

E.2 Use-Case Studie eines auf der Nutzung von Handlungsfehlern basierenden AR-Lernsystems zur kritischen Reflexion der technischen Umsetzbarkeit

Dennis Kobelt¹, Marvin Goppold², Alexander Atanasyan³, Jan-Phillip Herrmann¹, Sven Tackenberg¹, Martin Frenz², Thilo Gamber¹

¹ *Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe,
Labor für Industrial Engineering*

² *RWTH Aachen University, Institut für Arbeitswissenschaft*

³ *RWTH Aachen University, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion*

1 Ausgangslage

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verursachen von Fehlern und das Erleben von Fehlerkonsequenzen eine effektive Lerngelegenheit darstellen (Harteis, Bauer & Gruber, 2008, Kapur, 2015). Daher wird ein Lernsystem für die gewerblich-technische Berufsbildung entwickelt, welches auf der Simulation von bestehenden Arbeitsprozessen basiert und die Repräsentation von aus menschlichen Handlungen resultierenden Fehlerkonsequenzen ermöglicht. Während der Nutzung des Systems arbeiten Lernende an einem realen Arbeitsplatz und können schwerwiegende, negative Handlungsfolgen statt in der Realität in AR erfahren. Die Fehlerkonsequenzen werden Lernenden durch die Integration einer Augmented-Reality-Anwendung (AR) visualisiert. Dieser Beitrag behandelt die technische Umsetzbarkeit eines solchen AR-Lernsystems. Hierzu wird ein eigens entwickelter Use-Case herangezogen, welcher eine realitätsnahe Arbeitsaufgabe abbildet.

2 Use-Case

Der Use Case beschreibt die „Reinigung einer Steckverbindung“ an einem Fischertechnik-Schwenkarmroboter (Aufbau des Demonstrators vgl. Atanasyan et al., 2020) für den folgenden Ausschnitt der Lern- und Arbeitsaufgabe:

„[...] In einem Produktionsunternehmen hat die vorherige Schicht eine fehlerhafte Funktion an einem der Motoren des Schwenkarmroboters festgestellt. Von den Mitarbeitenden ist dokumentiert worden, dass von der Robotersteuerung zwar Steuerungssignale ausgehen, jedoch keine Encoderwerte von einem der Motoren zurückgesendet werden [...]“

Es wird deshalb ein Problem im Signalfluss zwischen dem Demonstrator und der TXT Steuerung des Fischertechnik-Schwenkarmroboters vermutet, s. Abbildung 1. Der geschilderte Use Case dient u.a. der detaillierten Beschreibung der Methodik, die zum Aufbau eines entsprechenden Experimentierbaren Digitalen Zwillings (EDZ) (vgl. Schluse et al., 2016) dient. Dazu wird u.a. eine allgemeinverständliche Prozessmodellierung in die technisch verwendete Petri-Netz-Architektur überführt

(s. Abbildung 3). Hierzu werden sämtliche Schritte von der Aufnahme beruflicher Handlungen über die Prozessmodellierung mittels erweiterter ereignisgesteuerter Prozessketten (eEPK) hin zur Definition der (Teil-)Mengen an Ereignissen und Zuständen des zugrundeliegenden Arbeitssystems durchgeführt.

Das Petri-Netz verknüpft logisch die benötigten Arbeitsmittel und Arbeitsobjekte im Wirksystem mit den Teilhandlungen des Arbeitsprozesses. Hierdurch können Zusammenhänge zwischen Teilhandlungen erzeugt und bei der Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe entstehende Zustandskonsequenzen auf die Bestandteile des Wirksystems des Arbeitssystems für die Nutzung mit dem EDZ abgebildet werden. Ferner leistet der Use-Case einen Beitrag zur Überprüfung der Umsetzbarkeit des Lernsystems in der betrieblichen Berufsausbildung und für den Abgleich der Simulation mit der Realität. Ein Schwerpunkt ist hierbei die Untersuchung technischer Lösungen zur Detektion beruflicher Handlungen.

Der Arbeitsprozess des Use-Cases besteht aus den Teilhandlungen „*Wartungsmodus einschalten*“, „*Kabel demontieren*“, „*Stecker reinigen*“, „*Kabel montieren*“, „*Wartungsmodus ausschalten*“ und „*Referenzfahrt starten*“.

3 Arbeitssystem und Operationalisierung der Teilhandlungsziele

Für die sechs Teilhandlungen wird eine objektive Zustandsbeschreibung der Arbeitshandlung in einem Arbeitssystem (Schlick et al., 2018) entsprechend Goppold et al. (2019) vorgenommen. Am Beispiel der dritten Teilhandlung „*Stecker reinigen*“ werden die vorgenommene Diskretisierung des Arbeitsprozesses und die relevanten Wirksystemeigenschaften systemtheoretisch beschrieben (s. Abbildung 1).

