kommen. Darüber hinaus wird der Betrieb der Anlage nicht gestört.

Die innovativen Ansätze der AR/VR-Technologien können, wenn sie als Ergänzung zur traditionellen Ausbildung eingesetzt werden, die Ausbildung in vielerlei Hinsicht unterstützen und effizienter gestalten. Zum Beispiel haben Auszubildende dank AR/VR-Technologien die Möglichkeit, Schulungen jederzeit zu wiederholen. Vor allem bei E-Learning-Prozessen ist die praktische Ausbildung nützlicher, da sie den Auszubildenden durch Simulationen der Umgebung echte Lebenserfahrungen vermittelt. Außerdem kann die Ausbildung durch AR/VR-Tools zugänglicher und kostengünstiger werden. Die Auszubildenden müssen nicht zu einem Ausbildungszentrum reisen.

AR/VR vs. Konventionelles Training

AR/VR-Tools sind sicherlich Mittel zur Verbesserung der Qualität und Effizienz der Bildung. Aufgrund einiger Einschränkungen können AR-/VR-Tools jedoch nicht vollständig den Präsenzunterricht ersetzen. Bei der Entwicklung von AR/VR-Inhalten ist das Abweichen von der Norm in der Tat eine nicht zu unterschätzende Herausforderung, da schon kleine Änderungen am Inhalt zu großen Veränderungen z.B. der 3D-Daten führen können. Im Rahmen des AREOLA-Projekts wird es daher besonders wichtig sein, standardisierte Prozesse zu identifizieren, die für alle Organisationen gleichermaßen relevant sind. Eine weitere wesentliche Einschränkung ist das Fehlen von haptischen Wahrnehmungen und Rückmeldungen bei der Schulung mit AR/VR. Gerade für neue Maschinenbediener ist es wichtig, ein gutes Gefühl für die Kräfte zu bekommen, die bestimmte Tätigkeiten erfordern. Die Auswahl geeigneter zu digitalisierender Inhalte geht einher mit deren Komplexität und dem daraus resultierenden Einsatz von AR/VR-Geräten (insbesondere Headsets). Zum einen darf der Aufbau der AR/VR-Inhalte die eigentlichen Lerninhalte nicht weiter verkomplizieren und unnötig in die Länge ziehen. Zum anderen sollte eine zusammenhängende Lerneinheit eine bestimmte Zeitspanne nicht überschreiten, um das unangenehme Tragen von z.B. Headsets über einen längeren Zeitraum zu vermeiden.

Selbst wenn die Vorschriften/Standards (wie ISO/ASTM 52942) es erlauben, die gesamte Ausbildung virtuell durchzuführen, wollen die Luft- und Raumfahrtunternehmen nicht zu 100 % auf digitale Ausbildung umsteigen. In der Tat sind die meisten Befragten der Meinung, dass

konventionelle Schulungen niemals vollständig durch digitale Inhalte ersetzt werden sollten. AR/VR wird meist als nützlicher ergänzender Ansatz gesehen. Im Rahmen des AREOLA-Projekts müssen die richtigen Inhalte, wie z.B. hochgefährliche Situationen und zeitaufwändige Aufgaben, für die Umwandlung gefunden werden, um die effektivste Kombination aus Vor-Ort-Schulungen und digitalen Schulungen zu finden.

3. Schlussfolgerung

Um eine abschließende Bewertung von PR1 vornehmen zu können, werfen wir noch einmal einen Blick auf beide Teile der Analyse, die zunächst durchgeführte Desk Research ("Blended Learning & Extended Reality Screening") und die anschließende Analyse der Branche und der Bildungsanbieter, die beide durch Interviews erhoben wurden. Aus der Desk Research ergaben sich zwei klare Trends. Erstens, dass das Berufsbildungsprofil für Metall PBF-LB Maschinenbediener sehr gut für den umfassenden Einsatz von Extended Reality Technologien geeignet ist und zweitens, dass auf den ersten Blick praktische "Hands-on"-Tätigkeiten wie Wartungsarbeiten besonders geeignet sind.

In PR3 werden diese ersten Grobresultate noch einmal detailliert mit der in PR1 entwickelten "XR Evaluation Matrix" überprüft und mit den Interviewergebnissen abgeglichen, bevor sie schließlich in die Produktion gehen.

Vergleicht man die Ergebnisse dieser ersten theoretischen Analyse mit den Entwicklungen und Ideen auf dem Markt, so ergeben sich deutliche Überschneidungen. Ein Beispiel dafür ist der bereits mehrfach erwähnte Umgang mit dem Filtersystem von PBF-LB Anlagen. Aus Sicht der Industrie und der Schulungsanbieter werden diese Schritte, meist während des Einrichtungsprozesses oder der Wartung, aus verschiedenen Gründen nicht ausreichend geschult. Dies kann aus Sicherheitsgründen oder einfach aus Zeitmangel geschehen, um kritische und/oder komplexe Vorgänge wiederholt durchzuführen. Neben Überschneidungen bei den offensichtlich geeigneten Prozessen, wie z.B. den manuellen Wartungsprozessen, wurden von Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrt auch Schulungsinhalte wie Gesundheit und Sicherheit genannt. Für diese speziellen Schulungsinhalte könnten XR-Tools in erster Linie dazu dienen, die Klarheit und das Engagement zu verbessern.

Grundsätzlich könnte der Einsatz digitaler Technologien wie Augmented Reality oder Virtual Reality die Vermittlung dieser Inhalte revolutionieren und damit Effizienz und Effektivität deutlich steigern.

