Schlussbericht für das Verbundprojekt

VR REPAIR

Schlussbericht

Förderkennzeichen: 01BC20001
Vorhabenbezeichnung: Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk-Cluster in Ägypten für arbeitsplatzbasierte Fachkräfte-Kompetenzentwicklung im virtuellen und realen Lernraum (VR-REPAIR)
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung 5

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 5

Planung und Ablauf des Vorhabens 5

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 6

Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte 6

Verwendete Fachliteratur und Informationsdienste 6

Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6

Verwendung der Zuwendung 7

Anforderungs- und Prozessanalyse 7

- Kick-Off und Bildung der betrieblichen Steuerungskreise 7
- Analysen der Trainingsfelder 8
- Analysen der Zielgruppen 9
- Sichtung vorhandener technischer Ressourcen 10

Prototyping 11

- Entwicklung der VR-Didaktik 12
- Didaktische Grundlagen und Handlungsorientierung 14
- „Technology follows Didactics“ 15
- Entwicklung modularer Lernszenarien 16
- Technische Umsetzung von VR-Elementen 18

MRL Iteration 1 21

- AR-Prototyp für OT Oberflächentechnik (OTS) 21
- Augmented-Reality-Prototyp bei EP Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE) 23
- Mehrstufiges Qualifikationsprogramm zur Wasserstoffwirtschaft bei Siemens Energy (SIE) 24
- Bedeutung für VR-REPAIR 26
- Wesentliche Lernerfolge 26
- Perspektiven 26

MRL Iteration 2 28

- 1. Prototyp für EPE 28
- 2. Prototyp für OTS 30
- 3. Prototyp für SIE 32
- Gesamtschau der Ergebnisse in Arbeitspaket 4 35

Evaluation und Qualitätssicherung 36

Verankerung und Transfer 39

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 41

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 41

Verwertbarkeit der Ergebnisse 42

Modularität und Transferfähigkeit 42

Zielgruppenspezifische Gestaltung 43

Nachhaltigkeit und Weiterentwicklung 43

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Verwertung 43

Dissemination und Multiplikation 44

Politisch-strategische Anschlussfähigkeit 44

Fortschritte anderer Stellen 44

Mix-Tec: Mixed Technologies für KMU 45

XR-Energy: Extended Reality für die Energiewende 45

Ergänzende Fortschritte und strategische Wirkung 46

Veröffentlichungen 46

Onlineplattform 47

Praxisbeispiele und Prototypen 47

Wissenschaftliche Veröffentlichung 47

Fachvortrag und internationale Anschlusskommunikation 48

Abkürzungsverzeichnis

BHT	Berliner Hochschule für Technik
SIE	Siemens Energy Global GmbH & Co. KG
EPE	EP Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH
OTS	OT Oberflächentechnik GmbH & Co. KG
SUS	Sustainum Institut für zukunftsfähiges Wirtschaften Berlin e.V.
XR	Extended Reality als Sammelbegriff für alle Mixed-Reality Technologien
VR	Virtual Reality
AR	Augmented Reality
KMU	Kleine und Mittelständige Unternehmen

Aufgabenstellung

Das Projekt *VR-REPAIR* hatte das Ziel, innovative, digitale Schulungsmethoden zur arbeitsplatzbasierten Fachkräfteentwicklung im Bereich Gas- und Dampfturbinen in Ägypten zu entwickeln und umzusetzen. Im Fokus stand die Nutzung von Extended Reality (XR), insbesondere Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR), um die Qualifizierung von Fachkräften durch immersive, praxisnahe Lernformate zu verbessern. Ziel war es, eine flexible, modulare und skalierbare Lösung bereitzustellen, die auf die Herausforderungen des Fachkräftemangels und der globalen Wirtschaftsentwicklung reagiert.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde unter sich stetig wandelnden globalen und wirtschaftlichen Bedingungen durchgeführt. Die wichtigsten Einflussfaktoren waren:

- **COVID-19-Pandemie**: Erschwerte internationale Zusammenarbeit und Reisebeschränkungen machten eine verstärkte Digitalisierung und Remote-Schulungsmöglichkeiten notwendig.
- **Energiekrise und geopolitische Unsicherheiten**: Veränderungen im Energiesektor erforderten eine schnellere Anpassung der Schulungskonzepte an neue technologische Entwicklungen.
- **Technologische Entwicklungen**: Fortschritte im Bereich XR, digitale Kollaborationsplattformen und die zunehmende Akzeptanz von Remote-Schulungen ermöglichten innovative Trainingsmethoden.
- **Beteiligung internationaler Industriepartner**: Die enge Zusammenarbeit mit Unternehmen wie Siemens Energy, OT Oberflächentechnik und EP Ehrler Prüftechnik spielte eine Schlüsselrolle bei der praktischen Umsetzung der Schulungen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde in mehreren aufeinander aufbauenden Phasen umgesetzt:

1. **Anforderungs- und Prozessanalyse**: Identifikation der relevanten Schulungsinhalte und -bedarfe, Analyse der Zielgruppen.
2. **Prototyping und Entwicklung**: Entwicklung erster VR- und AR-Prototypen für verschiedene Trainingsszenarien.

3. **Iterative Test- und Evaluationsphase**: Anpassung und Optimierung der Schulungsmodule durch Feedback aus den Praxiseinsätzen.
4. **Verankerung und Transfer**: Verstetigung der entwickelten Module im ägyptischen Energy Service Center (ESC) sowie Ausbau für weitere Anwendungsfelder.
5. **Nachhaltigkeit und Weiterentwicklung**: Entwicklung eines *Field-Service-Support-Systems* (FSS) zur flexiblen Anwendung der erarbeiteten Lernlösungen.

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

Für die Umsetzung des Projekts wurden bestehende technische und didaktische Konzepte weiterentwickelt, insbesondere:

- Einsatz von **Virtual-Reality-Technologien** für Schulungen in technischen Berufen.
- Nutzung von **Augmented Reality** für interaktive Wartungs- und Instandhaltungsanleitungen.
- Anwendung des **agilen Lernens** zur Förderung praxisorientierter Kompetenzentwicklung.
- Nutzung und Weiterentwicklung von **H5P-Technologie** zur Erstellung modularer, anpassbarer Lerninhalte.

Verwendete Fachliteratur und Informationsdienste

Die technische und wissenschaftliche Basis des Projekts wurde durch umfangreiche Fachliteratur und Forschungsergebnisse gestützt, u.a.:

- Studien zur Wirksamkeit von XR-Technologien in der beruflichen Bildung
- Veröffentlichungen zu didaktischen Konzepten des agilen Lernens
- Industrielle Standards für die Wartung und Instandhaltung von Gas- und Dampfturbinen
- Forschungsergebnisse zur Integration von AR in technische Schulungen

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt profitierte von der Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wissenschaft, Industrie und Bildung:

- **Berliner Hochschule für Technik (BHT)**: Wissenschaftliche Leitung, Entwicklung didaktischer Konzepte.

- **Siemens Energy**: Bereitstellung industrieller Anwendungsfälle und Testumgebungen.
- **OT Oberflächentechnik GmbH & Co. KG**: Entwicklung und Implementierung von AR-gestützten Montage- und Wartungsszenarien.
- **EP Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH**: Entwicklung interaktiver AR-Lösungen für Prüf- und Messverfahren.
- **Sustainum Institut für zukunftsfähiges Wirtschaften e.V.**: Unterstützung bei der Analyse und Evaluierung von Schulungskonzepten.
- **Egypt Service Center (ESC)**: Implementierung der Schulungsmodule vor Ort, Praxistests mit Fachkräften.

Die enge Kooperation zwischen Forschung, Industrie und Bildungsträgern ermöglichte die erfolgreiche Umsetzung innovativer Schulungslösungen, die über das Projekt hinaus nachhaltige Anwendung finden können.

Verwendung der Zuwendung

Anforderungs- und Prozessanalyse

Arbeitspaket 1 diente vor allem dazu, den Grundstein für das weitere Vorgehen im Verbundprojekt VR-REPAIR zu legen. In vier Unterpunkten Kick-Off und Steuerungskreise (1.1), Analysen der Trainingsfelder (1.2), Analysen der Zielgruppen (1.3) sowie Sichtung vorhandener technischer Ressourcen (1.4) wurden die organisatorischen und konzeptionellen Voraussetzungen geschaffen, um die nachfolgenden Arbeitsschritte erfolgreich durchzuführen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Kick-Off und Bildung der betrieblichen Steuerungskreise

Kick-Off-Veranstaltung in Berlin

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens fand Mitte September 2021 der offizielle Projektstart im TECC Technical Education & Competency Center der Siemens Energy in Berlin statt. Im Fokus stand das gegenseitige Kennenlernen und vor allem das „Hands-on-Erleben“ verschiedener Mixed-Reality-Anwendungen (Virtual Reality, Augmented Reality, HoloLens). Die Teilnehmenden konnten diverse Technologien austesten und bekamen so ein Gefühl dafür, welche Potenziale, aber auch Grenzen XR-Lösungen im industriellen Kontext haben können.

- Es entwickelten sich bereits hier erste Diskussionen über konkrete Einsatzszenarien, z. B. im Bereich Wartung, Beschichtung und Prüfung von Gasturbinenbauteilen.
- Die Partner nutzten die Gelegenheit, sich über ihre jeweiligen Bedürfnisse und technischen Voraussetzungen auszutauschen.

Betriebliche Steuerungskreise

Parallel zum Kick-Off wurden Steuerungskreise für die wichtigsten Firmenpartner etabliert. Ziel war es, klare Zuständigkeiten zu schaffen und den regelmäßigen Austausch zwischen den Beteiligten zu strukturieren:

- Siemens Energy (SIE): Der Kreis umfasst den Manager „Development and Education“ und mehrere Mitarbeitende aus „Digital Projects & Marketing“, die sich auf die Konzeption und Umsetzung von digitalen Trainingslösungen spezialisieren.
- Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE): Ein Geschäftsführer und der „Head of Project Management and Design“ bilden den Kern; bei Bedarf werden weitere Abteilungen hinzugezogen.
- OT Oberflächentechnik (OTS): Ein erfahrener Field-Service-Ingenieur und der Leiter des globalen mobilen Beschichtungsservices sind hier federführend.
- Diese Steuerungskreise gewährleisten kurze Kommunikationswege und helfen, Herausforderungen frühzeitig zu erkennen und zu adressieren.

<u>Analysen der Trainingsfelder</u>

Unter der Leitung des Projektpartners SUSTAINUM (SUS) wurden in Kooperation mit der Berliner Hochschule für Technik (BHT) die relevanten betrieblichen Prozesse für mögliche XR-Trainingsszenarien untersucht. Dazu zählte eine Befragungsstudie, welche auf Deutsch, Englisch und Spanisch im Netzwerk der Projektpartner verteilt wurde.

- Die Teilnehmenden waren überwiegend Beschäftigte in kleinen und mittleren Unternehmen, meist in Management- oder Leitungsfunktionen.
- In der Stichprobe zeigte sich bereits eine vergleichsweise hohe Nutzungsquote von XR-Technologien in den Unternehmen; zugleich wiesen die Befragten auf potenzielle Stolpersteine hin (z. B. Einarbeitungsaufwand, Kosten, Akzeptanz).

Hauptbefunde

- Vorteile von XR: Immersives, praxisnahes Lernen; flexible Einbindung in bestehende Schulungsabläufe; potenzielle Zeit- und Kostenersparnis (etwa bei Wartung oder Reparatur).
- Nachteile von XR: Erheblicher initialer Aufwand (Daten, Hardware, Schulungen), mögliche Überforderung oder geringere Akzeptanz bei Zielgruppen mit niedriger digitaler Affinität, technische Barrieren (z. B. stabile Datenverbindungen).

Diese Erkenntnisse flossen als Grundlage für die Detailplanung künftiger XR-Trainingsprototypen in den nachfolgenden Arbeitspaketen ein.

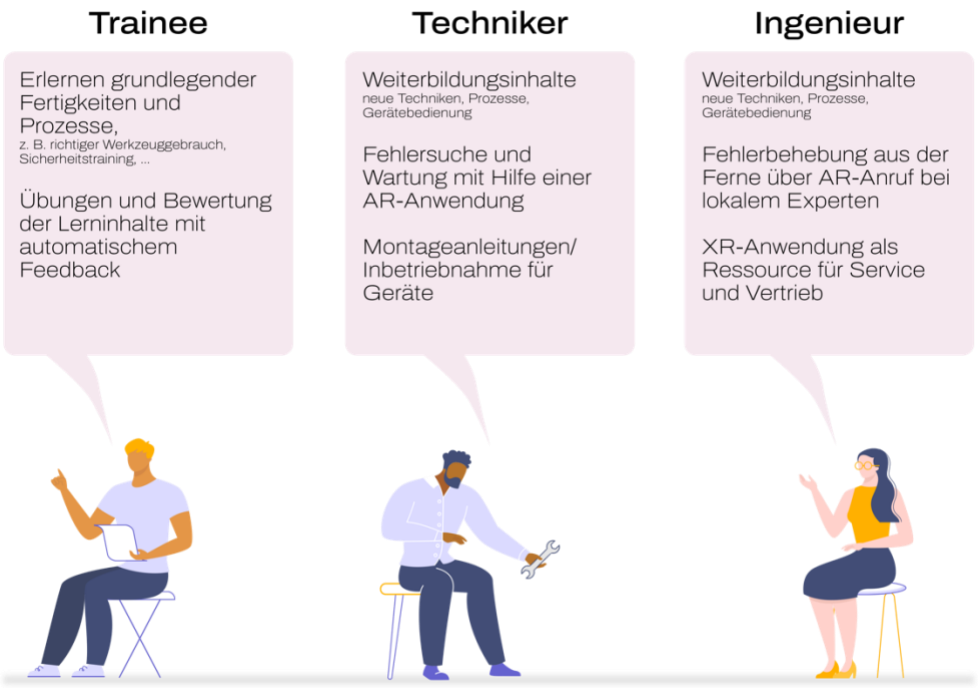
Analysen der Zielgruppen

Ein zentrales Anliegen war es, Zielgruppen zu definieren, die in besonderem Maße von XR-Anwendungen profitieren könnten. Die federführende Frage lautete:

„Welche Zielgruppen eignen sich für den Einsatz von XR und wie vielversprechend ist eine XR-Anwendung hinsichtlich Kosten-Nutzen-Verhältnis?“

Identifizierte Zielgruppen

1. Auszubildende: Vermittlung von Basisfertigkeiten (Werkzeugnutzung, Sicherheit) und Einsatz digitaler Übungsszenarien mit automatisiertem Feedback.
2. Techniker/Fachkräfte: Weiterbildungsinhalte zu neuen Geräten oder Prozessen; AR-gestütztes Troubleshooting; Aufbau- und Montageanleitungen.
3. Meister/Ingenieure: Erweiterte Schulungen zu komplexen Prozessen; Remote-Support durch AR-Videoanrufe; Nutzung von XR-Anwendungen für Service und Vertrieb.



