

AR-unterstütztes Lernszenario in der Lernfabrik für energie- und ressourceneffiziente Produktion

Ein Beitrag zum Wettbewerb „Gelungene VR/AR-Lernszenarien“

Frank Höwing¹, Stephanie C. Aymans², Bastian Thiede³

Abstract: Vorgestellt wird ein Lernszenario, das im Rahmen der Ingenieurausbildung sowie der beruflichen Weiterbildung an einer Experimentierfabrik zum Einsatz kommt. Neben der Vermittlung von Fach- und Methodenkompetenz sollen die Lernenden motiviert werden, in ihrem beruflichen Umfeld der industriellen Produktion energieeffiziente Maßnahmen umzusetzen. Das Lernszenario ist mehrstufig aufgebaut und mit jeweils angepassten Kompetenzmodellen verknüpft. Die Lerninhalte werden je nach Level ausschließlich oder ergänzend durch Augmented Reality (AR) Inhalte angeboten. Dabei vermittelt AR die Komponenten der Fabrik ortsbezogen, erlaubt ein Probearbeiten mit virtuellen Komponenten und visualisiert unsichtbare Größen wie die Energie. Erste Evaluierungen legen insbesondere aktivierende und motivierende Effekte durch diesen Einsatz von AR nahe.

Keywords: Augmented Reality, Lernfabrik, erkundungsbasiertes Lernen, integriertes Lernen

1 Einleitung

Das vorgestellte AR-unterstützte Lernszenario wurde im Rahmen des Forschungsprojektes *ILehLe* - „Die lernende Lernfabrik – eine intelligente Lehr-Lernumgebung zur Energie- und Ressourceneffizienz“ [Po16] konzipiert. Die AR-bezogenen Konzepte und Inhalte wurden bisher weitestgehend umgesetzt und befinden sich in der praktischen Erprobung. In der Lernfabrik des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig befindet sich eine modular aufgebaute, flexibel konfigurierbare Experimentierfabrik, die im Projekt zum Einsatz kommt.

Das Lernszenario richtet sich an Studierende produktionstechnischer Studiengänge, sowie an verantwortliche und interessierte Mitarbeitende aus mittelständischen Betrieben, die sich dem Thema *Industrie 4.0* und modernen Ansätzen zur Produktionsoptimierung nähern wollen. Wesentliche Lernziele sind es, Energieverbräuche in Produktionsprozessen transparent und damit bewusst zu machen, sowie Anreize, Methoden und Werkzeuge zu vermitteln, diese Verbräuche zu senken.

1.1 Kompetenzmodelle

Das Szenario ist modular aufgebaut und in komplexer werdende Stufen, sogenannte Level, gegliedert. Es zielt auf die Erlangung relevanter Kompetenzen ab, die durch Aufgaben und abschließende Multiple-Choice Tests ermittelt werden.

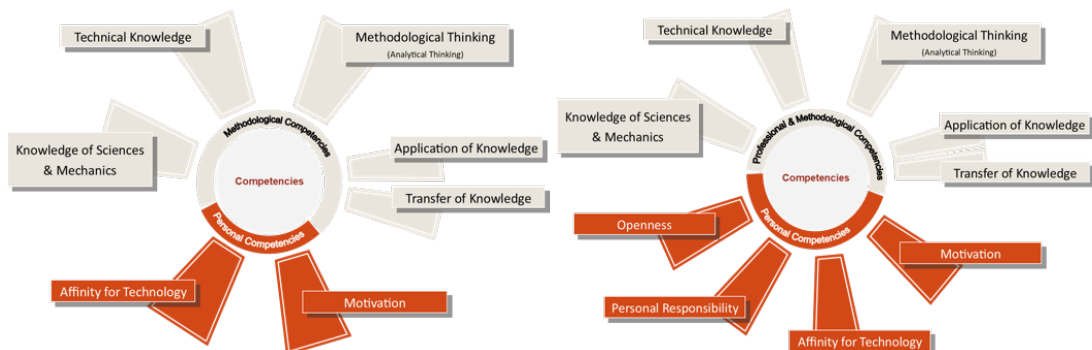


Abb. 1: Kompetenzmodelle der Level „Auszubildende“ (links) und „Fortgeschrittene/Energiemanager“ (rechts)

