

MARLA – Masters of Malfunction

VR Game zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Erstausbildung im Bereich Elektro- und Metalltechnik

Pia Spangenberg ¹, Nadine Matthes², Linda Kruse³, Markus Kybart⁴, Kristina Schmidt⁵, Felix Kapp⁶

Abstract: Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung des Virtual Reality (VR) Game MARLA beschrieben sowie erste Evaluationsergebnisse präsentiert. Mit dem VR Game MARLA wird die Fehlerdiagnosekompetenz im Bereich der Elektro- und Metalltechnik trainiert. Zielgruppe sind Auszubildende in der Erstausbildung an beruflichen Schulen und Ausbildungszentren. Der Fehlerdiagnoseprozess wird am Beispiel einer Offshore-Windkraftanlage in einem authentischen Setting trainiert. Dabei liegt im Projekt MARLA ein Schwerpunkt auf der theoretisch fundierten Gestaltung der VR Umgebung. Unter Bezug auf den Cognitive-Apprenticeship-Ansatz wurde eine pädagogische Agentin in die Anwendung implementiert, so dass eine optimale Unterstützung und ein Lernen am Modell möglich sind. Die Skalierung von Offshore-Windkraftanlagen auf ihre reale Größe ermöglicht Auszubildenden eine Erfahrung, die in der Praxis nicht ohne weiteres realisiert werden kann. Einen Einblick in den Prototyp gewährt folgendes Video: https://youtu.be/mYPa-M_kf8.

Keywords: Virtual Reality, Serious Game, Lernanwendung, Berufsausbildung, Windenergie

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens MARLA-Masters of Malfunction wird ein Virtual Reality (VR) Game entwickelt, das die Fehlerdiagnosekompetenz von Auszubildenden im Bereich der Elektro- und Metalltechnik trainiert. Zwar ist das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in einzelnen Ausbildungsordnungen entsprechender elektrotechnischer, metalltechnischer oder auch mechatronischer Berufe verankert, aber dennoch können Facharbeiter*innen das Fachwissen zur Fehlerdiagnose nicht ausreichend umsetzen (z.B. [SA00], [BD07], [WF16], [SH16], [KU94]). Darüber hinaus wird bemängelt, dass es an ausreichend didaktischen Konzepten fehle, um die Fehlerdiagnosekompetenz im Unterricht zu trainieren [MN21]. Das BMBF-

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre, Marchstraße 23, 10587 Berlin, pia.spangenberg@tu-berlin.de,  <https://orcid.org/0000-0002-6468-6086>

² Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre, Marchstraße 23, 10587 Berlin, nadine.matthes@tu-berlin.de

³ The Good Evil GmbH, Gilbachstraße 22, 50672 Köln, linda@thegoodevil.com

⁴ Handwerkskammer Osnabrück-Emsland-Grafschaft Bentheim, Bramscher Straße 134–136, 49088 Osnabrück, m.kybart@hwk-osnabrueck.de

⁵ Handwerkskammer Koblenz, August-Horch-Straße 6-8, 56070 Koblenz, kristina.schmidt@hwk-koblenz.de

⁶ Technische Universität Berlin, FG Mensch-Maschine-Systeme, Marchstraße 23, 10587 Berlin, felix.kapp@tu-berlin.de

Forschungsvorhaben MARLA-Masters of Malfunction greift diese Problematik auf. Am Beispiel einer Offshore-Windkraftanlage wurde eine spielerische VR Lernanwendung entwickelt, die zum Ziel hat, die Fehlerdiagnosekompetenz von Auszubildenden in der Erstausbildung zu fördern. Windkraftanlagen zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Bearbeitung von elektrischen, bau- und metalltechnischen Aufgabenstellungen ermöglichen sowie eine Verknüpfung mit energiewirtschaftlichen Fragestellungen erlauben. In die virtuelle Lernumgebung taucht man mit der Oculus Quest ein. Zur Lösung der virtuellen Aufgaben brauchen die Auszubildenden kein Windenergiefachwissen, sehr wohl aber Grundkenntnisse einer metall- oder elektrotechnisch orientierten Ausbildung. Damit adressiert die Anwendung insgesamt etwa 38.000 Auszubildende, die sich jährlich für einen der Berufe in der Berufsgruppierung "Mechatronik- Energie- und Elektroberufe" entscheiden [BI20]. Zur Einbindung der Lernanwendung in den Berufsschulunterricht gibt es didaktisches Begleitmaterial. Im vorliegenden Beitrag präsentieren wir die Entwicklung sowie erste Zwischenergebnisse der Evaluation des Prototyps. Zunächst wird die Anwendung vorgestellt, die Entwicklung der Lernziele und Lerninhalte sowie die theoretische Einordnung beschrieben. Anschließend werden zentrale Elemente des Game Design erläutert und von ersten Ergebnissen aus der Evaluation des Prototyps berichtet.