Wichtige Erfolgsfaktoren

- Digitale Kompetenz und Nutzungsmotivation der Zielgruppen: Je weniger Routine Beschäftigte mit digitalen Lösungen haben, desto größer der Aufwand für Einarbeitung und Betreuung.
- Fluktuation im Unternehmen: Bei stark wechselndem Personalstand kann das XR-Training zwar besonders sinnvoll sein (schnelle Einarbeitung), setzt aber eine anwendungsfreundliche Implementierung voraus.
- Akzeptanz der Hardware: Gerade AR-Brillen oder VR-Headsets sind nicht in allen Arbeitsbereichen ohne Weiteres anwendbar, wenn z. B. enge Sicherheits- und Hygienevorschriften bestehen.

<u>Sichtung vorhandener technischer Ressourcen</u>

Abschließend erfolgte eine Bestandsaufnahme aktueller, bereits genutzter oder zur Verfügung stehender Technologien, um den Einsatz geeigneter XR-Lösungen in den weiteren Projektphasen zu erleichtern. Grundsätzlich wurde unterschieden zwischen:

- Virtual Reality (VR): Komplett virtuelle Umgebungen, in denen Arbeitsabläufe simuliert werden (z. B. Demontage- oder Montageprozesse).

- Augmented Reality (AR): Erweiterte Realität, bei der reale Arbeitsumgebungen mit digitalen Informationen angereichert werden (z. B. Einblendung von Wartungshinweisen oder 3D-Markierungen über Tablet, Smartphone oder AR-Brille).

Um die Eignung vorhandener Ressourcen genauer zu evaluieren, entwickelten die Partner einen Kurzfragebogen. Dieser fragt unter anderem ab,

- ob bereits 3D-Daten zu Anlagen oder Prozessen verfügbar sind,
- welche Trainingsformen (z. B. Web Based Trainings, Videotrainings) eingesetzt werden,
- und wie hoch der Digitalisierungsgrad in puncto Schulungsunterlagen ist.

Diese strukturierte Erhebung schafft Transparenz über die bestehenden Möglichkeiten und zeigt etwaige Lücken auf, die im Projektverlauf mit neu zu entwickelnden XR-Anwendungen gefüllt werden können.

Arbeitspaket 1 hat die Grundlagen für den Projektverlauf geschaffen:

- Der Kick-Off führte zu einem regen Austausch über Einsatzszenarien von Mixed Reality und förderte ein gemeinsames Verständnis der Projektpartner für die Projektziele.
- Die Steuerungskreise stellen eine effektive Koordinationsstruktur sicher.
- Mithilfe von Befragungen und Prozessanalysen wurden relevante Trainingsfelder aus Sicht der Industrie identifiziert und grundlegend bewertet.
- Die Zielgruppenanalyse verdeutlichte, welche Personenkreise durch XR-Technologien profitieren können und unter welchen Bedingungen sich ein Mehrwert ergibt.
- Die Sichtung technischer Ressourcen gab Aufschluss über bereits vorhandene XR-Technik, Schulungsmaterialien und Datenbestände und weist auf mögliche Weiterentwicklungen hin.

Damit ist ein stabiler organisatorischer und inhaltlicher Rahmen geschaffen, um in den Folgeschritten (Prototyping, iterative Umsetzung und Evaluation) gezielt auf die Anforderungen der beteiligten Unternehmen einzugehen und passgenaue Mixed-Reality-Lernszenarien zu entwickeln.

Prototyping

Arbeitspaket 2 im Projekt VR-REPAIR widmet sich der Entwicklung einer VR- bzw. XR-Didaktik („Extended Reality“ als Oberbegriff für Virtual und Augmented Reality), der darauf aufbauenden modularen Lernszenarien sowie der prototypischen Umsetzung erster Anwendungen in unterschiedlichen industriellen Kontexten. Dieses Arbeitspaket wurde federführend von der Berliner Hochschule für Technik (BHT) in enger Zusammenarbeit mit dem Partner SUSTAINUM (SUS) und den weiteren Unternehmenspartnern Siemens (SIE), EP Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE) sowie OT

Oberflächentechnik (OTS) durchgeführt. Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse und Ergebnisse zusammengefasst.

Der Ausgangspunkt des Arbeitspakets 2 war die Frage, in welchen Anwendungsfeldern XR-Technologien geeignet sind, um dem international zunehmenden Fachkräftemangel zu begegnen, und welche XR-Formen (z. B. vollimmersive Virtual Reality oder Augmented Reality-Apps) sich insbesondere in der Aus- und Weiterbildung als praktikabel erweisen. Hierbei ging es darum, XR nicht als Selbstzweck einzusetzen, sondern methodisch und didaktisch so zu integrieren, dass sie gezielt auf den Kompetenzbedarf von Industrie und Wirtschaft abgestimmt ist.

Unter dem Leitmotiv „Technology follows Didactics“ sollten die jeweiligen Technologien (VR-Headsets, AR-Brillen, 2D-VR-Anwendungen am Laptop etc.) immer im Kontext ihrer didaktischen Sinnhaftigkeit ausgewählt werden. Anders ausgedrückt: Nicht die verfügbaren Technologien diktieren den Lernprozess, sondern die Lernziele und -methoden definieren, welche technologischen Tools sinnvollerweise zum Einsatz kommen.

Daraus entstanden zwei große Themenkomplexe:

Entwicklung einer VR-Didaktik

- Identifikation relevanter Lernszenarien und Handlungsschritte, in denen XR einen Mehrwert bietet.
- Beschreibung typischer Einsatzformen (Remote-Support, Sicherheitstrainings, interaktive Wartungsanleitungen, virtuelle Simulationen etc.) unter besonderer Berücksichtigung des Prinzips der vollständigen Handlung.

Erarbeitung modularer Lernszenarien und prototypische Umsetzung

- Ausarbeitung konkreter Fallbeispiele, die sich in Training, Weiterbildung und betrieblicher Praxis bewähren können.
- Entwicklung von drei Prototypen, die jeweils verschiedene XR-Varianten abbilden (Augmented-Reality-Anleitungen für OTS und EPE sowie eine 2D-VR-Anwendung für Siemens in Ägypten).

<u>Entwicklung der VR-Didaktik</u>

Anwendungsfelder und Technologien

Das Arbeitspaket geht zunächst auf die Bandbreite möglicher XR-Einsatzszenarien ein. Es wird eine grobe Differenzierung vorgenommen in:

1. Virtual Reality (VR)

   - Vollimmersive Umgebungen, meist über ein Headset (z. B. Oculus Rift, HTC Vive etc.), in denen realitätsnahe Simulationen oder Trainings abgebildet werden.
   - 2D-VR-Anwendungen, die sich über Laptop oder PC bedienen lassen, bieten zwar geringere Immersion, sind jedoch oft einfacher zugänglich.

2. Augmented Reality (AR)

   - Über Tablet, Smartphone oder AR-Brille (z. B. Microsoft HoloLens) werden virtuelle Informationen in das reale Sichtfeld projiziert. Dies ermöglicht kontextsensitive Einblendungen, Schritt-für-Schritt-Anleitungen oder Remote-Support in Echtzeit.

Eine einheitliche Aussage über „das beste XR-Tool“ ist dabei nicht sinnvoll. Die Eignung hängt maßgeblich vom beabsichtigten Lernszenario und der adressierten Zielgruppe ab. Anhand von vier exemplarischen Anwendungsbereichen verdeutlicht das Arbeitspaket das Spektrum:

1. Wissensvermittlung und Assessment:

VR-Simulationen zur Veranschaulichung komplexer 3D-Geometrien oder AR-gestütztes Beobachten von Handlungsabläufen sind nützlich, doch stellt sich die Frage, ob dies gegenüber konventionellem E-Learning immer einen Mehrwert bietet. Vor allem bei rein theoretischen Themen muss abgewogen werden, ob der immersive Aufwand gerechtfertigt ist.

2. Weiterbildung für neue Techniken und Prozesse:

Hier kann XR (v. a. VR-Simulationen) helfen, sicherheitsrelevante Handgriffe gefahrlos zu trainieren, bevor echte Maschinen eingesetzt werden. Auch bei der Einführung neuer Geräte ermöglicht z. B. eine VR- oder AR-Anleitung einen frühzeitigen Praxisbezug.

3. Inbetriebnahme und Wartung:

Interaktive AR-Anwendungen lassen sich als „Ikea-Anleitung in XR“ beschreiben: Die Benutzerin erhält Schritt-für-Schritt-Instruktionen am realen Objekt. So wird sichergestellt, dass jede Komponente korrekt angebracht wird, selbst wenn die Fachkraft vor Ort nur rudimentäre Vorkenntnisse hat.

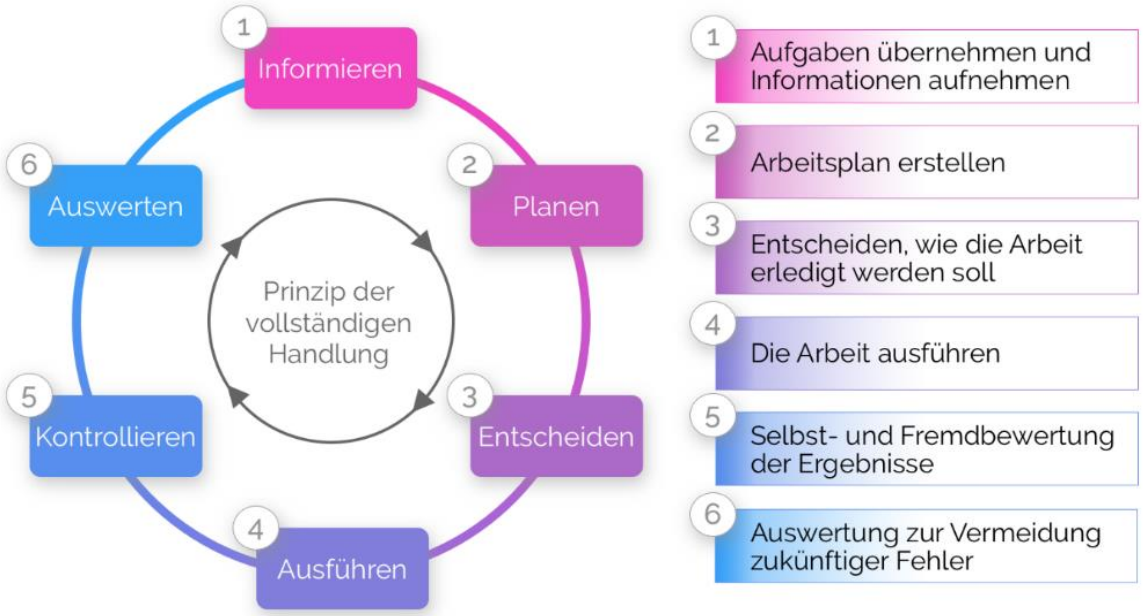
4. Ad-hoc Troubleshooting und Remote-Support:

Über AR-Brillen können Experten ortsunabhängig Hilfestellung geben, indem sie das Kamerabild der Fachkraft sehen und konkrete Anweisungen einblenden. Vor allem für dringende Reparaturen bietet

sich dieses Modell an, weil die Fachkraft beide Hände frei hat und die notwendigen Hinweise direkt im Sichtfeld auftauchen.

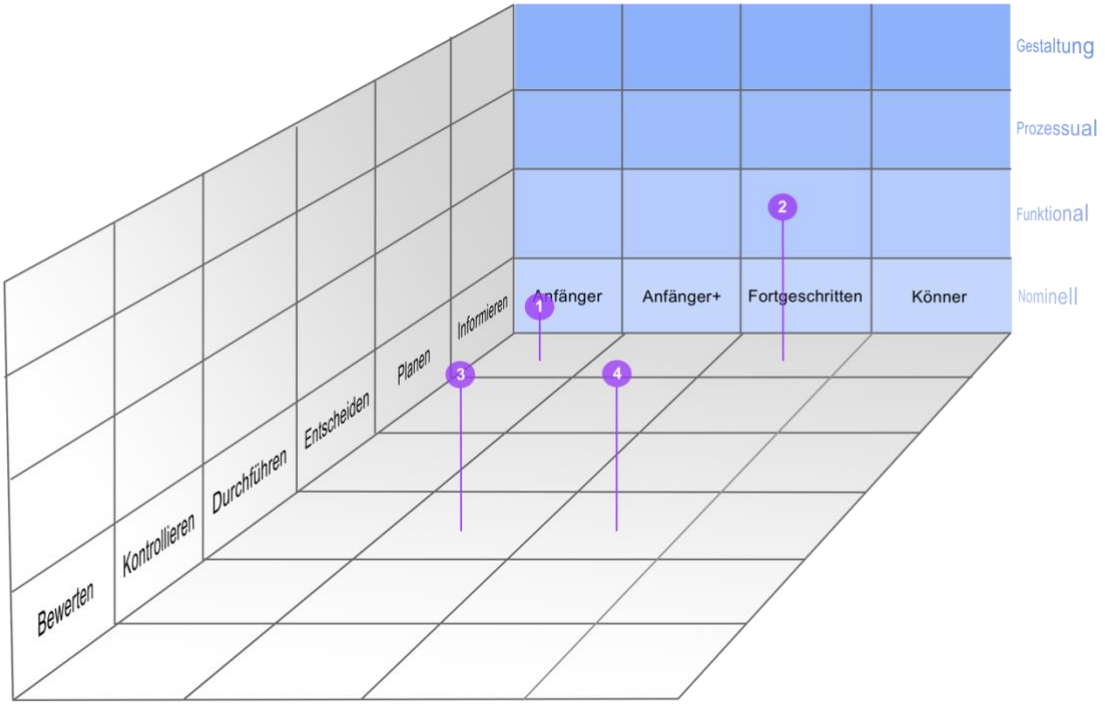
Didaktische Grundlagen und Handlungsorientierung

Das Dokument hebt das Prinzip der vollständigen Handlung hervor, das im beruflichen Lernen weit verbreitet ist. Nach diesem Modell gliedern sich betriebliche Handlungen in folgende Schritte: Informieren, Planen, Entscheiden, Ausführen, Kontrollieren, Bewerten.