¹ in-tech GmbH, R&D Center of Innovation, D-38114 Braunschweig, frank.hoewing@in-tech.com

² TU Braunschweig, Lehrstuhl für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie, Spielmannstraße 19, D-38106 Braunschweig, s.aymans@tu-bs.de

³ TU Braunschweig, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Langer Kamp 19 B, D-38106 Braunschweig, b.thiede@tu-braunschweig.de

Das methodische Vorgehen zur Erstellung von Kompetenzmodellen und ihren Einsatz in Lernfabriken wurden in [Mü17] beschrieben. Für das vorgestellte Lernszenario wurden daraus Kompetenzmodelle für die Level „Auszubildende“ sowie „Fortgeschrittene“ und „Energiemanager“ implementiert (Abb. 1).

Dass diese Kompetenzen durch den Einsatz von Lernfabriken in der Ingenieurausbildung tatsächlich gesteigert werden können, zeigt [AHK17]. Signifikant war insbesondere der Anstieg von Fach- und Methodenkompetenzen. Von einem zusätzlichen, angemessenen Einsatz von AR im hier vorgestellten Lernszenario, wird vor allem eine flankierende Steigerung der persönlichen Kompetenzen erwartet.

1.2 Angemessener Einsatz von AR

Ziele des Einsatzes der AR-Technologie im Projekt *ILehLe* sind es, die Wahrnehmung des und die Interaktion mit den Lernenden, sowie ihre Motivation und ihren Lernerfolg zu verbessern. AR soll in Kombination mit nicht-visuellen Sinneskanälen eingesetzt werden (z. B. durch taktile und akustische Signale zur Verstärkung und Aufmerksamkeitssteuerung). Sie soll außerdem nicht Sichtbares wie Energie sichtbar machen, um den Lernenden Grundlagen für Entscheidungen zu liefern.

Um diese angestrebte Immersion zu erreichen, sind technologisch herausfordernde und interessante Aspekte: die robuste Überlagerung virtueller Objekte an Positionen im realen Raum, dies ohne "Zittern" und mit einer hohen Wiederholgenauigkeit bei Wiederbetreten eines Bereiches, sowie eine realitätsbezogene Darstellung durch Berücksichtigung von Verdeckungen, Schattenwurf und Lichteinfall.

2 Das Lernszenario „Energieeffiziente Produktion“

In den aufeinander aufbauenden Levels des Lernszenarios variieren die AR-Anteile je nach didaktischem Ziel (Tab. 1).

Level und Teilszenario	AR-Anteile
Einführungen Kurzeinführung in die Prozessschritte der Experimentierfabrik Sicherheitsunterweisung zur Technik der Experimentierfabrik Sicherheitsunterweisung zur Fabrikhalle	Alle Inhalte sind ausschließlich in AR vorhanden und ermöglichen ein selbstständiges, erkundungs-basiertes Lernen.
Auszubildende Strom, Spannung, Leistung messen Druck verändern Prozessphasen Zeitmessung	Das Kennenlernen von realen Messgeräten, Aktoren und Prozessen steht im Vordergrund. In AR können Informationen zu den relevanten Komponenten abgerufen werden.
Fortgeschrittene Elektrischer Leistungsbedarf im Lastprofil Energieverbrauch einer Station optimieren Energieverbrauch aller Stationen im Zusammenspiel optimieren	Das Arbeiten mit Standard-Diagrammen wird in 2D am besten vermittelt. Vor, nach oder alternativ zur realen Veränderung des Prozesses, ist mit virtuellen Komponenten in AR ein Probearbeiten möglich.
Energiemanager Vorgabe zum Energieverbrauch pro Produkt umsetzen	Große Handlungsfreiheit. Angeboten werden alle bisherigen Werkzeuge, sowie zusätzlich AR-Energiediagramme an Komponenten und Produkten.