4. Anhang

Anhang 1: Blended Learning / Extended Reality Screening

AREOLA Course Objectives		CU Analysis				Comments
Content	Contact Hours	Training	Norms	Didactics	XR	
CU00: Additive Manufacturing Process Overview	3,5h					
Directed Energy Deposition	0,5h			x		shorter!
Powder Bed Fusion	0,5h		x	x		as review to TR
Vat photopolymerization	0,5h			x		shorter!
Material Jetting	0,5h			x		shorter!
Binder Jetting	0,5h			x		shorter!
Material Extrusion	0,5h			x		shorter!
Sheet Lamination	0,5h			x		shorter!
CU15: PBF-LB Process	14h					
PBF-LB Process Principles	2h		x	x	x	shorter!
PBF-LB System - Hardware and Software	4h	x	x		x	shorter!
PBF-LB Parameters	3h	x	x	x		shorter!
PBF-LB Feedstock	2h		x	x		shorter!
PBF-LB Consumables	2h		x	x		shorter!
Post Processing	1h	x	x	x	x	
CU16: Quality Assurance (QA) in PBF-LB	7h					
General QA Principles	2,5h	x	x	x		shorter!
AM Machine QA	1,5h	x	x	x		
AM Parts QA	1h	x	x	x		
Visual Inspection Overview	2h	x	x		x	
CU17: Health, Safety and Environment (HSE) in PBF-LB	3,5h					
Health, Safety and Environment	3,5h	x	x	x	x	everywhere
CU18: Hardware, software and build file set-up for PBF-LB	14h					
PBF-LB machine set-up requirements	4h	x	x		x	shorter!
Pre-build check list - APS/pAPS	3h	x	x	x		APS/pAPS?
Consumables, feedstock and substrate	3h	x	x	x		shorter!
Build Files	1h		x	x		
Work Documentation	2h	x	x	x		shorter!
Practical implementation of HSE procedures (while fit and set up the machine)	1h	x	x	x	x	everywhere
CU19: Monitoring and managing the manufacturing of the PBF-LB part	3,5h					
Machine functionalities	2h	x	x		x	=> for practice
HSE Procedures	0,5h	x	x		x	Content?
Documentation	1h	x	x	x		into APS?
CU20: Post Processing of PBF-LB parts	7h					
Post-build cycle operations	3h	x	x		x	shorter!
Manual tools and methods for post-processing operations	4h	x	x	x		shorter!
CU21: Maintenance of PBF-LB systems	7h					
General maintenance aspects	2h	x	x		x	
Optical elements	0,5h	x	x		x	
Parts maintenance	1,5h		x		x	
Gas supply system	0,5h		x			Content?
Auxiliary elements maintenance	1,5h	x	x	x	x	=> more
Application driven material change	1h		x	x	x	
CU48: Powder Handling	7h					
Overview of Powder Manufacturing Processes	1h		x			Content?
Chemical Composition and Physical Properties	2h		x	x		
Particle Size Distribution	0,5h		x	x		
Powder Storage, handling, ageing and documentation	1,5h	x	x	x	x	=> more
Powder reusability	1h		x	x		shorter!
HSE Procedures	1h	x	x	x	x	shorter!
CU49: Laser Beam and Characterisation	7h					
Laser Beam parameters and conditions	2h	x		x		standard: optional
Measurement Equipment	5h	x			x	standard: optional
Total	74h					

Anhang 2: XR-Bewertungsmatrix

Criteria
K.O.
CAD model of involved equipment available?
Is there IP critical content involved?
Are there any impediments by standardization?
Are 3rd party products involved? (e.g. lifting truck, tools)
If 3rd party products are involved, can we access their CAD models?
If not, can we substitute 3rd party products? (e.g. simple CAD mock-ups or include videos)
Are there ongoing developments that might make this use case obsolete soon?
Classification of Use Case
How many steps are included in this task? (<5 give 0 points, ≥5 give 10 points)
Does the use case predominantly include manually handled tasks? (y = 10 points (e.g. mechanical parts/hardware), partly = 5 points, no = 0 points (e.g. GUI/software))
Business Case
What's the installed base of the machine? (<5 give 2p, <25 give 4p, <50 give 6p, <100 give 8p, <500 give 10p)
What will the installed base of the machine be in 1 year? (<5 give 2p, <25 give 4p, <50 give 6p, <100 give 8p, <500 give 10p)
What will the installed base of the machine be in 3 years? (<5 give 2p, <25 give 4p, <50 give 6p, <100 give 8p, <500 give 10p)
Frequency of task performed? (Please give an answer: job-to-job, daily, weekly, monthly, annually)
Can travelling be reduced or even completely avoided by applying XR for training the use case? (completely = 10 points, partly = 5 points, no = 0 points)
How much time can be saved through XR? (<30% = 3p; <60% = 6p; >60% = 10p)
Does XR speed up the learning curve on the machine? (y = 10 points, n = 0 points)
Risk Assessment
Process could be interrupted
Quality of parts could be negatively influenced
Equipment could be damaged
Risk for human health and life
Sum

Anhang 3: Interview-Leitfaden

Proposed questions

Q1 – Do you provide or intend to provide training for additive manufacturing to your staff?

Q2 – What sort of AM training are you delivering?

Q3 – How do you undertake practical training (internal or machine OEMs)?

Q4 – Do you know what AR/VR is?

Q5 – Do you know that AR/VR can be used to support the training delivery?

Q6 – Have you used AR/VR tools to conduct training?

Q7 – Do you foresee limitations to the use of AR/VR tools for practical training?

Q8 – Do you have any concerns about using AR/VR tools for training? What are your opinions for using AR/VR tools for training?

Q9 – What are the benefits you see in using AR/VR tools for training?

Q10 – Could AR/VR tools be used to replace face-to-face training, or it is a supplement to support conventional training routes? What could be the role of AR/VR tools in training?

Q11 – How did /is Covid-19 change the way you undertake training?