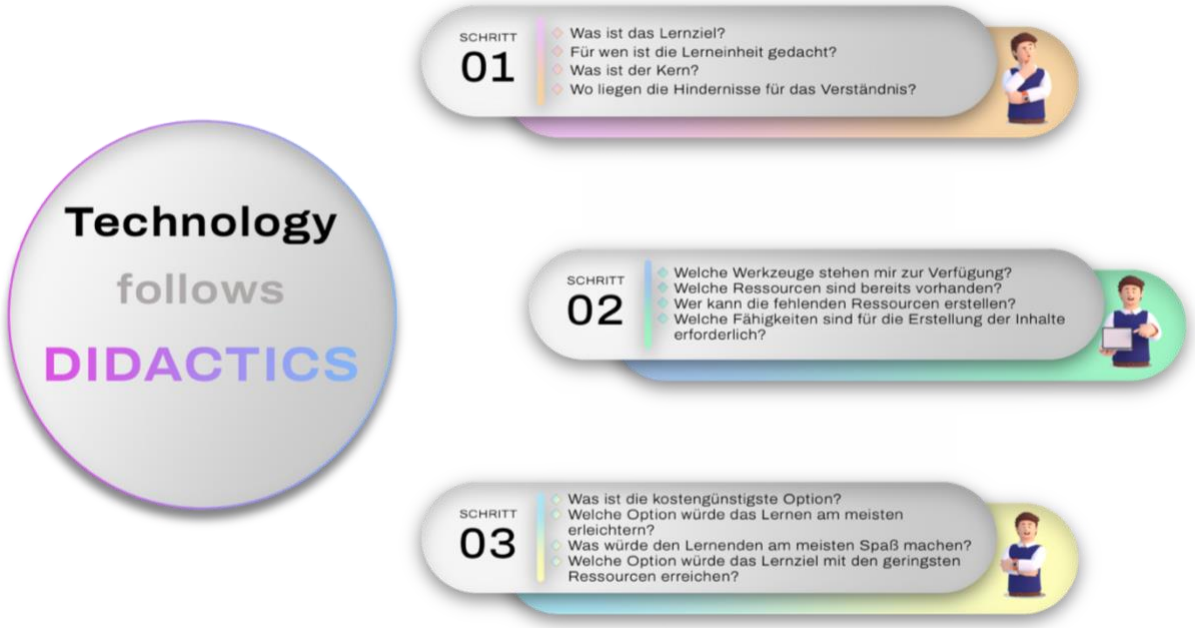
- Virtual Reality-basierte Anwendungen eignen sich insbesondere gut für die Informier- und Ausführungsphasen. Beispielsweise kann man sich durch VR zunächst ein Bild der Anlage verschaffen (Informieren) oder Arbeitsschritte virtuell trainieren (Ausführen).
- Augmented Reality unterstützt stark die Ausführungs- und Kontrollphase, wenn reale Objekte mit Zusatzinformationen überlagert werden (z. B. Markierungen oder Warnhinweise, die im Prozesskontext auftauchen).

Basierend auf dem Kompetenzstufenmodell nach Rauner (2011) sowie verschiedenen handlungsdidaktischen Überlegungen kommt das Team zu dem Schluss, dass XR-Technologien vor allem im Bereich funktionaler Kompetenzen (elementare Fachkenntnisse, Fertigkeiten) vielversprechend sind. Höhere Ebenen, bei denen es z. B. um konzeptionelle, gestalterische oder strategische Kompetenzen geht, werden durch XR-Anwendungen tendenziell weniger abgedeckt.



„Technology follows Didactics“

Ein zentrales Fazit lautet: „Technology follows Didactics“. Die geeignete Technologie wird erst nach Festlegung des Lernziels ausgewählt, nicht umgekehrt. Diese Perspektive stellt die Wirksamkeit der Lernprozesse in den Vordergrund und verhindert kostspielige Fehlinvestitionen in XR-Lösungen, die zwar technisch anspruchsvoll sind, aber keinen didaktischen Mehrwert bieten.



Zur langfristigen Strategie gibt es drei relevante Anwendergruppen:

1. **KMU**: XR lohnt sich besonders, wenn konkrete Einsparungen an anderer Stelle (Reisekosten, Maschinenstillstand) realisiert werden können und bereits 3D-Konstruktionsdaten zur Verfügung stehen.
2. **Ausbildungszentren**: Dort sind umfangreiche XR-Projekte vertretbar, wenn sie sich auf oft wiederholte Kernmodule ausrichten, die regelmäßig in Lehrplänen vorkommen.
3. **Industrieverbände**: Um eine breite Anwendung zu ermöglichen, muss die Hardware barrierearm bleiben (z. B. Nutzung von Tablets oder Smartphones). Hier bietet AR oftmals das größte Potenzial.

Die Autoren betonen zudem die Notwendigkeit, auf Nachhaltigkeit zu achten. Ein aufwendig programmiertes VR-Szenario für einen einzelnen Prozess kann im Mittel zu teuer sein. Eine generalisierbare, flexible Plattform, die vorhandene 3D-Daten einbinden kann und modular anpassbar ist, sei hingegen deutlich nachhaltiger.

Entwicklung modularer Lernszenarien

Aufbauend auf den didaktischen Überlegungen wurden verschiedene Fallbeispiele ausgearbeitet, um die spezifische Kombination von Anwendungsbereich und Technologie zu veranschaulichen. Die folgenden vier Beispielszenarien verdeutlichen, wie XR in konkreten Arbeitssituationen zum Einsatz kommen kann:

1. **Remote-Support mit AR-Brille**

- Ein erfahrener Ingenieur kann ortsunabhängig eine Fachkraft anleiten, indem er das Live-Bild der AR-Brille mitverfolgt.
- Die Fachkraft hat beide Hände frei und sieht im Brillendisplay z. B. Markierungen, die kritische Prozessschritte hervorheben.
- Besonders geeignet für ad-hoc Störungsbehebung oder komplexe Reparaturen, wenn vor Ort kein ausgewiesener Experte ist.

2. **Sicherheitstraining mit VR-Headset**

- Neue Fachkräfte werden in einer gefahrlosen Umgebung an kritische Situationen herangeführt, etwa Wartungsarbeiten in großer Höhe.
- Kopfbewegungen, Windgeräusche und räumliches Empfinden lassen sich simulieren, sodass die Lernenden eine realitätsnahe Erfahrung machen, jedoch ohne Unfallrisiko.
- Dieser Ansatz fördert das Einüben seltener, aber sicherheitskritischer Abläufe.

3. **Interaktive Inbetriebnahme mit AR am Tablet**

- Beim Aufbau eines neuen Geräts scannt die Fachkraft einen QR-Code. Anschließend werden die jeweiligen Montageschritte als Overlays eingeblendet.
- Fehlertoleranzen können reduziert und potenzielle Gefahrenquellen hervorgehoben werden.
- Der Prozess folgt einer Art „digitaler Anleitung“, die Schritt für Schritt durch den realen Aufbau führt.

4. **Wartungsprozess-Übung mit VR am Laptop**

- Eine 2D-VR-Software am Laptop vermittelt in einer vereinfachten Simulation die Reihenfolge relevanter Handgriffe.
- Zwar fehlt hier die haptische Komponente, doch kann die Fachkraft bereits im Vorfeld den Ablauf kennenlernen, sodass die reale Wartung effizienter verläuft.

Aus diesen Beispielen entstand eine Kombinationstabelle, in der jeweils geprüft wird, wann VR oder AR sinnvoll ist, wann Headsets oder Laptops geeignet sind und welche Situationen eher ungeeignet sind. So zeigt sich, dass z. B. VR-Headsets für Sicherheitstrainings ideal sind, wohingegen AR-Brillen bei Feld- oder Remote-Einsätzen punkten.

Nr.	Anwendungsbereich	Anmerkungen / Beispiele
1	Wissensvermittlung (im Gegensatz zu Kompetenzentwicklung) und	Gut geeignet für die Visualisierung von 3D-Modellen

	automatisiertes Assessment in der Erstausbildung	Assessment möglich in Kombination von realer Ausführung und AR-Unterstützung (automatisiertes Feedback schwierig/teuer) Mehrwert zu „normalem“ E-Learning bzw. anderen klassischen Unterrichtsformen fraglich Wissen wird in den meisten Fällen einfacher/besser durch andere Medien vermittelt
2	Weiterbildung für neue Techniken/Geräte/Prozesse	Kennenlernen einer neuen Aufgabe über VR-Anwendung oder AR-Anwendung → virtuelle Bedienungsanleitung Für sicherheitsrelevante Tätigkeiten VR oder 2D-VR (am Laptop) gut geeignet
3	Inbetriebnahme und Wartung von Geräten	Virtuelle Aufbauanleitung (Ikea-Anleitung in XR) AR-Anwendungen um Schritt für Schritt Instruktionen zu folgen
4	Ad-Hoc Troubleshooting und Remote Support	Über AR-Support-Calls mit der Möglichkeit in einem Video-Call ein Problem durch einen Remote-Support-Techniker direkt zu lösen Hier eignen sich AR-Brillen wohl am besten (Hände frei und Hinweise direkt im Sichtfeld) Möglichkeit, kritische Prozessschritte im Moment der Durchführung hervorzuheben (z.B. in diesem Moment auf die richtige Zuordnung eines Steckers achten) Laien können ggf. höherwertige/komplexere technische Tätigkeiten ausführen

Technische Umsetzung von VR-Elementen

Im weiteren Projektverlauf wurden drei konkrete Prototypen entwickelt und in enger Zusammenarbeit mit den Firmenpartnern getestet. Sie stehen exemplarisch für unterschiedliche XR-Formen und Zielstellungen:

1. Augmented Reality Prototyp für OTS

- Einsatzzweck: Interaktive Aufbauanleitung für mobile Beschichtungscontainer.
- Hardware: Tablet mit AR-Anwendung (entwickelt mithilfe der Software „Viscopic PINS“).

Vorgehen:

- Zunächst dokumentierte das Team die realen Aufbauschritte einer Zusatzkabine zwischen zwei 20-Fuß-Containern.
- Aus Fotos, Maßen und Videos entstand ein detailliertes 3D-CAD-Modell (über „Siemens NX“), das in die AR-Software integriert wurde.
- Ein QR-Code an einem Container dient als Referenzpunkt: Beim Scannen werden die virtuellen Bauteile passgenau auf das reale Objekt projiziert.

Nutzen:

- Die relevanten Werkzeuge und Hilfsmittel werden pro Schritt angezeigt.
- Einblendungen in Form von Hologrammen erleichtern die korrekte Positionierung und minimieren Fehlerquellen.
- Umfang: 26 CAD-Bauteile, 48 Hauptarbeitsschritte, 86 Mediendateien.
- Status: Im Februar 2022 wurde eine Vergleichsstudie durchgeführt (Papieranleitung vs. AR-Anleitung).

2. Augmented Reality Prototyp für EPE

- Einsatzzweck: Interaktive Inbetriebnahme und Wartung eines Durchflussmengenmessgeräts, das bei der Brennerwartung von Gasturbinen eingesetzt wird.
- Zielgruppe: Field-Service-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter sowie internes EPE-Personal.

Vorgehen:

- Anhand der bestehenden Produktdokumentation wurden einzelne Arbeitsschritte in ein 3D-CAD-Modell überführt.
- Zusätzlich gab es erste Tests im Siemens Energy Toolcenter in Forchheim, um Feedback aus der Praxis zu sammeln.
- Umfang: 5 CAD-Baugruppen, 111 Hauptarbeitsschritte, 19 Mediendateien.

3. 2D-Virtual Reality Anwendung für Siemens in Ägypten

- Einsatzzweck: Montage einer Gasturbinenbrennerbaugruppe am Laptop.
- Zielgruppe: Servicepersonal im Reparaturzentrum in Ägypten.

Vorgehen:

- Mit Engineering-Daten entstand eine 3D-Umgebung, in der die Bauteile texturiert und animiert wurden.
- Die Fachkraft kann sich mittels Tastatur und Maus frei in der Szene bewegen und die einzelnen Montageabläufe schrittweise erlernen.
- Status: Ein Review durch „Subject Matter Experts“ (SMEs) wurde durchgeführt; das Feedback wurde anschließend eingearbeitet.

Alle drei Prototypen illustrieren den Grundsatz der modularen Weiterbildungsansätze. Die Anwendungen sind zugeschnitten auf spezielle Unternehmensprozesse, erlauben aber zugleich eine gewisse Übertragbarkeit auf ähnliche Situationen. Damit sind sie wertvolle Best-Practice-Beispiele, um

zu demonstrieren, wie XR-Elemente im industriellen Umfeld Schritt für Schritt in die betriebliche Realität integriert werden können.

Arbeitspaket 2 hat die didaktische Fundierung und die prototypische Entwicklung wesentlicher VR-/AR-Anwendungen im Projekt VR-REPAIR vorangetrieben. Zentrale Leitthemen waren:

1. Didaktische Fundierung:

Die Analyse verschiedener Kompetenzniveaus und Handlungsschritte zeigt, dass XR-Lösungen vor allem bei der Vermittlung funktionaler Kompetenzen (z. B. Handlungsabläufe, sicherheitsrelevante Übungen) einen deutlichen Mehrwert haben. Bei höheren Gestaltungskompetenzen oder abstrakten Inhalten müssen andere Formate ergänzend zum Einsatz kommen.

2. Technologie folgt Didaktik:

Die Auswahl von VR- oder AR-Ansätzen muss eng an Lernzielen und Zielgruppen orientiert sein. Projekte sollten die Kosten-Nutzen-Bilanz reflektieren und idealerweise vorhandene 3D-Daten und CAD-Modelle nutzen, um Entwicklungsaufwände im Rahmen zu halten. Gerade für KMU ist dies eine essentielle Voraussetzung für Wirtschaftlichkeit.

3. Einsatzszenarien:

Ob Sicherheitstrainings, Remote-Support, AR-gestützte Wartungsanleitung oder VR-Simulation für komplexe Montageabläufe jede dieser Anwendungen hat spezifische Stärken und Grenzen. Die im Dokument dargestellten Fallbeispiele und Tabellen geben einen differenzierten Überblick darüber, welche Technologien für welche Anwendungsfälle infrage kommen.

4. Prototypische Umsetzungen:

Mit den drei entwickelten Prototypen (AR-Anwendungen für OTS und EPE, 2D-VR-Anwendung für Siemens Ägypten) wurden bereits konkrete Lösungen erstellt und in ersten Tests erprobt. Die Ergebnisse sind vielversprechend: Zum einen konnten reale Arbeitsprozesse passgenau abgebildet werden, zum anderen zeigen sich Einsparpotenziale (Reisen, Fehlerquote, Einarbeitungszeit), die für die beteiligten Unternehmen unmittelbar wirtschaftlich interessant sind.

Der Ausblick richtet sich auf die Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit solcher XR-Lernszenarien. Um eine breite Anwendung zu ermöglichen, ist es wichtig, dass Unternehmen die Modularität und einfache Anpassbarkeit dieser Lösungen selbst vorantreiben können, ohne jeweils auf externe Programmierer

angewiesen zu sein. Nur so kann XR zu einem integralen Bestandteil moderner Aus- und Weiterbildung werden, sowohl in Konzernen als auch in KMU.