Tab. 1: Level und AR-Anteile des Lernszenarios

Die erste Einführung bereitet zunächst den Kontext der Lernumgebung, indem an den einzelnen Stationen die Prozessschritte einer Produktherstellung kurz erläutert werden. Gleichzeitig machen sich die Lernenden mit der Bedienung der AR-Anwendung vertraut und lernen erste virtuelle Objekte kennen.

Die Experimentierfabrik besteht aus ca. 60cm breiten Modulen (MPS), die jeweils unterschiedlich und komplex bestückt sind. AR reduziert diese Komplexität durch bewusst einfache Quader, die um bzw. auf die Stationen gelegt wurden (Abb. 2). Ein späteres Level hebt in ähnlicher Weise die einzelnen Komponenten einer Station hervor. So erfolgt ein top-down Lernen des strukturellen Aufbaus der Experimentierfabrik.

Im Rahmen einer selbstständigen explorativen Erkundung der Stationen durch die Lernenden können die AR-Objekte in beliebiger Reihenfolge durchgearbeitet werden.



Abb. 2: Augmentierte Stationen eines Produktionsprozesses

Die anschließende Sicherheitsunterweisung zur Technik der Fabrik weist auf die zahlreichen Gefahren hin, die der Umgang mit den Stationen mit sich bringt. Diese Unterweisung ist eine Voraussetzung, um alleine an den Modulen arbeiten zu dürfen. Mit herkömmlichen Lehrmitteln ist die Vermittlung i.d.R. aber linear und ohne Interaktionsmöglichkeiten. Dagegen verspricht der Einsatz von AR besondere Vorteile hinsichtlich der Motivation der Lernenden und ihres Lernerfolgs.

Neun verschiedene Gefahrenarten sind durch standardisierte Hinweisschilder symbolisiert, die in AR unmittelbar an den realen Gefahrenquellen verortet sind (Abb. 3). Die Sicherheitsunterweisung erfolgt bei abgeschalteter Anlage, so dass sich die Lernenden frei an ihr bewegen und sich alle Hinweise selbstständig erschließen können.



Abb. 3: Virtuelle Warnschilder an realen Gefahrenquellen

Während sich die Lernenden bisher in einem auf ca. 20m² begrenzten Bereich um die Module bewegen mussten, bezieht das folgende Teilszenario einen Hauptteil der Fabrikhalle mit einer Fläche von ca. 60m x 20m ein.

Insbesondere das Lernen von Handlungsabläufen soll hierbei durch AR unterstützt werden. Es wurden bspw. reale Objekte augmentiert, die nicht leicht zu finden oder weit von den Modulen der Lernfabrik entfernt sind. So stehen z. B. ein Hauptschalter, ein Telefon mit Ersthelferliste sowie ein Erste-Hilfe-Schrank (Abb. 4) in der Lerneinheit „Was ist bei einem Unfall zu tun?“ in einem engen inhaltlichen Zusammenhang. Räumlich liegen sie jedoch bis zu 35m (Weg) auseinander.

Um neben der freien Exploration auch vorgeschriebene Handlungsreihenfolgen vermitteln zu können („Erstens: Unfallstelle sichern!“), erlaubt es die Ablaufsteuerung der Anwendung auch, eine Reihenfolge für den Besuch von AR-Objekten vorzugeben. Ein optionaler Navigationspfeil sowie Entfernungsangaben unterstützen das Finden eines selbstgewählten oder vorgegebenen Objektes. Weitere Objekte sind Feuermelder, Feuerlöscher und Notausgänge.