Für das Erreichen der Ziele der vollständigen Handlung leistet eine Teilhandlung einen Beitrag. Für diese Teilhandlung des realen Arbeitsprozesses besteht mit „*Stecker fach- und sachgerecht gereinigt*“ ein eigenes Teilziel, welches vom Lernsystem überprüft werden muss.

Die Herausforderung bei der Entwicklung des Lernsystems liegt darin, die qualitativen Beschreibungen der Arbeitshandlung und deren Handlungsziele zu operationalisieren und informationstechnisch zu verarbeiten. Erst dadurch wird es möglich, Standards zu definieren, anhand derer Fehler detektiert und deren Folgen simuliert werden können.

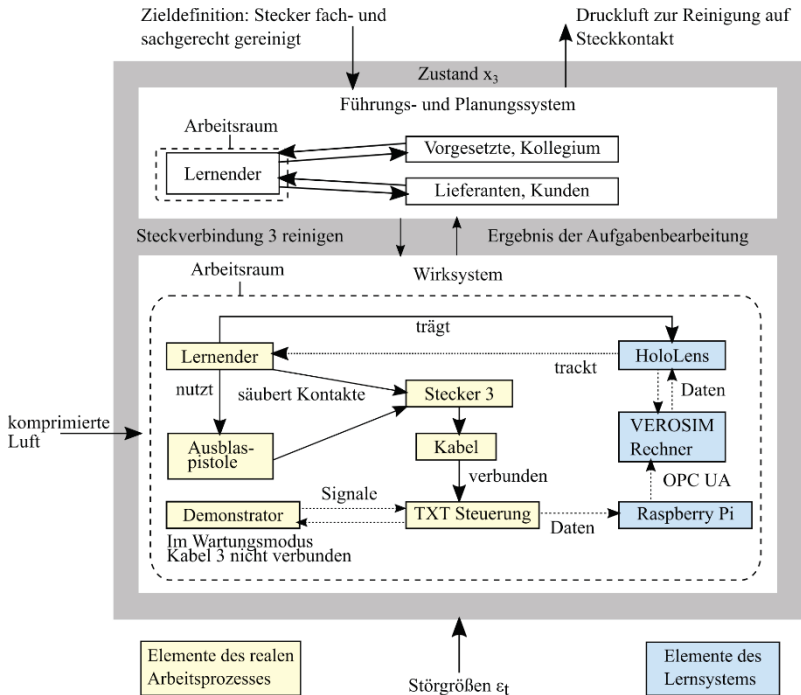


Abbildung 1: Arbeitssystem für die Teilhandlung „Stecker reinigen“

4 Technische Umsetzung

Der technische Teil des Lernsystems („AR-System“) muss auf Teilhandlungen und deren fach- und sachgerechte Ausführung schließen können, um deren Ziele automatisiert hinsichtlich Fehler zu beurteilen. Hierfür muss das AR-System den Zustand aller im Wirksystem enthaltenen Elemente (s. Abbildung 1) erfassen sowie in verarbeiteter Form standardisiert für die Bewertung einer Handlung bereitstellen. Im konkreten Anwendungsfall greift z. B. ein Raspberry Pi auf die Daten der TXT Steuerung zu und übermittelt diese per standardisierter OPC UA Schnittstelle an das Simulationssystem VEROSIM. Durch regelmäßiges Abfragen kann der Montagezustand und die Funktionsfähigkeit der Steckverbindung am Demonstrator über die TXT Steuerung festgestellt werden.

Ein Szenario im Use Case ist, dass der Steckverbinder eines Motors an einem Fischertechnik Roboter nicht fach- und sachgerecht gereinigt wird. Hieraus entsteht die Fehlerfolge, dass der Motor keine Information über den Verfahrweg des Roboters bereitstellt und es deshalb im Betrieb zu einer Kollision kommt. Als didaktische Intervention wird die Kollision des Roboter-Schwenkarms mithilfe einer Simulation durch das VEROSIM-Simulationssystem in der HoloLens (AR-Brille) angezeigt.

Auf dem VEROSIM-Rechner werden Arbeitsobjekte (AO) und -mittel (AM) durch EDZ abgebildet. Aufgabenrelevante Kenngrößen ihrer realen, physischen Gegenstücke (Reale Zwillinge, RZ) bilden den Ausgangszustand für die Simulation. Die Erfassung dieser Größen erfolgt beim Use-Case durch ein unmittelbares Auslesen der entsprechenden Maschinendaten des Roboters über das OPC UA-Protokoll oder für weitere AO und AM über Tracking durch die HoloLens bzw. mittels zusätzlicher Sensorik (vgl. Abbildung 2).