MRL Iteration 1

Arbeitspaket 3 im Projekt VR-REPAIR befasst sich mit der praktischen Durchführung bereits entwickelter VR- (Virtual Reality) und AR- (Augmented Reality) Lernszenarien sowie deren systematischer Weiterentwicklung auf Basis empirischer Evaluationen. Ziel ist es, die zuvor konzipierten Prototypen in realen oder realitätsnahen Anwendungssituationen zu testen und daraus Schlüsse für deren Effektivität, Effizienz und didaktische Passgenauigkeit zu ziehen. Im Wesentlichen umfasst das Arbeitspaket folgende Schwerpunkte:

- Erprobung eines AR-Prototyps bei OT Oberflächentechnik (OTS) unter realen Montagebedingungen
- Weiterentwicklung interaktiver Inbetriebnahme- und Wartungsanleitungen bei EP Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE)
- Initiierung eines mehrstufigen Qualifikationsprogramms bei Siemens Energy (SIE) zur Wasserstoffwirtschaft
- Abschließende Evaluation und Ableitung didaktisch-technischer Weiterentwicklungen

Die Ergebnisse belegen, dass die praktische Erprobung wesentlich für die Weiterentwicklung ist, da eine reine Konzeptions- und Entwicklungsphase ohne anwendungsorientiertes Feedback oft nicht ausreicht, um den tatsächlichen Nutzen, die Akzeptanz und die Wirtschaftlichkeit digitaler Schulungslösungen zu gewährleisten.

AR-Prototyp für OT Oberflächentechnik (OTS)

Ausgangslage und Zielsetzung

Die OT Oberflächentechnik GmbH & Co. KG (OTS) beschäftigt sich mit dem Aufbau von mobilen Beschichtungsanlagen für die Gasturbinenwartung. Da die Montage dieser Anlagen komplex und körperlich anspruchsvoll ist, wurde im Rahmen von VR-REPAIR ein Augmented-Reality-Prototyp entwickelt, der den Aufbauprozess vereinfachen und gleichzeitig die Notwendigkeit verringern soll, erfahrene Fachkräfte an jedem Standort einzusetzen. Eine im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführte Fallstudie sollte klären, inwiefern eine Tablet-AR-Anwendung gegenüber einer traditionellen Papieranleitung Vorteile bringt.

Methodische Vorgehensweise

- Mixed-Method-Design: Quantitative Daten (Durchlaufzeit, Fehlerhäufigkeit) kombiniert mit qualitativen Beobachtungen (informelles Lernen, Handlungsstrategien).
- Versuchspersonen: Zwei Gruppen (A und B) mit je drei Teilnehmenden. Gruppe A nutzte ausschließlich die AR-Anwendung, Gruppe B eine Papieranleitung.
- Aufbauaufgabe: Montage einer Blasting-Kabine, die zuerst zur Entfernung alter Beschichtungen an Gasturbinenschaufeln dient.

Erhebungsinstrumente

- Messung der Durchlaufzeit (Start- und Endzeit pro Montageschritt)
- Zählen und Kategorisieren von Fehlern (z. B. falsche Bauteile, falsche Hilfsmittel)
- Fragebögen zur empfundenen Nützlichkeit und Usability (System Usability Scale, Technology Acceptance Model)
- Interviews zu kritischen Ereignissen im Montageprozess (besonders Abdichtung der Kabine)

Hauptergebnisse und Interpretation

- Effizienz und Effektivität: Die Zeitdauer in beiden Gruppen unterschied sich kaum signifikant. Allerdings zeigte sich bei der AR-Gruppe eine etwas geringere Gesamtfehlerzahl, vor allem was prozesskritische, schwer behebbare Fehler betrifft.
- Nutzungs- und Bedienverhalten: Die Tablet-Anwendung wurde zwar verwendet, doch nutzte die AR-Gruppe überwiegend eingebettete Bilder, Videos und Textinhalte, anstatt die AR-spezifischen Hologramme umfassend zu explorieren.

Handlungs- und Lernstrategien

- Die AR-Gruppe agierte stärker „schritt-für-schritt-geführt“ und weigerte sich weitgehend, spontane Planungsentscheidungen zu treffen.
- Die Papiergruppe plante hingegen vorausschauend, nutzte ihre Freiheit für eigenständige Vorgehensweisen, was auf ein höheres Maß an informellem Lernen und individueller Problemlösung hindeutet.

Fazit und Nutzenbewertung

Die Studie kam zu dem Schluss, dass die Entwicklung einer aufwendigen Tablet-AR-Lösung im vorliegenden Anwendungsfall nur bedingt wirtschaftlich ist. Zwar reduzierten sich prozessstörende Fehler, doch wurde das AR-Potenzial (etwa Hologramme, interaktive Overlays) nicht intensiv ausgeschöpft. Die Teilnehmenden bevorzugten weitgehend herkömmliche Darstellungsformen in digitaler Form (Bilder, Videos), was die Hypothese nahelegt, dass eine kostengünstigere digitale

Anleitung mit Fokus auf intuitive Interaktion effektiver sein könnte. Diesen Punkt griff das Projektteam später in der technischen und didaktischen Weiterentwicklung (Abschnitt 3.2/3.3) auf.

Augmented-Reality-Prototyp bei EP Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE)

Hintergrund

Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE) fertigt Durchflussmengenmessgeräte für Gasturbinen, die regelmäßig gewartet und kalibriert werden müssen. Die Wartungsprozesse sind komplex, erfordern präzise Abfolgen und sollen möglichst digital unterstützt werden, um Reiseaufwände für Personal zu reduzieren und die Einarbeitung neuer Mitarbeiter zu vereinfachen. Aufbauend auf vorhandener Dokumentation wurde ein AR-Prototyp entwickelt, der eine interaktive Inbetriebnahme- und Wartungsanleitung bereitstellt.

Umsetzung und Testphase

- Ableitung der Arbeitsschritte aus dem vorhandenen Dokumentationsmaterial (z. B. technische Zeichnungen, Sicherheitsvorschriften).
- Umsetzung in einem modifizierten 3D-CAD-Modell, das in eine AR-Umgebung integriert wurde.
- Praxistest im Siemens Energy Toolcenter Forchheim, wo Fachkräfte die Anwendung erstmals nutzten und Feedback zu Funktionalität, Klarheit und Sinnhaftigkeit der AR-Features gaben.

Inhalte und Anweisungen

- Vorbereitung der Umgebung: Geeigneter Untergrund, Sicherheitszonen, Überprüfung der Elektrokomponenten.
- Wartungsschritte am Messgerät:
    - Filterinspektion und Reinigung
    - Schaltschrank-Checks (Beschädigungen, Kabelanschlüsse)
    - Dokumentation von Messwerten und Auffälligkeiten
- Betonung von Sicherheitsmaßnahmen: Das DFMM (Durchflussmengenmessgerät) darf nicht als Ablagefläche dienen, um Beschädigungen zu vermeiden.

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die Liste der Arbeitsschritte deckt sämtliche Prüfungen und Wartungsaufgaben am Gerät ab.
- Bereits in einem ersten Testlauf wurde deutlich, dass sich AR-Darstellungen als motivierend, aber teils hardware-intensiv erweisen.

- Künftige Anpassungen zielen darauf ab, den AR-Prototyp leichter skalierbar zu machen und die benötigte Hardware (Tablets, AR-Brillen) zu reduzieren.

Mehrstufiges Qualifikationsprogramm zur Wasserstoffwirtschaft bei Siemens Energy (SIE)

Relevanz der Wasserstoffwirtschaft

Siemens Energy ist führend in der Entwicklung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen (z. B. PEM-Elektrolyseur). Wasserstoff gilt als einer der entscheidenden Energieträger für künftige Dekarbonisierungsstrategien. Daher besteht ein hoher Bedarf an Fachkräften, die Produktion, Wartung und Integration von Wasserstofftechnologien in bestehende Energiesysteme beherrschen.

Globale Anforderungen

- Ausbildung von Personal für Produktion und Wartung von Elektrolyseuren
- Schulung von Technikern und Ingenieuren zur sicheren Einbindung von Wasserstoff in Energieversorgungssysteme
- Entwicklung passender Weiterbildungsangebote für den Bereich erneuerbarer Energien
- Kooperation mit Bildungsinstitutionen und Regierungsbehörden, um Ausbildungsbedarfe zu decken und Fachkräfte rechtzeitig zu qualifizieren

Web-Based Training (WBT) und weltweite Umsetzung

VR-REPAIR initiierte ein mehrstufiges Qualifikationsprogramm, dessen erster Baustein ein umfangreiches WBT zum Thema „Wasserstoff als Energieträger“ ist.

Dieses Training umfasst mehrere Kapitel:

- Grundlagen von Wasserstoff (Definition, physikalische Eigenschaften, mögliche Quellen)
- Produktionsverfahren (z. B. Dampfreformation, Elektrolysevarianten, Hochtemperaturbrennstoffzellen)
- Speicherung und Infrastruktur (Druckspeicherung, Untertageverpressung, verflüssigter Wasserstoff)
- Anwendung in Industrie, Verkehr und Gebäudetechnik
- Rolle des Wasserstoffs in einer klimafreundlichen Energieinfrastruktur (Dekarbonisierung, Power-to-X)
- Politische und ökonomische Aspekte, rechtliche Rahmenbedingungen, Marktchancen

Das Web-Based Training wurde weltweit ausgerollt, mit besonderem Fokus auf Ägypten, wo Siemens Energy in enger Kooperation mit lokalen Akteuren arbeitet.

Lernziele und Ausblick

- Vermittlung technischer Grundlagen (z. B. Produktions- und Speichertechnologien)
- Einordnung des Wasserstoffs als Energieträger im Kontext aktueller Herausforderungen und Potenziale
- Befähigung der Lernenden, verschiedene Technologien und deren Integrationsoptionen zu bewerten
- Vorbereitung auf praxisbezogene Ausbildungsstufen, die ab 2023, etwa in Form eines VR-Serious Games, vertieft werden sollen

Erkenntnisse aus der Evaluation

In diesem Arbeitspaket wurden zwei zentrale Weiterentwicklungsprozesse initiiert, die auf den in den Abschnitten 3.1 und 3.2 gewonnenen Erkenntnissen basieren. Vor allem die Erfahrungen aus der AR-Anwendung bei OTS zeigten, dass eine rein AR-fokussierte Anleitung nicht für jeden Anwendungsfall die optimale Lösung ist. Daher ergibt sich als wichtiges Ziel die Gestaltung eines niedrigschwelligen Formats, das sich leicht bedienen lässt und technische Abhängigkeiten minimiert.

Weiterentwicklung der AR-Anleitung bei OTS

- Hauptproblem: Die Testgruppe nutzte viele AR-Funktionen kaum, konzentrierte sich stattdessen auf Bilder und Videos.
- Zentrale Zielsetzung: „Technology follows Didactics“, also Technologien nur dort einsetzen, wo sie einen klaren didaktischen Mehrwert bieten.
- Umsetzung: Neugestaltung über H5P (open-source Software), die mit einer klaren, schrittweisen Struktur arbeitet, interaktiven Content, 3D-Modellen und Videos.
- Vier-Quadranten-Layout: Ein kleines Fenster zeigt das 3D-Modell, während andere Abschnitte Text, Bilder und Anweisungen enthalten. Die Nutzer sollen sich selbstständig einen Überblick verschaffen, bevor sie aktiv werden.

Weiterentwicklung der Anleitungsform bei EPE

- Erkenntnis: Auch bei EPE ist der Tablet-Einsatz nicht immer praktikabel, u. a. wegen mangelnder Hardware vor Ort.
- Lösung: Nutzung eines Umfragetools (Limesurvey), das Bilder, Videos und Kontrollfragen in linearer Abfolge präsentiert.

- Mehrere Ebenen des Prinzips der vollständigen Handlung (Informieren, Planen, Entscheiden, Ausführen, Kontrollieren, Bewerten) werden abgedeckt, ohne dass die Nutzer ein AR-Device benötigen.
- Zusätzlich: Möglichkeit, am Ende ein Freigabeprotokoll zu generieren und benötigte Ersatzteile festzuhalten.

Bedeutung für VR-REPAIR

Arbeitspaket 3 nimmt eine zentrale Rolle innerhalb des Projekts VR-REPAIR ein, da hier die praktischen Erfahrungen mit den bereits entwickelten Lernszenarien gesammelt, analysiert und für künftige Optimierungsprozesse aufbereitet werden. Die Ergebnisse zeigen:

- Nicht jede AR-Lösung überzeugt in der Praxis, wenn die Anwender die spezifischen Funktionen nicht aktiv nutzen oder die Hardware nicht zuverlässig zur Verfügung steht.
- Bild- und videobasierte Konzepte können in vielen Fällen ebenso effizient sein, wenn sie didaktisch sinnvoll strukturiert sind.
- Der Mehrwert von AR oder VR zeigt sich vorrangig in Szenarien, in denen räumliche, prozessnahe Visualisierungen deutlich zur Fehlervermeidung oder Zeitersparnis beitragen.

Wesentliche Lernerfolge

- Beim OTS-Prototypen konnten potenzielle Fehlerquellen minimiert werden, wenngleich der AR-Ansatz nicht voll zur Entfaltung kam.
- Bei EPE zeigte sich, dass AR zwar motivierend wirkt, aber an realen Standortbedingungen scheitern kann. Die Umstellung auf eine Limesurvey-Lösung, die offline-fähig und hardwareunabhängig einsetzbar ist, spricht für einen pragmatischen Ansatz.
- Das von Siemens Energy eingeleitete Qualifikationsprogramm zur Wasserstoffwirtschaft belegt, wie wichtig es ist, digitale Lernmodule schrittweise aufzubauen zunächst ein Web-Based Training (WBT) für Grundlagen, gefolgt von interaktiven, praxisnahen Formaten (z. B. VR-Serious Game).

Perspektiven

- Ergänzende Tests sind geplant, um die H5P-Anleitung für OTS in unterschiedlichen kulturellen und sprachlichen Kontexten zu erproben. Hier könnte sich zeigen, ob das Layout und die Navigation wirklich universell verständlich sind.
- Bei EPE wird die Limesurvey-basierte Anleitung im Frühjahr 2023 in einer Real-Life-Wartungssituation erstmals systematisch evaluiert. Daraus sollen weitere Rückmeldungen gewonnen werden, wie nützlich lineare Strukturen vs. AR-gestützte Interaktionen sind.

- Im Themenbereich Wasserstoffwirtschaft bei Siemens Energy wird ab 2023 ein VR-Serious Game bereitgestellt, das auf den im WBT vermittelten Grundlagen aufbaut. Dies könnte ein Best-Practice-Beispiel für eine fließende Verknüpfung von Theorie und (virtueller) Praxis sein.

Arbeitspaket 3 liefert bedeutsame empirische Befunde zur Frage, wie VR- und AR-Lernszenarien unter realen Bedingungen funktionieren. Einerseits bestärken die Erkenntnisse die ursprüngliche Annahme, dass immersive Technologien den Schulungsprozess unterstützen können, indem sie Fehler reduzieren, Abläufe transparenter machen und informelles Lernen fördern. Andererseits wird deutlich, dass ein unreflektierter Einsatz aufwendiger AR-Funktionen häufig nicht zur gewünschten Steigerung der Effizienz führt, wenn die Nutzer sie nicht intuitiv begreifen oder wenn technische Restriktionen (fehlende Tablets, mangelnde Netzabdeckung) bestehen.