2 VR Game MARLA

Ziel des VR Game MARLA ist es, die verschiedenen Ursachen für einen Fehler im hydraulischen Bremssystem aufzuspüren. Ein systematisches oder auch ein logisches Vorgehen der Spielenden ist dabei gefragt. Unterstützt werden die Auszubildenden dabei von einer pädagogischen Agentin, die durch die Anlage führt. Die Auszubildenden bekommen in der Anwendung den Auftrag, eine Windkraftanlage wieder in Stand zu setzen, die eine Fehlermeldung ausgegeben hat. Dabei erleben sie den Arbeitsablauf auf einem Offshore Windpark – Ihr Tag startet mit einem Briefing an Land, dann geht es mit dem Schiff raus aufs Meer. Die pädagogische Agentin hilft ihnen beim Ablauf der Aufgabenstellung und vermittelt in acht Schritten das Vorgehen bei einer systematischen Fehlerdiagnose. Einen zweiten Fehler müssen die Auszubildenden dann selbstständig finden und beheben. Dabei wird den Spielenden auch Wissen über Windenergie-technik und ressourcenschonende Stromerzeugung vermittelt.

2.1 Fehlerdiagnosekompetenz

In einem iterativen Prozess der Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen (Berufspädagogik, päd. Psychologie, Game Design und Informatik) wurde ein methodisch-didaktisches Konzept entwickelt, das die formulierten Lernziele der VR-Anwendung in Lerninhalte und eine konkrete Aufgabenkonstruktion überführt. Die systematische Fehlersuche wird dabei anhand von acht Schritten trainiert: 1) Fehler erfassen, 2) Ist-Zustand beschreiben, 3) Suchraum eingrenzen, 4) Hypothesen aufstellen, 5) Hypothesen bewerten, 6) Hypothesen überprüfen, 7) Instandsetzen, 8) Fehlerdokumentation ausfüllen.

Im Sinne des Cognitive-Apprenticeship-Ansatzes [CA89] begleitet eine virtuelle pädagogische Agentin die Lernenden innerhalb der VR. Im ersten Durchgang erklärt die Agentin die Abläufe der Fehlerdiagnose. In einem weiteren Durchgang erhalten die Spielenden die Aufgabe, die Fehlerdiagnose selbstständig durchzuführen und haben mehr Möglichkeiten sich auszuprobieren. So müssen sie weitere Fehlerursachen diagnostizieren (z.B. defektes Kabel, undichter Akkumulator). Ein Durchgang wird mit 45 Minuten angesetzt. Durch eine schrittweise Erhöhung der Freiheitsgrade und das graduelle Ausblenden der Anleitung und des Feedbacks erarbeiten sich die Lernenden die Fehlerdiagnosekompetenz. Gleichzeitig erhalten die Spielenden einen immersiven Einblick in den Arbeitsalltag von Fachkräften im Windenergiesektor, indem der Fehlerdiagnoseprozess in ein realistisches Arbeitsumfeld eingebettet ist, das auch spezifische Arbeitssicherheit- und Kommunikationsprozesse beinhaltet.

2.2 Wissenserwerb Offshore-Windenergietechnik

Als zweites übergeordnetes Lernziel wurde formuliert, dass die Auszubildenden den Aufbau einer Windkraftanlage erklären und einzelne Bauteile benennen sowie sich an Fakten und Richtwerte der Leistungsfähigkeit einer Offshore-Windkraftanlage nach dem Spielen der Anwendung erinnern können. Darüber hinaus wird den Auszubildenden anhand von MARLA ein Beruf näher gebracht, der im Sektor Erneuerbare Energien angesiedelt ist. Auf diese Weise kann Berufsorientierung in den Schulen stattfinden, die Tätigkeitsfelder mit Nachhaltigkeitsaspekten thematisiert. Mit diesem Lernziel verfolgt das Forschungsvorhaben den Anspruch, dass Auszubildende das Berufsfeld Windenergietechnik näher kennenlernen und ihr Wissen über Berufe mit einem Bezug zu erneuerbaren Energien erweitern. Vor dem Hintergrund der neuen Dekade „BNE 2030“ der UNESCO und dem Ansatz einer nachhaltigkeitsorientierten Gestaltungskompetenz nach [KW18] verknüpft die Lernanwendung damit die Kompetenzförderung im Bereich der Elektro- und Metalltechnik mit Nachhaltigkeitsaspekten wie Ressourcenschonung und nachhaltige Energieerzeugung.