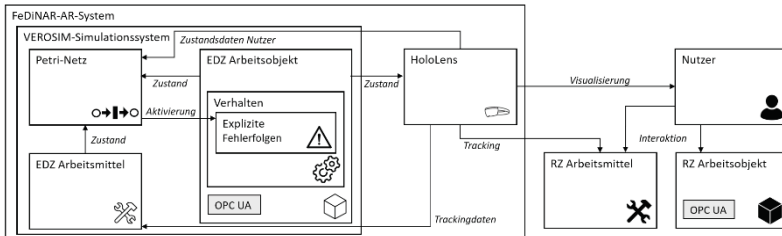


Abbildung 2: Aufbau und Interaktionsschema des FeDiNAR-AR-Systems.

Das Simulationssystem basiert auf einer Petri-Netz-Architektur, vgl. Abbildung 3, welche in Kobelt et al. (2020) ausführlich beschrieben wird. Dort fließen alle verfügbaren Zustandsdaten des Nutzers und der genutzten EDZ des AO und aller aufgabenrelevanter AM zur Handlungserkennung zusammen.

Wenn das Petri-Netz durch die Zustandsänderungen der verschiedenen EDZ des Arbeitssystems Übergänge in die a priori definierten Fehlerzustände erfährt, führt dies zu einer Anpassung des Verhaltens der EDZ, indem entsprechendes Verhalten explizit aktiviert wird. Die Auswirkungen des Fehlers – die sogenannten Fehlerfolgen – werden dem Nutzer über die Darstellung des EDZ in der HoloLens angezeigt, sofern für den Fehlerzustand auch eine didaktische Intervention vorgesehen ist. Im Szenario des Use-Case befinden sich z. B. die Parameter Volumenstrom und Pose der Ausblaspistole relativ zum Steckerkontakt außerhalb eines definierten Toleranzbereiches, sodass das Petri-Netz *Handlung* einen Fehlerzustand feststellt und eine didaktische Intervention startet. Dies wird Gegenstand der folgenden Diskussion sein.

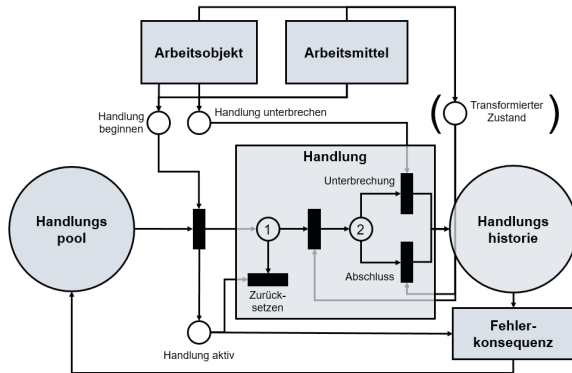


Abbildung 3: Petri-Netz-Architektur zur Handlungserfassung.

5 Diskussion

Beim Vergleich des Use-Case mit realen Anwendungsfällen ist eine deutlich reduzierte Komplexität des Arbeitsprozesses auffällig. Ein möglicher Rüstprozess einer Spritzgießmaschine besteht z. B. aus 32 statt nur 6 Teilhandlungen. Zur Detektion von Fehlern und zur Ableitung entsprechender Fehlerkonsequenzen ist ein festgelegter Wertebereich für die Parameter des Wirksystems eines Arbeitssystems notwendig. Hierbei steigt die Komplexität der Teilhandlungen in der Erstellung möglicher Fehlervarianten mindestens quadratisch, da alle Transitionen zwischen den Teilhandlungen für mögliche Handlungsablauffehler beschrieben werden müssen.

Es fällt weiter auf, dass bei Übertragung des Lernsystems auf die Realität zu prüfen ist, inwieweit sich Parameterbereiche definieren lassen oder ob es beispielsweise aufgrund von undefinierten Lösungsräumen zu Problemen kommen kann. Der Soll-Ist-Abgleich aller notwendigen Parameter zur Fehlererkennung kann unter Berücksichtigung von Toleranzgrenzen nur stattfinden, wenn der Ist-Zustand mit hinreichender Genauigkeit und Frequenz erfasst wird. In vielen Fällen werden die Arbeitsobjekte und Arbeitsmittel einer möglichen Lernaufgabe um Sensorik ergänzt oder modifiziert werden müssen, um über die Erfassung relevanter Parameter eine Fehlerdetektion zu ermöglichen. Hierdurch muss Ausbildungspersonal durch einen Entwicklungsdienstleister unterstützt werden, welcher neben dem Betrieb einer Lernplattform die Entwicklung oder Anpassung vorhandener Lernszenarien übernimmt.