Das Projektteam reagierte auf diese gemischten Resultate mit einer pragmatischen Weiterentwicklung in Richtung einfach zu bedienender digitaler Formate wie H5P und Limesurvey. Dieser Ansatz folgt dem Prinzip „Technology follows Didactics“: Digitale Tools sollen nur dort zur Anwendung kommen, wo sie messbar zum Kompetenzerwerb beitragen und in der betrieblichen Realität auf Akzeptanz stoßen.

Aus didaktischer Sicht ist hervorzuheben, dass sich AR- und VR-Lösungen besonders dann bewähren, wenn sie Raum für eigenverantwortliches Handeln lassen. Wie die Masterarbeit bei OTS zeigte, ist gerade das selbstständige Planen und Entscheiden ein wichtiger Faktor für informelles Lernen. Wenn eine AR-Anwendung jedoch zu stark in einem schrittweisen „Walkthrough“ verhaftet bleibt, besteht die Gefahr, dass die Anwender lediglich passiv den Anweisungen folgen. Hier erweist sich eine didaktische Gestaltung, die mehr Freiheitsgrade für eigenständige Problemlösung bietet, als effektiver.

In Bezug auf die Wasserstoffwirtschaft bei Siemens Energy unterstreicht Arbeitspaket 3 die Bedeutung eines modularen Qualifikationswegs: Zunächst entsteht ein global verfügbares Web-Based Training, das grundlegendes Wissen vermittelt, anschließend folgen tiefergehende Anwendungen (z. B. VR-Serious Game), die Lernende intensiv auf konkrete Anforderungen vorbereiten. Diese Vorgehensweise

könnte als Vorbild für andere Bereiche der Energiewirtschaft dienen, in denen neue Technologien rasch an Bedeutung gewinnen und qualifizierte Fachkräfte rar sind.

Damit legt Arbeitspaket 3 den Grundstein für eine finale Evaluation der entwickelten Module (vgl. AP 5.1 und 5.2). Dort werden die hier generierten Erkenntnisse weiter vertieft, um ein umfassendes Bild der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von VR- und AR-Lernszenarien zu zeichnen. Gleichzeitig regen die Resultate aus Arbeitspaket 3 weitere Diskussionen an, wie sich digitale Schulungslösungen für hochgradig mobile, international agierende Fachkräfte optimieren lassen ein Thema, das in Zeiten der Globalisierung und des Klimawandels zunehmend an Relevanz gewinnt.

MRL Iteration 2

Im Jahr 2023 hat das Arbeitspaket 4 des VR-REPAIR Projekts wesentliche Fortschritte bei der Durchführung und Weiterentwicklung virtueller Lernmodule erzielt. Im Zentrum standen drei Prototypen „SIE“, „OTS“ und „EPE“ die in unterschiedlichen Anwendungsszenarien erprobt und ausgewertet wurden. Entsprechend des Projektzeitplans wurden spezifische Testtermine angesetzt, um eine möglichst breite und effektive Evaluation durchzuführen. Dabei unterstreichen die erzielten Ergebnisse das Potenzial moderner VR- und AR-Lösungen für eine nachhaltige, zukunftsorientierte berufliche Bildung.

1. Prototyp für EPE

Das Arbeitspaket 4 legte einen besonderen Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung des Prototyps für die Firma Ehrler Prüftechnik Engineering (EPE). Dabei wurde eine interaktive Wartungsanleitung konzipiert, die mittels der Plattform H5P bereitgestellt wird. Sie ist speziell auf die Bedürfnisse kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) zugeschnitten und bietet vielfältige Funktionen für eine immersive Lernerfahrung.

H5P-Vorlage

- Anpassbare Fragebogenfunktionen (z. B. Single-Choice- oder Ja/Nein-Formate)
- Unterstützung für 360°-Bilder sowie 3D-Modelle
- Nutzung des Google ModelViewer Frameworks, um 3D-Inhalte ohne zusätzliche Software darzustellen

Virtuelle 360°-Tour

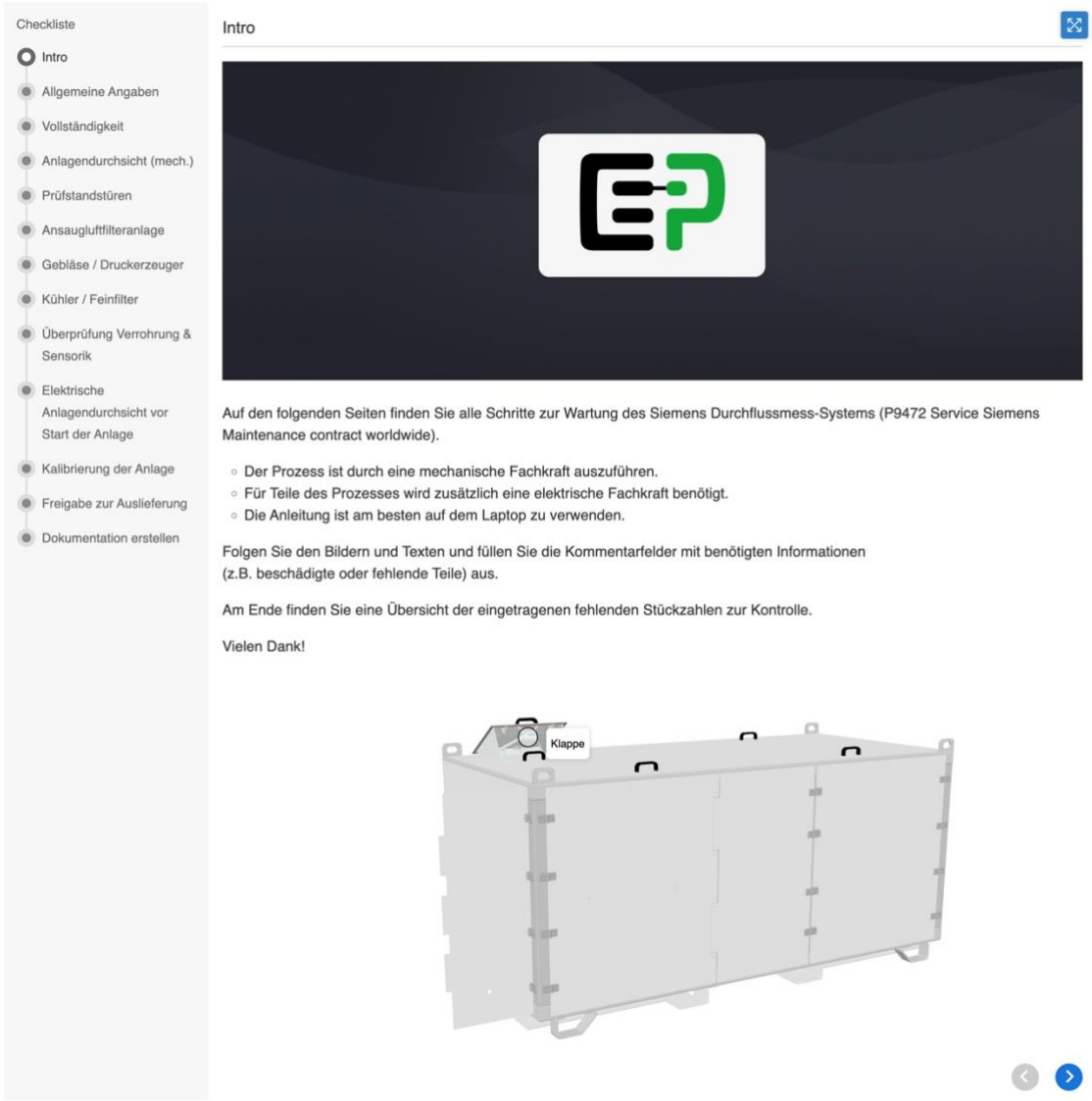
- Ermöglicht realitätsnahe Einblicke in Wartungsszenarien
- Führt Nutzer schrittweise durch relevante Arbeitsprozesse
- Bietet einen Rundumblick, damit sie sich mit der räumlichen Anordnung vertraut machen können

Exportfunktion für Dokumentationen

- Überführung sämtlicher Lerninhalte und Eingaben in ein Microsoft Word-Dokument
- Erleichtert die Weitergabe von Wissen innerhalb des Unternehmens
- Unterstützt die lückenlose Dokumentation von Wartungs- und Reparaturprozessen

Flexible Nutzerinteraktion

- Single-Choice-Fragen und offene Textpassagen
- Einbettung von Augmented-Reality-Elementen, die den Praxistransfer erleichtern
- Gezielte Rückmeldungen zu Antworten oder Eingaben der Lernenden



Durch die Kombination dieser Funktionen hat sich eine interaktive und immersive Anleitung etabliert, die das Kompetenzniveau der Mitarbeitenden im Wartungsbereich messbar steigert. Diese Entwicklung unterstreicht zugleich den Beitrag des VR-REPAIR Projekts zur Qualitätsverbesserung der beruflichen Bildung, da die H5P-Anleitung weitgehend ohne externe Programmierkenntnisse gepflegt und erweitert werden kann.

2. Prototyp für OTS

Ein zweiter zentraler Bestandteil des Arbeitspakets 4 war die Optimierung der Schulungsprozesse bei OT Oberflächentechnik GmbH & Co. KG (OTS), die in Schwerin mobile Beschichtungsanlagen betreibt und weltweit einsetzt. Angesichts des Klimawandels und der daraus resultierenden Notwendigkeit, internationale Reisetätigkeiten zu minimieren, entschied sich OTS für ein digitales Schulungskonzept, das lokale Arbeitskräfte selbstständig die Anlage aufbauen und warten lässt. Um dieses Ziel zu

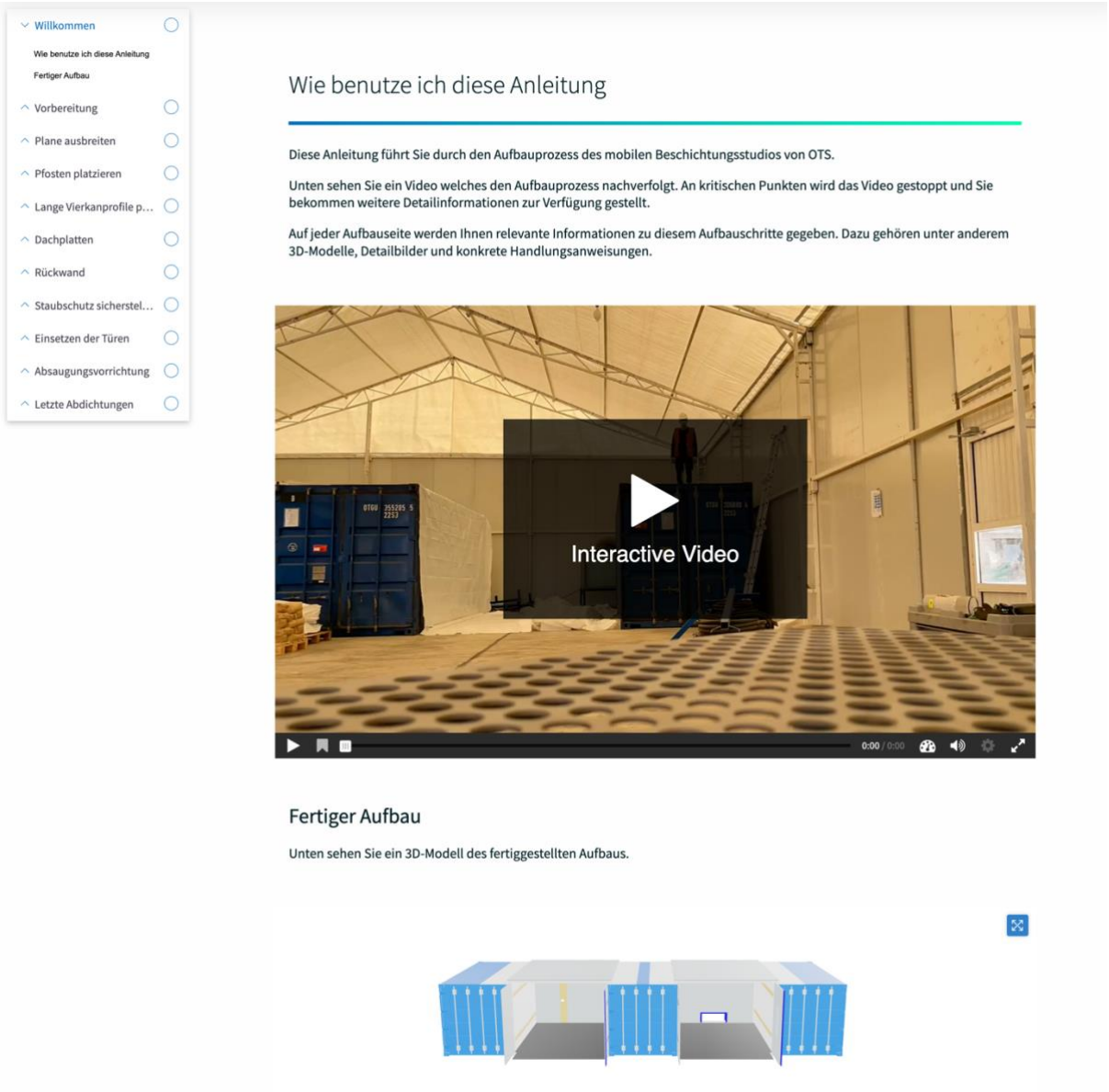
erreichen, kamen Augmented-Reality-Module zum Einsatz, die Monteuren oder Techniker:innen eine intuitive Anleitung direkt in ihrer realen Arbeitsumgebung bieten.

AR-Anleitungen für Montage und Instandhaltung

- Binden virtuelle Informationen (Texte, Formen, 3D-Modelle) in das reale Umfeld ein
- Vereinfachen komplexe und körperlich anspruchsvolle Arbeitsabläufe
- Ermöglichen den Mitarbeitenden, Fehler zu vermeiden und Prozesse effizienter zu gestalten

Wesentliche technische Innovationen

1. **Integration von 3D-Modellen**
   - Darstellung einzelner Komponenten, Bauteile und Werkzeuge im räumlichen Kontext
   - Steigerung des Verständnisses für die exakte Anordnung und Handhabung
2. **Angepasster Inhaltstyp im InteractiveBook**
   - Unterstützung von 360°-Bildern und 3D-Modellen
   - Erleichtert die Navigation zwischen den Montageschritten
3. **Annotationen direkt in 3D**
   - Zusätzliche Hinweise, Warnungen oder Erläuterungen
   - Genaue Platzierung an der relevanten Stelle
4. **Interaktive Videos**
   - Veranschaulichung kritischer Montageschritte in bewegter Form
   - Förderung eines tieferen Verständnisses durch visuelle Demonstration



Dank dieser Weiterentwicklungen können lokale Fachkräfte ihre Fertigkeiten schneller ausbauen und eigenständig agieren, wodurch OTS Reisekosten und Zeitaufwand einspart. Darüber hinaus hat sich die Montagequalität erhöht, da die Ausführenden nun jederzeit auf detaillierte Schritt-für-Schritt-Erläuterungen zugreifen können. Dieser Ansatz leistet einen wesentlichen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit, denn durch den verringerten Reisebedarf sinkt gleichzeitig der CO_2-Ausstoß des Unternehmens.