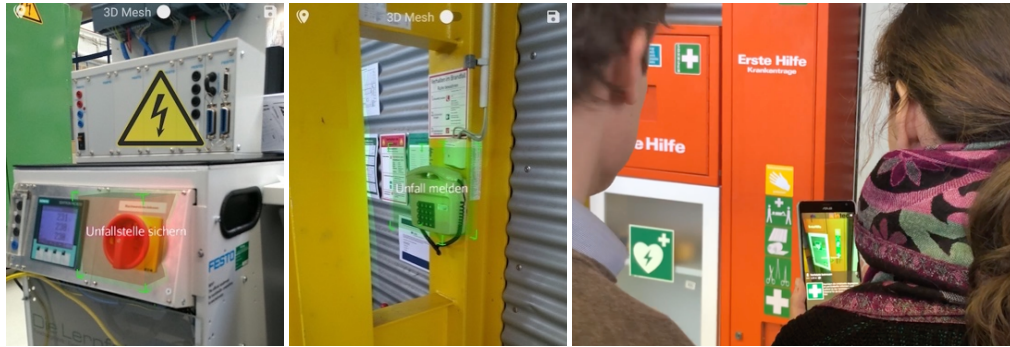


Abb. 4: Räumlich verteilte Objekte einer Lerneinheit werden explorativ gelernt

Einige Teilbereiche der Fabrikhalle, wie z. B. eine Anordnung von Fräsmaschinen, dürfen von den Lernenden noch nicht betreten werden. Dass sie sich während der Sicherheitsunterweisung dennoch frei in der Halle bewegen können, wird durch ein weiteres AR-Element ermöglicht: Ein virtuelles Absperrband umzäunt die verbotenen Bereiche. Über der Absperrung schweben virtuelle Warningschilder, die das Verbot erklären (Abb. 5).



Abb. 5: Virtuelle Absperrungen und Hinweisschilder

Die virtuelle Absperrung ist das erste AR-Element, bei dem im Verlauf des Lernszenarios ein multisensorisches Feedback zum Einsatz kommt. Um die Präsenz der Absperrung zu verstärken, vibriert das AR-Gerät spürbar, sobald sich der Lernende auf einen Meter nähert. Nähert sich der Lernende dem Absperrband näher als 50cm, erhöht sich die Deutlichkeit des taktilen Feedbacks und zusätzlich wird ein warnender Ton hörbar, dessen Lautstärke mit weiterer Annäherung steigt.

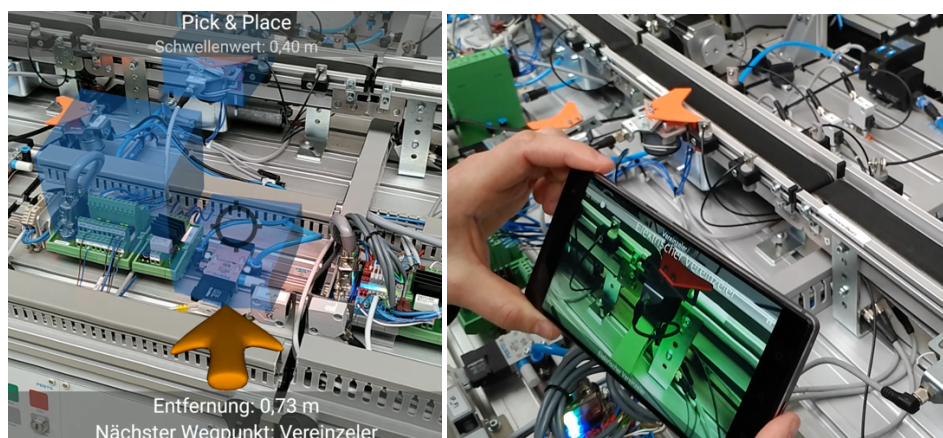


Abb. 6: Identifikation realer und Einsatz virtueller Komponenten (hier ein sog. Vereinzeler)