Des Weiteren können mögliche dargestellte Fehlerfolgen aufgrund der Parametrisierung der Handlung nur einen Teilbereich der Realität abbilden, da die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten von Parameterausprägungen und Fehlern sehr aufwändig zu bestimmen wäre. Die indirekte Erkennung von Parametern (z. B. in Form von externen Sensoren) im vorliegenden Use Case könnte aus einer didaktischen Perspektive aufgrund der Manipulation der realen Lernumgebung als unzureichend kritisiert werden, sodass hier weiterer Diskussionsbedarf für das Lernsystem gegeben ist. Die Behandlung dieses Problems muss aber aufgrund begrenzter Ressourcen mit dem Mehrwert abgewogen werden.

Ein weiterer Aspekt, der zum aktuellen Projektstand noch detaillierter ausgearbeitet werden muss, ist die Abbildung von Fehlern, deren Folgen erst zeitlich verzögert auftreten (z. B. Materialermüdung). Deren Darstellung könnte mittels Zeitraffer am eingblendeten EDZ ermöglicht werden.

6 Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt mittels eines Use Case die realisierte Umsetzung der technischen Handlungserfassung für Lernprozesse, welche Fehler lernwirksam nutzen, in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Eine Erkenntnis ist, dass aus technischer Sicht diverse Möglichkeiten der Umsetzung bestehen, welche aus didaktischer Sicht oft keine Best Practice darstellen. Auf der anderen Seite sind viele von der Didaktik gestellten Anforderungen mit einem erhöhten technischen Aufwand bei der Realisierung des Lernsystems verbunden. Einen enormen Vorteil bieten daher Arbeitsprozesse, die bereits ausreichend digitalisiert sind, da bei diesen der Aufwand für eine Zustandserfassung durch einen leichteren Datenzugriff erheblich reduziert werden kann. Zudem muss ein entsprechender Konsens zwischen dem didaktischen Anspruch an das Lernsystem und der technischen Machbarkeit gefunden werden. Die hier erlangten Erkenntnisse werden in Zukunft bei der Abbildung von realen Arbeitsprozessen des CNC-Drehens und des Kunststoffspritzgießens herangezogen. Dabei sollen weitere Erfahrungen zur Ausprägung bzw. Definition von Parametern und Zielzuständen sowie der Erfassung von Teilhandlungen in der Realität gesammelt werden.

Literatur

- Atanasyan, A., Kobelt, D., Goppold, M., Cichon, T., & Schluse, M. (2020). The FeDiNAR Project: Using Augmented Reality to Turn Mistakes into Learning Opportunities. In *Augmented Reality in Education* (pp. 71–86). Cham: Springer Verlag.
- Goppold, M., Tackenberg, S., Atanasyan, A., Cichon, T., Kobelt, D., Gamber, T., ... Frenz, M. (2019). Systemkonzept und Modellierung beruflicher Handlungen im FeDiNAR-AR-Lernsystem. In T. Köhler, E. Schoop, & N. Kahnwald (Hrsg.), *Gemeinschaften in neuen Medien. Erforschung der digitalen Transformation in Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung und öffentlicher Verwaltung* (pp. 12–23). Dresden: TUDpress.
- Harteis, C., Bauer, J., & Gruber, H. (2008). The culture of learning from mistakes: How employees handle mistakes in everyday work. *International Journal of Educational Research*, 47(4), 223–231.
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2008.07.003>
- Kapur, M. (2015). Learning from productive failure. *Learning: Research and Practice*, 1(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/23735082.2015.1002195>
- Kobelt, D., Herrmann, J., Tackenberg, S., Gamber, T. (2020). Petri-Netz Architekturen zur Modellierung von menschlichen Fehlern und Fehlerkonsequenzen in Arbeitsprozessen. In *Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der GfA. Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V.* (Hrsg.). Dortmund: GfA-Press.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (Hrsg.) (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Auflage). Berlin: Springer Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56037-2>
- Schluse, M., & Rossmann, J. (2016). From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. In *2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)* (pp. 1–6). IEEE.

Danksagung:

Der Beitrag entstammt dem Projekt „FeDiNAR – Fehler didaktisch nutzbar machen mit AR“. Es wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Fachprogramms „Digitale Medien in der beruflichen Bildung“ gefördert und vom DLR Projektträger unter den FKZ 01PV18005A und 01PV18005C betreut.