3. Prototyp für SIE

Neben den AR-gestützten Lösungen für EPE und OTS befasst sich Arbeitspaket 4 ebenso mit einem von Siemens Energy (SIE) entwickelten Virtual-Reality-Spiel, dem sogenannten „Energy Transition Game“. Dieses stellt ein neuartiges Werkzeug dar, um die europäischen Bemühungen zur Reduzierung

fossiler Brennstoffe und zum Ausbau erneuerbarer Energien spielerisch zu vermitteln. Die Spielzeit beträgt rund 30 bis 40 Minuten und bietet den Teilnehmenden eine faszinierende, interaktive Erfahrung.

Ziele und Inhalte

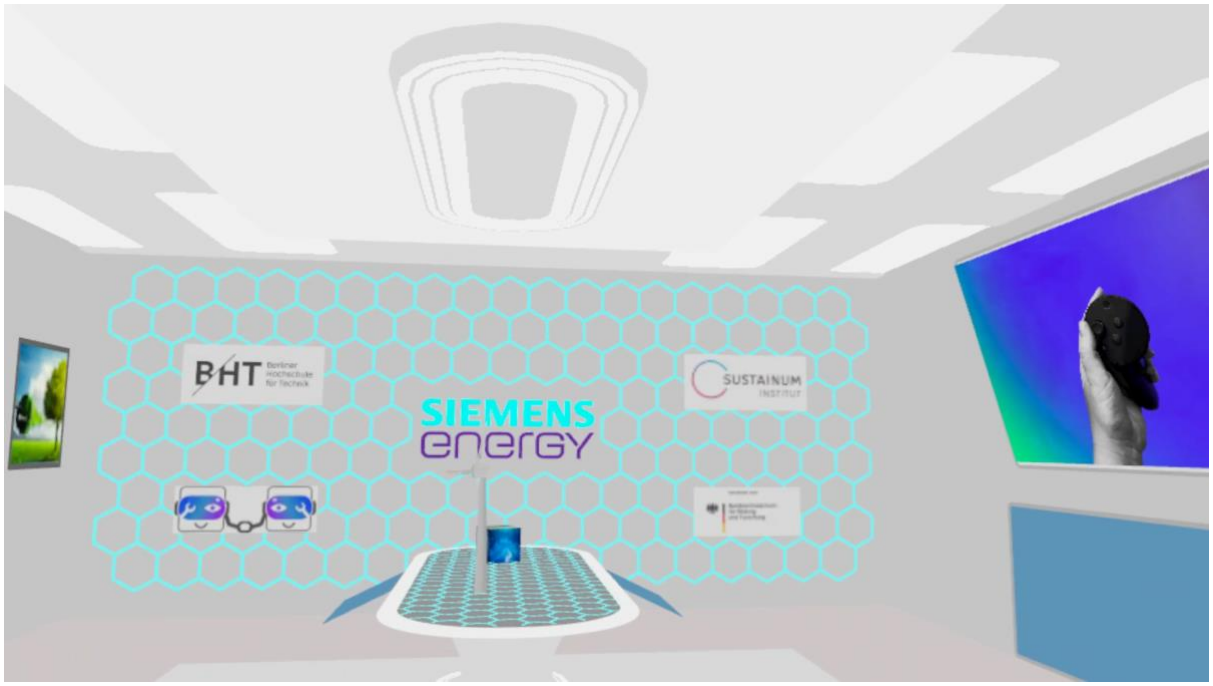
- Thematisierung der Umstrukturierung der europäischen Energieindustrie
- Simulierte Szenarien mit Windgeschwindigkeiten, Sonnenstrahlungswerten und Funktionsweisen von Solarmodulen
- Strategische Entscheidungen, um bis 2050 einen 80-prozentigen Anteil erneuerbarer Energien zu erreichen

Spielmechanik und Funktionen

- Vollständiges VR-Erlebnis für eine immersive Lernumgebung
- Alternativ: Interaktiver Trailer und Excel-Tool ohne VR-Headset
- Live-Durchlauf auf der Projektwebsite verlinkt
- Begleitender Info-Brief mit Erläuterungen von „Marcus“, einem fiktiven Experten

Lehr- und Lerneffekte

- Entwicklung eines tiefgreifenden Verständnisses für die Dringlichkeit klimarelevanter Maßnahmen
- Kombination von spielerischen Elementen und realitätsnahen Daten zu Wind- und Solarenergie
- Stärkung der Motivation der Teilnehmenden, aktiv an einer energiepolitischen Transformation mitzuwirken



Das „Energy Transition Game“ vereint interaktive Lernmethoden mit einer virtuellen 3D-Umgebung und illustriert, wie Branchenwissen zu erneuerbaren Energien ansprechend aufbereitet werden kann. Durch diese Integration in VR-REPAIR werden Fachkräfte und Stakeholder gleichermaßen befähigt, wirtschaftliche wie technologische Aspekte der Energiewende besser zu verstehen.

Gesamtschau der Ergebnisse in Arbeitspaket 4

Insgesamt bestätigen die drei Prototypen für EPE, OTS und SIE, dass die im Projekt verfolgte Strategie einer didaktisch fundierten, arbeitsprozessorientierten und technologisch flexiblen Konzeption von VR- bzw. AR-Lernszenarien erfolgreich ist. Ausgehend von den jeweiligen branchenspezifischen Anforderungen sei es die Wartung technischer Systeme, der Aufbau mobiler Beschichtungsanlagen oder das Management der Energiewende zeigen sich in Arbeitspaket 4 vielfältige Synergieeffekte.

Vereinfachte Abläufe

- Minimierte Fehlerquote dank klar strukturierter Handlungsanleitungen
- Reduzierter Zeitaufwand für Einarbeitungsphasen und Reisekosten
- Teilweise erhebliche Einsparpotenziale für Unternehmen

Erhöhte Lernmotivation

- Interaktive Elemente (H5P, AR, VR) steigern die Aufmerksamkeit
- Realitätstreue Darstellungen und Videosequenzen fördern das Verständnis
- Gemeinsame Dokumentation (Exportfunktionen) verbessert den Wissenstransfer

Nachhaltige Wirksamkeit

- Lokalisierung von Arbeitsschritten durch AR in Echtzeit
- Eigene Lernkontrollen (z. B. Single-Choice-Fragen) ermöglichen stete Selbstüberprüfung
- Skalierbare und flexible Lösungen, die sich an veränderte Anforderungen anpassen lassen

Region	Wind Parks Medium Size		Solar Parks Medium Size		Wind Energy GWh	Solar Energy GWh	Renewable Energy GWh	Available Area km2
Albania		0		0	0	0	0	574
Austria		30		0	24.903	0	24.903	1.408
Belgium		0		40	0	6.171	6.171	530
Bosnia and Herzegovina		0		0	0	0	0	1.022
Bulgaria		40		40	23.080	7.957	31.037	1.780
Croatia		0		0	0	0	0	1.132
Czech Republic		0		0	0	0	0	1.578
Denmark		0		0	0	0	0	890
Estonia		0		0	0	0	0	906
Finland		0		0	0	0	0	6.762
France (Coast)		0		0	0	0	0	3.752
France (Main)		0		0	0	0	0	7.282
Germany (North)		0		0	0	0	0	3.574
Germany (South)		0		0	0	0	0	3.574
Greece		0		0	0	0	0	2.638
Hungaria		0		0	0	0	0	1.860
Ireland		0		0	0	0	0	1.406
Italy (North)		0		0	0	0	0	3.014
Italy (South)		0		0	0	0	0	3.014
Latvia		0		0	0	0	0	1.292
Lithuania		0		0	0	0	0	1.306
Moldova		0		0	0	0	0	676
Netherlands		0		0	0	0	0	824
North Macedonia		0		0	0	0	0	514
Norway		0		0	0	0	0	7.704
Poland		0		0	0	0	0	6.254
Portugal		0		0	0	0	0	1.768
Romania		0		0	0	0	0	4.768
Serbia		0		0	0	0	0	1.768
Slovakia		0		0	0	0	0	980
Slovenia		0		0	0	0	0	406
Spain		0		210	0	48.772	48.772	9.550
Sweden		0		0	0	0	0	9.006
Switzerland		0		0	0	0	0	826
United Kingdom		0		0	0	0	0	4.850

Evaluation und Qualitätssicherung

Auf Basis der Evaluationen innerhalb des Projektes wurden in Kooperation mit dem Projekt XR-Energy (https://renewable.study/projects/xr-energy) weitere Analysen und Interviews geführt. Hier wurde vor allem versucht die Perspektive von Ausbildern mit in die bisherigen Erkenntnisse von Fachkräften und Field-Service Mitarbeitenden aufzunehmen. Es wurde eine Online-Befragung mit Teilnehmenden aus Ausbildungszentren in Deutschland, Österreich und Spanien durchgeführt. Folgende Themenfelder wurden im Fragebogen erfasst:

- wie neue Medien (Augmented Reality, Virtual Reality etc.) besser in betrieblichen Lerneinheiten genutzt werden können,
- welche Erfahrungen Lehrkräfte in diesem Bereich haben und
- wie sie sich die Zukunft vorstellen können.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Fragebogen

<u>Bereiche der Ausbildung:</u>

Die Ausbildung deckt eine Vielzahl von Bereichen ab, darunter Softwareschulungen, Projektmanagement, verschiedene Bauhandwerke wie Straßenbau und Holzbau, Bautechnik, Innenausbau, Dachdeckerhandwerk und Konstruktion. Ebenfalls sind Berufsberatung, Gefahren am Arbeitsplatz, Nachhaltigkeit, Informationstechnik, Verwaltung, Baustoffkunde und Elektrotechnik wichtige Bestandteile der Ausbildung.

Was gefällt den Lehrkräften an ihrer Tätigkeit:

Lehrkräfte schätzen besonders die Interaktion mit jungen Menschen und die Möglichkeit, ihr Wissen und ihre Werte an die nächste Generation weiterzugeben. Sie genießen es, ihre Begeisterung zu teilen, etwas Sinnvolles zu tun und sehen sich als Mitgestalter der Zukunft junger Menschen. Auch die Herausforderungen und die Eigenverantwortung in ihrem Beruf werden positiv hervorgehoben.

Größte Herausforderungen als Lehrperson:

Die Lehrkräfte stehen vor mehreren Herausforderungen, darunter die fehlende Motivation der Schüler, die Notwendigkeit, auf unterschiedliche Niveaus und soziale Verhaltensweisen einzugehen, sowie die Anforderungen der fortlaufenden Digitalisierung. Sprachbarrieren und die Schwierigkeit, theoretisches Wissen zu vermitteln, sind ebenfalls bedeutende Herausforderungen.

Besonders hilfreiche Techniken:

Zu den effektiven Lehrmethoden zählen das praktische Einüben mit realen Beispielen, visuelle und interaktive Darstellungen mittels 3D-Modellen, Simulationen, Visualisierungen durch verschiedene Medien, das Erklären in kleinen Schritten und die Gruppenarbeit. Das umgekehrte Klassenzimmer wird ebenfalls als hilfreich angesehen.

Verwendung digitaler Hilfsmittel:

Digitale Hilfsmittel bieten viele Vorteile wie Abwechslung, Visualisierungsmöglichkeiten, zeit- und ortsunabhängiges Lernen, Entlastung der Trainer und die Verbesserung der digitalen Kompetenz. Auf der anderen Seite stehen Herausforderungen wie die Neigung, digitale Medien zu Spielzwecken zu missbrauchen, der erhöhte Zeitaufwand für die Erstellung von Inhalten und technische Schwierigkeiten.

Konzept der erweiterten Realität:

Die erweiterte Realität wird als potenzielles Werkzeug zur Verbesserung der Lehre angesehen, besonders für die Simulation gefährlicher Umgebungen, die interaktive Montage von Bauelementen und das detaillierte Veranschaulichen von Konstruktionen. Trotz der erkannten Vorteile gibt es auch

Vorbehalte gegenüber der Anwendung dieser Technologie in der praktischen Ausbildung, während sie für theoretische Inhalte als geeignet angesehen wird.

Übergreifendes Modell: Field-Service-Support-System (FSS)

Die Energiewende erfordert, komplexe Energiesysteme aufzubauen und instand zu halten, um eine zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten. Die Herausforderung ist, dass die Fachkräfte die Installation und Wartung von komplexen, vernetzten Anlagen und Systemen bewältigen müssen, zu denen ihnen die relevanten Informationen und Details nur zum Teil vorliegen. Dazu benötigen die Fachkräfte für ihre Einsätze dringend Aus- bzw. Weiterbildungen, die komplexe Sachverhalte verständlich aufbereiten. Im Verlauf des Projekts VR-REPAIR haben die Umsetzungspartner (Siemens Energy, OTS, EPE) festgestellt, dass vor allem modulare Lösungen gebraucht werden, die auch unter unvorhersehbaren Umständen im Auslandsgeschäft einsetzbar sind. Diese Unterstützungssysteme sollten für die Firmen selbst veränderbar und zur Weiterentwicklung geeignet sein. Günstig für die Gestaltung eines solchen modularen Systems ist dabei, dass die Wartung von vernetzten Systemen eine universelle Herausforderung ist, welche gewerksübergreifend (z.B. Elektroinstallateure, Anlagenmechaniker, Metallbauer) im Bereich der Energiewende auftritt.

Die dafür in VR-REPAIR entwickelten Prototypen zeigen, dass in solchen Situationen pragmatische Mixed-Reality Lösungen, die auch auf gängigen Smartphones und Tablets mit eingeschränkter Bandbreite nutzbar sind, am effektivsten sind. Solche Lösungen sind flexibel und auch für Einsatzfälle mit schwierigen und unvorhersehbaren Komplikationen anwendbar, indem sie in Echtzeit Zugang zu wichtigen Informationen und Support (u.a. Anleitung von Experten aus der Ferne) ermöglichen.

In der Erweiterungs- und Nachhaltigkeitsphase des Projekts werden die Anwendungsbeispiele der Umsetzungspartner Ehrler, OTS und Siemens Energy zu allgemeinen, flexiblen und unabhängig einsetzbaren Modulen weiterentwickelt werden. Hierzu wird ein Field-Service-Support-System (FSS) entwickelt, mit denen Lernende sich schnell und pragmatisch neue Inhalte und Vorgehensweisen im Bereich der Energielieferkette aneignen können.