3 Game Design

Im Game Design Prozess wurden die theoretischen Überlegungen im Hinblick auf die Lernziele und -inhalte in konkrete Interaktionen im VR Spiel überführt. Auf diese Weise wurden die konzeptionellen Überlegungen in Spielhandlungen umgesetzt. Das übergeordnete Lernziel der Anwendung „Beherrschen der Fehlerdiagnosekompetenz“ wird durch die Bearbeitung der einzelnen Schritte des Fehlerdiagnoseprozesses unterstützt. Deklaratives und prozedurales Wissen über Windkrafttechnologie wird sowohl auf der virtuellen Anlage beim Finden des Fehlers thematisiert als auch anhand von zwei Mini-Modellen einer Offshore-Windkraftanlage (WKA).

3.1 Interaktion mit pädagogischen Agent*innen

Die pädagogische Agentin (Abb. 1) übernimmt in der Lernanwendung die Aufgabe, die Auszubildenden durch die Aufgabe zu führen, einen Fehler in einem hydraulischen Bremssystem in einer Offshore-Windkraftanlage zu diagnostizieren. Sie gibt den Auszubildenden im ersten Durchgang der Anwendung klare Vorgaben, welche Arbeitsprozesse durchlaufen werden müssen, während der/die Auszubildende sie ausführt. So muss der Spielende zum Beispiel zu Beginn ein Human Machine Interface (HMI) bedienen, um die Anlage vom Strom zu nehmen, während die pädagogische Agentin die Ausführung und Funktion des HMI erläutert. Anschließend kann der Auszubildende das HMI selbstständig bedienen. Im weiteren Verlauf der Anwendung muss der Spielende am hydraulischen Bremssystem einzelne Hypothesen aufstellen, um der Fehlerursache auf den Grund zu gehen. In diesem Arbeitsprozess führt die pädagogische Agentin den Auszubildenden ein, in dem sie die Notwendigkeit der Hypothesenaufstellung erläutert, die durch die/den Auszubildende*n durchgeführt wird. Die/der Auszubildende erhält Feedback, falls a) die Hypothesen nicht richtig sind, und b) die Reihenfolge der Arbeitsausführung nicht eingehalten wird.

3.2 Lernen über Windkraftanlagen mithilfe virtueller Mini-Modelle

Der Wissenserwerb zum Thema Leistungsfähigkeit und Funktion einer Windkraftanlage erfolgt in der Anwendung anhand von modellierten WKA in verkleinerter Skalierung, sog. Mini-Modelle. Die pädagogische Agentin erklärt einzelne Bauteile und deren Funktion anhand der Mini-Modelle (Abb. 2). Durch Anklicken wird jedes einzelne Bauteil grafisch hervorgehoben und Stromverläufe sowie Funktion visualisiert. So wird bspw. der Weg des generierten Stroms von der WKA zum Umspannwerk und von dort zum Land durch aufleuchtende Stromleitungen verdeutlicht. Auf diese Weise wird der vollständige Prozess der Stromerzeugung ausgehend vom Generator, welcher durch die rotierende Nabe angetrieben wird, bis hin zu einzelnen Haushalten an Land abgebildet. Die Spielenden können dabei sowohl die Perspektive als auch die Geschwindigkeit und Wiederholung der Erläuterungen durch die pädagogische Agentin selbst steuern, indem sie die einzelnen Bauteile durch Anklicken mit der virtuellen Hand aktivieren.