Um als „Fortgeschrittener“ den Energieverbrauch einer Station zu optimieren, können die Lernenden zunächst die relevanten Komponenten mit AR identifizieren (Abb. 6). An verschiedenen Stationen können dann real z. B. elektrische gegen pneumatische Vereinzeler getauscht oder unterschiedliche Ofendämmungen aufgebracht werden. In Verbindung mit einem Simulationsmodell der Stationen eröffnet ergänzend dazu der virtuelle Austausch von AR-Komponenten dem Lernenden weitere Möglichkeiten des Probehandelns [Th17]. Die Einbindung der Simulation befindet sich aktuell in der Umsetzung.

Auf dem Level „Energiemanager“ besteht ein Lernziel darin, aus einer Vielzahl von Methoden und Werkzeugen die richtigen auszuwählen. Den Lernenden werden hier neben den bisher kennengelernten AR-Elementen auch Energiediagramme angeboten (Abb. 7), die grundsätzlich an allen verbrauchsrelevanten Komponenten angezeigt werden können.

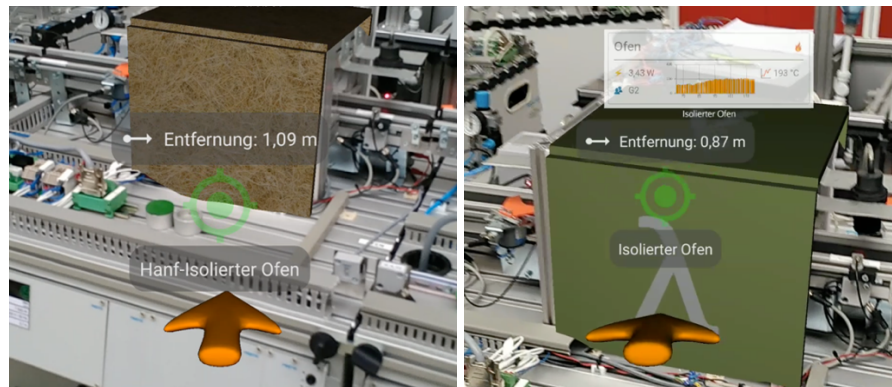


Abb. 7: AR-Ofenisolation in dem Level „Fortgeschrittener“ (links) und „Energiemanager“ (rechts)

3 AR Technologie

Die Realisierung der AR-Anteile erfolgte auf Android-Smartphones auf Basis der AR-Technologie *Tango* der Firma *google*. Ähnliche technische Konzepte und Möglichkeiten bieten derzeit die AR-Brillen Microsoft HoloLens sowie die Meta 2, auf die sich die hier vorgestellten Konzepte und Ergebnisse übertragen lassen sollten.

Tango ermöglicht eine hochpräzise Bestimmung der Position und Lage eines Smartphones auch in Innenräumen, ohne dass Infrastruktur wie GPS, Funk-Beacons oder optische Marker benötigt werden. Dazu wird unter anderem ein dreidimensionales Modell der Umgebung gescannt (area description, meshing, s. Abb. 8). Dieses Modell wird zusammen mit einer Kombination aus Bewegungsverfolgung und Tiefenwahrnehmung durch verschiedene eingebaute Sensoren zur Ortung in Echtzeit genutzt. Beim Wiederbetreten einer Umgebung erfolgt die erneute initiale Positionsbestimmung innerhalb weniger Sekunden.



Abb. 8: 3D-Scan der Lernfabrik mit google Tango

Da das Tango-Modell in verbreiteten 3D-Frameworks wie Unity oder JMonkey verwendet werden kann, können mit den dortigen Werkzeugen dreidimensionale (und auch animierte) virtuelle Objekte im gescannten Modell platziert und damit relativ zur realen Umgebung verortet und lagekorrekt in das Kamerabild des Smartphones gerendert werden. Neben geometrischen und CAD-basierten Objekten gehören dazu auch zweidimensionale Displays zur Darstellung nahezu beliebiger, webbasierter Inhalte wie hier z. B. Energieverlaufdiagramme.