Die Vorarbeiten in VR-REPAIR legen es nahe, in der Entwicklung auf problemorientierte Module zu setzen, die bedarfsgerecht durch digitale Support-Anwendungen gestützt werden. Folgende Kriterien werden angelegt:

- Handlungsorientierung: Die entwickelten Lösungen müssen im Field-Service so direkt einsetzbar sein, dass sie lokales Personal für Handlungsschritte und Fertigkeiten qualifizieren auch ohne zuvor theoretische Grundlagen zu vermitteln.
- Augmented Reality: Der Einsatz von Augmented Reality muss noch stärker auf die Lernziele und deren Veranschaulichung zugeschnitten sein. Es müssen Schnittstellen für die Ergänzung durch problemorientierte ad-hoc Lösungen (MS Teams Call, Whatsapp Fotos, digitales Protokoll, etc.) existieren.
- Nachhaltigkeit: Die spätere Modifikation und Weiterentwicklung durch firmeneigene Mitarbeitende (nicht IT-Personal) sowie die problemlose Einbindung in übliche Kollaborationstools und auf Organisationswebseiten ist zwingend erforderlich.

Als technische Basis für das FSS soll die freie und quelloffene Software H5P (https://h5p.org/) zum Erstellen der Support-Anwendungen und Module verwendet werden. Diese Software ermöglicht die Weiterentwicklung durch „Laien“, die keine IT-Experten sind.

Verankerung und Transfer

In Rahmen der Verbreitungs- und Transferstrategie wurde eine Internetseite ins Leben gerufen, die als Plattform für Projekte und Organisationen dient, die im Bereich der Energiewende und beruflicher Qualifizierung aktiv sind und mit Hilfe von Extended-Reality und anderen praxisnahen Weiterbildungsformen dem Fachkräftemangel begegnen wollen.

https://renewable.study/

Auf den Unterseiten hat das Projekt bereits begonnen, die bisherigen Erkenntnisse weiter aufzuarbeiten und zielgruppennahe Zusammenfassungen, Handlungsanleitungen und Beispiele zusammenzutragen.

Speziell hervorzuheben ist dabei der Bereich zu **XR in der Ausbildung**:

1. **XR in der Ausbildung**: Die Hauptseite bietet eine allgemeine Einführung in die verschiedenen Formen der Extended Reality (XR) - Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR). Sie betont die Bedeutung von XR in modernen Lernumgebungen durch verbesserte Immersion und Interaktivität. Detailseite
2. **Merkmale**: Diese Seite konzentriert sich auf die spezifischen Eigenschaften von XR, wie die Schaffung einer immersiven Umgebung, die Lernende in eine simulierte Realität versetzt. Es wird betont, wie XR die Wahrnehmung und Interaktion mit Lehrinhalten verbessert. Detailseite

3. **Wobei es hilft**: Hier wird erörtert, wie XR unterstützend in Lehrpläne integriert werden kann, insbesondere für praktische und visuelle Lerninhalte. XR bietet durch Simulationen und Interaktivität die Möglichkeit, komplexe Konzepte und Fähigkeiten zu vermitteln. Detailseite
4. **Zielgruppen**: Diese Seite identifiziert die primären Zielgruppen für XR-basierte Bildung, darunter Studierende und Fachkräfte aus verschiedenen Branchen, die von immersiven Lernerfahrungen profitieren können. Detailseite
5. **Einsatzmöglichkeiten**: Unterschiedliche praktische Anwendungen von XR in der Ausbildung werden diskutiert, einschließlich Trainingssimulationen und interaktiven Prüfungen, die realistische Szenarien für ein effektives Lernen bieten. Detailseite
6. **Potenziale und Grenzen**: Es werden die Potenziale von XR in der Bildung sowie die technischen und didaktischen Herausforderungen, die ihre Implementierung mit sich bringt, betrachtet. Die Seite analysiert, wie diese Herausforderungen überwunden werden können, um den Einsatz von XR zu optimieren. Detailseite

Jede dieser Seiten bietet tiefergehende Einblicke in die Anwendung und Auswirkungen von XR-Technologien in Bildungskontexten. Für weiterführende Informationen können die jeweiligen Detailseiten besucht werden.

Ein weiterer Beitrag beschäftigt sich mit den verschiedenen **Nutzungsstrategien** von XR, welcher vor allem die verschiedenen Varianten und Vor- und Nachteile für KMU herausarbeitet:

1. **Nutzung von XR**: Diese Seite erörtert, wie XR-Technologien das Lernen durch immersive und interaktive Erfahrungen verbessern können. Lehrkräfte können 3D-Modelle und simulierte Umgebungen einsetzen, um komplexe Konzepte verständlich zu machen, was besonders für praktische Lernfelder wie Medizin oder Ingenieurwissenschaften vorteilhaft ist. Detailseite
2. **Voraussetzungen**: Auf dieser Seite werden die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für den effektiven Einsatz von XR in Bildungseinrichtungen besprochen. Dazu gehören Hardware-Anforderungen, die Integration in bestehende Lehrpläne und die Schulung von Lehrpersonal. Detailseite
3. **Herausforderungen**: Diese Seite behandelt die Herausforderungen, die sich bei der Implementierung von XR-Technologien ergeben, wie hohe Kosten, technische Komplexität und die Notwendigkeit kontinuierlicher Wartung und Aktualisierung der Systeme. Detailseite

4. **Gute Praxis**: Es werden bewährte Methoden für den Einsatz von XR in der Bildung vorgestellt, einschließlich der Auswahl geeigneter Inhalte, der Entwicklung benutzerfreundlicher XR-Anwendungen und der regelmäßigen Bewertung der Lerneffekte. Detailseite

Jede Seite bietet detaillierte Informationen und praktische Tipps, wie XR-Technologien erfolgreich in Bildungsprozesse integriert werden können. Sie können die verlinkten Seiten besuchen, um weiterführende Informationen und konkrete Beispiele zu erhalten.

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Eine kostenneutrale Verlängerung für die Partner BHT, SE und SUS ermöglichte die Restarbeiten in 2024 gut zu Ende zu führen. Ansonsten gab es keine nennenswerten Änderungen zum beantragten Budget.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt VR-REPAIR reagierte auf den zunehmenden Bedarf, Fachkräfte direkt am Arbeitsplatz praxisnah und bedarfsgerecht zu qualifizieren – insbesondere in internationalen Einsatzkontexten wie im ägyptischen Energiesektor. Klassische Qualifizierungsformate, etwa zentral organisierte Seminare oder Präsenzschulungen, erwiesen sich in diesem Kontext als zu unflexibel, zu kostenintensiv und kaum skalierbar – insbesondere angesichts globaler Unsicherheiten, pandemiebedingter Einschränkungen und hoher Fluktuation auf dem Arbeitsmarkt vor Ort.

Daher war es notwendig, neue Formate der arbeitsplatznahen Kompetenzentwicklung zu entwickeln, die sowohl situativ angepasst als auch technologisch anschlussfähig sind. Die Wahl fiel auf ein didaktisches Konzept, das sich an den Prinzipien des agilen Lernens orientiert und digitale Unterstützungssysteme (XR-Anwendungen, VR-Szenarien, AR-gestützte Lernhilfen) zur Verfügung stellt. Die entwickelten Lösungen zielten nicht auf starre Curricula, sondern auf flexible, modulare Lernbausteine, die in reale Arbeitsprozesse eingebettet und von den Lernenden eigenverantwortlich genutzt werden konnten.

Durch den Fokus auf handlungsorientierte Lernszenarien – etwa interaktive Wartungsanleitungen, VR-gestützte Instandhaltungsprozesse oder AR-unterstützte Aufbauanleitungen – konnten die Projektpartner zeigen, wie Lernen unmittelbar im Arbeitskontext verankert werden kann. Die entwickelten Formate ermöglichen selbst bei begrenzter Infrastruktur oder niedriger digitaler Affinität eine effektive Qualifizierung. Besonders hervorzuheben ist, dass sämtliche Entwicklungen auch ohne

IT-Vorkenntnisse durch Fachkräfte oder Ausbilder:innen vor Ort anpassbar und weiterverwendbar sind – ein zentraler Aspekt für Nachhaltigkeit und Praxistauglichkeit.

Die geleistete Arbeit war daher nicht nur notwendig im Sinne der Projektziele, sondern auch angemessen im Hinblick auf die gestellten Herausforderungen: Sie schuf ein skalierbares, adaptives und realitätsnahes System zur Fachkräfteentwicklung, das den Anforderungen internationaler Industrieunternehmen wie Siemens Energy sowie deren mittelständischen Partnern gerecht wird – und darüber hinaus als modellhafter Beitrag zur Digitalisierung beruflicher Bildung in internationalen Kontexten verstanden werden kann.

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Rahmen des Projekts VR-REPAIR entwickelten Ansätze und Produkte sind sowohl auf technischer als auch auf didaktischer Ebene von hoher praktischer Relevanz und weisen ein beachtliches Transferpotenzial auf. Die Ergebnisse sind unmittelbar anschlussfähig an bestehende Bildungs- und Qualifizierungsstrukturen in Unternehmen, insbesondere im industriellen Umfeld mit hoher Prozesskomplexität und internationalem Wirkungsradius. Sie adressieren zentrale Herausforderungen der Fachkräfteentwicklung im Kontext der Energiewende, globaler Lieferketten und dem zunehmenden Bedarf an dezentraler, handlungsorientierter Weiterbildung.

Modularität und Transferfähigkeit

Ein zentrales Ziel von VR-REPAIR war die Entwicklung modularer XR-basierter Lernszenarien, die sich flexibel an unterschiedliche Anwendungskontexte anpassen lassen. Diese Zielstellung wurde erreicht: Die entwickelten Prototypen bei Siemens Energy (VR-Game zur Energiewende), OT Oberflächentechnik (AR-gestützte Aufbauanleitung) und EP Ehrler Prüftechnik (AR-Wartungsmodul) demonstrieren beispielhaft, wie praxisnahe und digitale Lernformate aufbereitet, getestet und nachhaltig im Betrieb verankert werden können.

Die Übertragbarkeit dieser Module auf andere Unternehmen und Anwendungsfelder ist durch den gewählten Ansatz explizit vorgesehen. Die technische Grundlage, u. a. die Verwendung von Open-Source-Werkzeugen wie H5P, erleichtert die Reproduktion und Weiterentwicklung ohne spezialisiertes IT-Personal. Ebenso sind die Inhalte so strukturiert, dass sie auch unabhängig vom ursprünglichen Nutzungskontext (z. B. Gasturbinenservice) auf andere technische Felder (z. B. Anlagenbau, Instandhaltung, Logistik) übertragen werden können.

Zielgruppenspezifische Gestaltung

Ein weiterer Erfolgsfaktor des Projekts liegt in der differenzierten Betrachtung und Adressierung spezifischer Zielgruppen. VR-REPAIR unterscheidet zwischen verschiedenen Nutzer:innen: Auszubildende, Fachkräfte, Meister:innen und Ingenieur:innen. Für jede dieser Gruppen wurden passende Lernformate entwickelt, z. B.:

- **VR-Serious Game** zur strategischen Energieplanung für Auszubildende,
- **AR-Wartungsanleitungen** für Service-Techniker:innen im Feld,
- **Remote-Support-Szenarien** für die Einbindung von Expertenwissen bei komplexen technischen Aufgaben.

Die daraus resultierenden Lernlösungen sind nicht nur fachlich, sondern auch methodisch adressatengerecht und orientieren sich an Prinzipien des agilen Lernens sowie der vollständigen Handlung.

Nachhaltigkeit und Weiterentwicklung

Mit dem **Field-Service-Support-System (FSS)** wurde ein übergreifendes Modell für nachhaltige Qualifizierungsprozesse geschaffen. Es erlaubt Fachkräften, eigenständig neue Kompetenzen zu erwerben – unabhängig von Zeit, Ort und Betreuung. Besonders hervorzuheben ist die einfache Erweiterbarkeit durch unternehmensinterne Mitarbeitende: Inhalte können ohne Programmierkenntnisse angepasst oder ergänzt werden, wodurch eine kontinuierliche Aktualisierung sichergestellt ist.

Die Nutzung quelloffener Software, die Integration existierender 3D-Daten und der konsequente Fokus auf Mobilgeräte und Offline-Nutzbarkeit machen die entwickelten Lösungen auch für KMU attraktiv. In Kombination mit der hohen Relevanz der adressierten Anwendungsbereiche – z. B. Wasserstoffwirtschaft, dezentrale Energieversorgung, industrielle Instandhaltung – ergeben sich breite Perspektiven für die Weiterentwicklung und Skalierung.

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Verwertung

Die wirtschaftliche Verwertbarkeit der Projektergebnisse zeigt sich an mehreren Stellen:

- **Einsparung von Reise- und Schulungskosten**, insbesondere bei internationalen Einsätzen.
- **Reduktion der Fehlerquote** in Montage- und Wartungsprozessen durch strukturierte AR-Anleitungen.
- **Schnellere Einarbeitung neuer Mitarbeitender**, insbesondere bei hoher Fluktuation oder saisonalen Beschäftigungsmodellen.

Auch gesellschaftlich leisten die Ergebnisse einen Beitrag: Sie fördern die digitale Souveränität von Fachkräften, unterstützen die Umsetzung der Energiewende und verbessern die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Industrieunternehmen durch flexible Qualifizierungslösungen im Auslandsgeschäft.

Dissemination und Multiplikation

Die Projektergebnisse sind bereits in verschiedene Disseminationsformate überführt worden. Über die Plattform https://renewable.study werden unter anderem:

- praxisnahe Leitfäden,
- Best-Practice-Dokumentationen,
- didaktische Konzepte und
- technische Vorlagen

frei zugänglich bereitgestellt (Open Educational Resources). Die Plattform dient als zentrale Schnittstelle für Akteure aus Bildung, Wirtschaft und Forschung und wird kontinuierlich mit neuen Inhalten ergänzt. Ziel ist es, über VR-REPAIR hinaus eine **lebendige Community** rund um digitale Fachkräfteentwicklung aufzubauen.

Politisch-strategische Anschlussfähigkeit

Abschließend ist hervorzuheben, dass das Projekt in zentralen bildungspolitischen und wirtschaftsstrategischen Diskursen verortet ist. Themen wie:

- Fachkräftesicherung,
- Digitalisierung der beruflichen Bildung,
- Internationalisierung von Qualifizierungsangeboten,
- Nachhaltigkeit und Klimaschutz

werden durch VR-REPAIR auf innovative Weise bearbeitet. Die entwickelten Formate, Tools und Konzepte können daher auch Impulse für Förderprogramme, Berufsbildungspolitik und sektorübergreifende Strategien liefern.

Fortschritte anderer Stellen

Während der Projektlaufzeit von VR-REPAIR kam es zu einem intensiven fachlichen Austausch und einer projektübergreifenden Zusammenarbeit mit zwei weiteren Initiativen, die sich ebenfalls mit dem Einsatz von Extended Reality (XR) in der beruflichen Bildung beschäftigen: den Erasmus+-Projekten

Mix-Tec sowie **XR-Energy**. Beide Vorhaben haben unterschiedliche Zielsetzungen, zeigen aber im Hinblick auf didaktische Konzepte, technologische Gestaltung sowie strategische Ausrichtung deutliche Synergien und wechselseitige Anschlussfähigkeit.

Mix-Tec: Mixed Technologies für KMU

Das Projekt **Mix-Tec** (Mixed Technologies – VR/AR for SMEs) wurde im Rahmen des Erasmus+ Programms durchgeführt und hatte zum Ziel, konkrete Handlungshilfen für kleine und mittlere Unternehmen zu entwickeln, um den Einsatz von Virtual und Augmented Reality (VR/AR) in der beruflichen Weiterbildung praxisnah und wirtschaftlich zu gestalten. Der Fokus lag dabei auf einer methodischen und technischen Analyse bestehender Anwendungen sowie auf der Entwicklung eines didaktischen Metamodells, das als Grundlage für die systematische Konzeption von VR/AR-Lerneinheiten dienen kann.

Ein wesentliches Ergebnis von Mix-Tec war die Erkenntnis, dass gerade in KMU ein ausgewogenes Verhältnis zwischen technischer Komplexität, didaktischem Mehrwert und wirtschaftlicher Tragfähigkeit erforderlich ist. Die Lernmedien müssen modular, kosteneffizient und möglichst leicht durch die Unternehmen selbst adaptierbar sein. Diese Zielsetzung deckt sich in hohem Maße mit den Ansprüchen von VR-REPAIR, insbesondere im Hinblick auf die Gestaltung praxisnaher Lernformate für internationale Einsatzszenarien.

Die Zusammenarbeit zwischen VR-REPAIR und Mix-Tec wurde im Rahmen von Workshops und Austauschformaten strukturiert. VR-REPAIR konnte hierbei von den im Projekt Mix-Tec erarbeiteten Erkenntnissen über den praktischen Einsatz von VR/AR in der Weiterbildung sowie den erprobten Vorgehensweisen zur Piloterprobung in Unternehmen profitieren. Umgekehrt flossen die Erfahrungen aus dem realen Transferkontext von VR-REPAIR in die Weiterentwicklung von Mix-Tec-Kriterien zur Kontextualisierung von Lernangeboten ein.

XR-Energy: Extended Reality für die Energiewende

Das Projekt **XR-Energy**, gestartet im September 2023, baut inhaltlich auf den Ergebnissen von Mix-Tec auf und überträgt diese systematisch auf den Themenbereich der Energiewende. Ziel ist die Entwicklung von XR-gestützten Lernvorlagen, die von Bildungseinrichtungen selbst erstellt, angepasst und in unterschiedlichen Schulungsformaten (online, hybrid, Präsenz) eingesetzt werden können. Technisch basiert das Projekt auf dem Open-Source-Autorentool H5P und entwickelt neue Inhaltstypen, die als Open Educational Resources (OER) verfügbar gemacht werden sollen.

Im Zentrum von XR-Energy steht die Entwicklung von praxisnahen Lerneinheiten, die für unterschiedliche Zielgruppen (z. B. Dachdecker:innen, Energietechniker:innen, Wasserstoff-Fachkräfte) verständlich und flexibel nutzbar sind. Damit adressiert XR-Energy genau jene Schnittstelle zwischen komplexem Fachwissen und anwendungsbezogener Qualifizierung, die auch im Projekt VR-REPAIR zentral war.

Der inhaltliche Austausch zwischen XR-Energy und VR-REPAIR fand insbesondere in der Antragsphase von XR-Energy statt, in der Erfahrungen und Erkenntnisse aus VR-REPAIR in die Konzeption eingebracht wurden. Die prototypischen Szenarien aus VR-REPAIR, z. B. zur Wartung, Montage oder Fehlerdiagnose, dienten XR-Energy als konzeptionelle Vorlage für skalierbare XR-Bildungslösungen im Bereich der Energiewende.

Ergänzende Fortschritte und strategische Wirkung

Beide Projekte – Mix-Tec und XR-Energy – stehen exemplarisch für eine Entwicklung, die auch VR-REPAIR zentral verfolgt: den Übergang von technologiezentrierten Insellösungen hin zu breit einsetzbaren, adaptierbaren und nachhaltig nutzbaren XR-Lernlösungen für die berufliche Bildung. Im Zusammenspiel der drei Projekte lässt sich ein klarer Pfad von Grundlagenforschung (Mix-Tec), Anwendungspilotierung im internationalen Unternehmenskontext (VR-REPAIR) bis hin zur OER-basierten Skalierung (XR-Energy) erkennen.

Die Erfahrungen und Ergebnisse dieser kooperierenden Projekte zeigen, dass sich ein lernökosystemischer Ansatz in der XR-gestützten Aus- und Weiterbildung zunehmend etabliert. Durch den kontinuierlichen Austausch und die gegenseitige Verstärkung konnten Redundanzen vermieden, Erkenntnisse beschleunigt übertragen und gemeinsame Standards entwickelt werden – ein Fortschritt, der über die einzelnen Projektkontexte hinausstrahlt und Impulse für die Weiterentwicklung der beruflichen Bildung im digitalen Zeitalter setzt.

Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projekts VR-REPAIR wurden verschiedene Veröffentlichungs- und Disseminationskanäle genutzt, um die Projektergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. Dabei wurde bewusst auf eine Kombination aus digitalen Open-Access-Plattformen, wissenschaftlicher Veröffentlichung, Fachvorträgen sowie praktischen Anwendungsszenarien gesetzt.

Onlineplattform

Die zentrale Disseminationsplattform des Projekts ist die Webseite https://renewable.study, auf der Projektergebnisse und Umsetzungen als Open Educational Resources (OER) veröffentlicht wurden. Die Seite dient als zentrale Anlaufstelle für Akteur:innen aus Bildung, Wirtschaft und Forschung und wird kontinuierlich gepflegt und ergänzt.

Dort finden sich unter anderem:

- Hintergrundinformationen zum Konzept „Agiles Lernen mit XR“,
- Leitfäden für Unternehmen und Bildungsträger zur Integration von XR in Lernprozesse,
- Umsetzungsbeispiele aus den Pilotbetrieben (siehe 6.2) sowie
- Quelloffene Inhalte und Vorlagen (z. B. interaktive H5P-Module).

Praxisbeispiele und Prototypen

Im Rahmen von VR-REPAIR wurden mehrere praxisnahe XR-Lerneinheiten entwickelt, getestet und dokumentiert. Diese sind als Umsetzungsbeispiele veröffentlicht und enthalten technische sowie didaktische Hinweise zur Replikation:

- **VR-Szenario zur Energiewende** (Siemens Energy): Ein spielerisch-interaktives Lernmodul zur Vermittlung von Systemzusammenhängen in der Energieversorgung.
- **AR-unterstützte Wartungsanleitung** (EP Ehrler Prüftechnik): Ein modulares Assistenzsystem zur Unterstützung bei Kalibrierung und Instandhaltung.
- **AR-Montagehilfe für Ausbildungsprozesse** (OT Oberflächentechnik): Anwendung zur schrittweisen Anleitung bei der Inbetriebnahme von Anlagenkomponenten.

Diese Module stehen exemplarisch für die Vielfältigkeit der XR-Anwendungen und illustrieren die Übertragbarkeit auf andere Branchen und Aufgabenbereiche.

Wissenschaftliche Veröffentlichung

Die wissenschaftliche Reflexion zentraler Ergebnisse des Projekts mündete in einem Beitrag auf der internationalen Fachtagung „Conference on Learning Factories“ (CLF) im März 2024: *Balancing Immersion and Simplicity: Unlocking Extended Reality’s Potential for Dynamic Learning in Industries*

Autor:innen

Lisa Chloé Königs (Sustainum), Dr. Benjamin Höhne (Berliner Hochschule für Technik), Dr. Jörg Longmuss (Sustainum)

Fachvortrag und internationale Anschlusskommunikation

Ein weiterer wichtiger Meilenstein in der Dissemination war der Vortrag von Lisa Königs auf einer Fachveranstaltung zur digitalen Berufsbildung. Im Anschluss an den Vortrag kam es zu einem Austausch mit Prof. Maria Lule Salinas (Tecnologico de Monterrey, Mexiko), die großes Interesse an den Ansätzen von VR-REPAIR zeigte – insbesondere an der Verbindung von XR-Technologie und niedrigschwelliger Umsetzung in TVET-Kontexten.

Die Veranstaltung war Ausgangspunkt für eine mögliche Anschlusskooperation mit einer internationalen Konferenz zum Thema „Future of Education“, organisiert durch ein Netzwerk lateinamerikanischer und internationaler Partnerinstitutionen. Ein Folgegespräch ist geplant, um den Vortrag für diese Konferenz zu adaptieren und das Projekt VR-REPAIR international weiter sichtbar zu machen.

Ein weiterer wissenschaftlicher Vortrag erfolgte auf der ICERI in Sevilla Ende 2023 (https://library.iated.org/view/KONIGS2023COM)

Kurzzusammenfassung für das Verbundprojekt

VR REPAIR

Kurzzusammenfassung

Förderkennzeichen: 01BC20001
Vorhabenbezeichnung: Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk-Cluster in Ägypten für arbeitsplatzbasierte Fachkräfte-Kompetenzentwicklung im virtuellen und realen Lernraum (VR-REPAIR)
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das Projekt **VR-REPAIR** hatte das Ziel, digitale und praxisnahe Lernformate zur arbeitsplatzbasierten Qualifizierung von Fachkräften in technischen Industrien zu entwickeln. Der Fokus lag auf der Nutzung von **Extended-Reality-Technologien (XR)** – darunter Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) – zur Unterstützung von Aus- und Weiterbildungsprozessen im internationalen Kontext. Der Titel des Projekts verweist auf die Entwicklung von Lernlösungen für die Instandhaltung und Reparatur von Gasturbinenanlagen in Ägypten, wo Siemens Energy ein Energy Service Center betreibt.

Ausgangspunkt des Projekts war die Beobachtung, dass klassische Schulungsformate – wie zentrale Seminare oder Präsenztrainings – unter den Bedingungen globaler Märkte, pandemiebedingter Einschränkungen und wachsender Fachkräfteengpässe häufig nicht ausreichen, um Fachpersonal zeitnah und effektiv zu qualifizieren. Besonders in internationalen Einsatzkontexten ist eine hohe Flexibilität erforderlich – etwa dann, wenn lokale Fachkräfte ohne umfassende Vorerfahrung kurzfristig auf neue Aufgaben vorbereitet werden müssen.

VR-REPAIR entwickelte daher modulare, adaptierbare Lernbausteine, die mit Hilfe von XR-Technologien unmittelbar im Arbeitsprozess eingesetzt werden können. Die Projektergebnisse beruhen auf dem Grundsatz **„Technology follows Didactics“**: Die Auswahl und Gestaltung der technischen Lösungen richtete sich konsequent nach den didaktischen Zielen und der praktischen Umsetzbarkeit im jeweiligen Einsatzkontext.

Die Umsetzung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit industriellen und wissenschaftlichen Partnern:

- **Siemens Energy** entwickelte ein VR-basiertes Lernspiel zur Energiewende und ein internationales Weiterbildungsprogramm zur Wasserstoffwirtschaft.
- **EP Ehrler Prüftechnik Engineering** testete AR-gestützte Wartungsanleitungen für komplexe Messgeräte.
- **OT Oberflächentechnik** implementierte ein AR-Trainingssystem zur Inbetriebnahme mobiler Beschichtungsanlagen.
- Die **Berliner Hochschule für Technik** steuerte die didaktische Rahmung bei.
- Das **Sustainum Institut** koordinierte die Evaluation und die Dissemination der Ergebnisse.

Die Ergebnisse von VR-REPAIR wurden über die Plattform https://renewable.study als Open Educational Resources (OER) bereitgestellt. Dort finden sich interaktive Anleitungen, Prototypen, wissenschaftliche Hintergrundinformationen und Best-Practice-Beispiele.

Insgesamt konnte VR-REPAIR zeigen, wie sich durch didaktisch fundierte XR-Anwendungen betriebliche Lernprozesse beschleunigen, Fehlerquoten reduzieren und Qualifizierungen skalierbar gestalten lassen. Das Projekt steht exemplarisch für eine zukunftsorientierte digitale Berufsbildung, die technologische Innovation mit arbeitsplatznaher Handlungsorientierung verbindet.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)
-	Schlussbericht

3. Titel
Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk-Cluster in Ägypten für arbeitsplatzbasierte Fachkräfte-Kompetenzentwicklung im virtuellen und realen Lernraum (VR-REPAIR)

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]

Florian Schindler, Sandra Bräutigam, Benjamin Höhne;
Patrick Fritzsche;
Michael Funke;
Andreas Dengel;
Jörg Longmuß;

5. Abschlussdatum des Vorhabens
31.12.2024

6. Veröffentlichungsdatum
04.2025

7. Form der Publikation
-

8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)

Berliner Hochschule für Technik
Siemens Energy Global GmbH & Co. KG
OT Oberflächentechnik GmbH & Co. KG
EP Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH
Sustainum Institut für zukunftsfähiges Wirtschaften Berlin e.V.

9. Ber. Nr. Durchführende Institution
-

10. Förderkennzeichen *)
01BC20001

11. Seitenzahl
54

13. Fördernde Institution (Name, Adresse)

Bundesministerium für
Bildung und Forschung (BMBF)
Heinemannstraße 2
D-53175 Bonn

12. Literaturangaben
-

14. Tabellen
-

15. Abbildungen
-

16. Zusätzliche Angaben
-

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)
-

18. Kurzfassung
VR-REPAIR verfolgte das Ziel, innovative, digitale Lernformate für die arbeitsplatzbasierte Qualifizierung von Fachkräften im Bereich der Energie- und Anlagentechnik zu entwickeln und in realen Einsatzszenarien zu erproben. Im Fokus stand dabei die Nutzung von Extended-Reality-Technologien (XR) – insbesondere Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) – zur Unterstützung von Schulungs- und Lernprozessen in internationalen und dynamischen Arbeitsumfeldern.
Ein zentrales Anwendungsfeld war die Qualifikation von Fachkräften in einem ägyptischen Servicezentrum für Gasturbinen, wo die klassischen Schulungsmethoden an ihre Grenzen stießen. Gemeinsam mit Partnern aus Industrie, Forschung und Bildung (u. a. Siemens Energy, EP Ehrler Prüftechnik, OT Oberflächentechnik, Berliner Hochschule für Technik und dem Sustainum Institut) wurden modulare, praxistaugliche Lerneinheiten entwickelt, die flexibel, skalierbar und auch ohne hohe technische Hürden nutzbar sind.

19. Schlagwörter
Digitale Kompetenz, Lebenslanges Lernen, Extended Reality

20. Verlag	21. Preis
-	-

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.