Die räumliche Auflösung des 3D-Modells ist auch im praktischen Einsatz (Echtzeit, Rechenleistung) hoch genug, um die komplexen Strukturen der Lernfabrik abzubilden. Verdeckungen virtueller Objekte durch reale Strukturen und umgekehrt sind ebenso möglich, wie Licht- und Schattenwurf von virtuellen Objekten in die reale Welt.

In der vorgestellten Anwendung wird das 3D-Umgebungsmodell gespeichert und kann für verschiedene Szenarien wiederverwendet werden. AR-Objekte lassen sich auch nachträglich hinzufügen oder ändern. Somit können neue Szenarien mit relativ geringem Aufwand erstellt und angepasst werden.

4 Evaluation

Für eine erste Evaluation des Einsatzes von AR im Lernszenario, wurden die Einführungen sowohl mit zweidimensionalen Text- und Grafik Tafeln auf einer Tablet-App, als auch vollständig mit AR auf geeigneten Smartphones umgesetzt. Dabei wurde auf eine hohe Übereinstimmung von Texten und Symbolen auf beiden Plattformen geachtet. Aktuell wird eine systematische Evaluation beider Ansätze mit Vergleichsgruppen durchgeführt. Damit soll untersucht werden, ob und welche didaktischen und bedientechnischen Vor- bzw. Nachteile AR darstellt. Ein anschließender, für beide Gruppen gleich durchgeführter, Multiple-Choice Test ergänzt die Evaluation. Aufgrund der in Tab. 2 aufgeführten Unterschiede werden von der AR-basierten Umsetzung unter anderem erwartet, dass der Lernende nachhaltiger und mit mehr Spaß lernt.

2D	AR
lineares Weiterschalten von Info-Screens	exploratives Erkunden im Raum
körperlich passiv	motorische Aktivierung
Lernumgebung ohne zwingenden Bezug zum Lerninhalt	Lernen erfolgt innerhalb der Zielumgebung
Transferleistung von Texten und Bildern zu realen Objekten erforderlich	Inhalte sind unmittelbar an realen Objekten verortet

Tab. 2: Didaktisch relevante Merkmale beim Einsatz von AR

Erste Rückmeldungen von Probanden sind besonders bzgl. ihrer Motivation positiv. Entgegen den Erwartungen der Autoren werden sogar die virtuellen Absperrungen als „cool“ empfunden und respektiert. Somit erübrigt sich das Aufstellen realer Absperrungen, was die Akzeptanz „herumlaufender“ Lernender und damit des gesamten AR-unterstützten Lernszenarios erhöht.

5 Danksagungen

Das vorgestellte Projekt ILehLe – „Die lernende Lernfabrik – eine intelligente Lehr-Lernumgebung zur Energie- und Ressourceneffizienz“, Förderkennzeichen 16SV7557, wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Literaturverzeichnis

- [Po16] Posselt, G. et al.: Intelligent learning management by means of multi-sensory feedback. In *Procedia CIRP*, Vol. 54, S. 77-82, 2016.
- [Mü17] Müller-Frommeyer, L. C. et al.: Introducing competency models as a tool for holistic competency development in learning factories: Challenges, example and future application. In: *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, S. 307-314, 2017.
- [AHK17] Aymans, S. C.; Horn, N.; Kauffeld, S.: Welchen Nutzen haben Lernfabriken als Lehrmethode in den Ingenieurwissenschaften wirklich? – Eine Prä-Post-Erhebung mit Experimental-Kontrollgruppen-Vergleich. GfA, Dortmund, 2018
- [Th17] Thiede, B. et al.: Enhancing learning experience in physical action-orientated learning factories using a virtually extended environment and serious gaming approaches. In: *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, S. 238-244, 2017.