Abb. 1: Pädagogische Agentin



Abb. 2: Mini-Modell Offshore-Windkraftanlage

4 Erste Ergebnisse zur Evaluation des Prototyp

Im Rahmen einer Untersuchung an einer Berufsschule (n=47) wurde das Vorwissen der Zielgruppe getestet. Die Ergebnisse bestätigen die in der Literatur bereits diskutierten Defizite in der systematischen Fehleranalyse durch Auszubildende. Darüber hinaus wurde deutlich, dass die Auszubildenden die Auseinandersetzung mit Windkraftanlagen als motivierend beschreiben, jedoch kaum Vorwissen mitbringen [KF21]. Auch die Zielgruppe der Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen sowie Auszubildenden in Ausbildungszentren bestätigen die theoretische Annahme, dass es an didaktischem Material zum Trainieren der Fehlerdiagnose mangelt sowie sie einen Bedarf konstatierten, an realen Anlagen trainieren zu können [MN21]. Eine erste Pilot-Studie (n=12) zur Usability und Interaktion mit dem Prototyp ergab, dass die umgesetzte Navigation/Teleportation und die Visualisierung kognitiver Prozesse innerhalb der VR Umgebung (z.B. das Aufstellen von Hypothesen, welche in einem Overlay über den Gondelinnenraum projiziert wird) in der Anwendung funktioniert sowie diese als ansprechend wahrgenommen wird. Weitere Evaluationsstudien mit einem größeren Teilnehmerkreis zur Usability, der Immersion, der Interaktion mit der pädagogischen Agentin, dem Wissenserwerb und der Game-Experience befinden sich in der Umsetzung. Die Erhebungen erfolgen in Kooperation mit Berufsschulen. Es sind u.a. Vorher-Nachher-Befragungen unter Einsatz des Prototyps mit der Oculus Quest geplant

5 Einsatzempfehlungen

Das VR Game MARLA eignet sich zum Einsatz an berufsbildenden Schulen und Ausbildungszentren zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz im Bereich der

Elektro- und Metalltechnik. Die VR-Lernanwendung MARLA hat aus folgenden Gründen einen Mehrwert für das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz: Zum einen ermöglicht die VR eine Skalierbarkeit von Maschinen und Anlagen, wie die Darstellung einer Windkraftanlage in realer Größe, die im Unterricht kaum möglich ist. Es können Denkprozesse visualisiert werden, die Auszubildenden helfen, ein systematisches Vorgehen Schritt für Schritt zu erlernen und gleichzeitig zu reflektieren. Das Trainieren im geschützten Raum ermöglicht ihnen außerdem im Arbeitsprozess Fehler zu machen, ohne, dass sie bei einer meist sehr teuren Anlage oder Maschine einen Schaden verursachen. Gleichzeitig werden ihnen Konsequenzen des eigenen beruflichen Handelns direkt aufgezeigt. Darüber hinaus ermöglicht die virtuelle Anwendung das Präsenzerleben, eine Erlebniskomponente sowie sensorische Erfahrungen. So können die Spielenden bspw. die Anlage betreten, aufs Meer blicken oder mit Werkzeugen hantieren. Dies kann insbesondere junge Menschen motivieren, sich mit der komplexen Aufgabe der Fehlerdiagnosekompetenz auseinanderzusetzen.

6 Fazit

Ein zentraler Bestandteil der Entwicklung des VR Game MARLA war die Überführung von konkreten Lernzielen und -inhalten in das Game Design. Dabei lag ein Fokus auf der theoretisch fundierten Gestaltung der Lernumgebung. Ausgehend von der zu erlernenden Fehlerdiagnosekompetenz wurde innerhalb der VR eine komplexe technische Anlage in Form einer WKA umgesetzt, an welcher der Fehlerdiagnoseprozess in einem authentischen Setting trainiert wird. Unter Bezug auf den Cognitive-Apprenticeship-Ansatz wurde eine pädagogische Agentin so gestaltet, dass eine optimale Unterstützung und ein Lernen am Modell im Sinne des Cognitive-Apprenticeship-Ansatzes [CA89] möglich sind. Die Skalierung von Offshore-Windkraftanlagen auf ihre reale Größe eröffnet Auszubildenden eine Erfahrung, die in der Praxis an berufsbildenden Schulen oder Ausbildungsstätten nicht ohne weiteres möglich ist. Gleichzeitig werden durch die Umsetzung von Mini-Modellen des Offshore Parks weitere Potenziale von lernförderlichen Visualisierungen in MARLA ausgeschöpft. Weitere Studien zum Potenzial des VR Game im Hinblick auf das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung befinden sich derzeit in der Umsetzung.

7 Literaturverzeichnisses

- [MN21] Matthes, N. et al.: Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung. Qualitative Studie mit Lehrenden im Bereich Metall- und Elektrotechnik. In Journal of Technical Education (JOTED), 2021, 9; S. 31–53.
- [WF16] Walker, F. et al.: Berufsfachliche Kompetenzen von Elektronikern für Automatisierungstechnik - Kompetenzdimensionen, Messverfahren und erzielte Leistungen (KOKO EA). In (Beck K., Landenberger M., Oser, F.

- Hrsg.): Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT. Wbv Verlag, Bielefeld, 2016; S. 139–170.
- [SA00] Schaafstal, A.; Schraagen, J. M.; van Berlo, M.: Cognitive Task Analysis and Innovation of Training: The Case of Structured Troubleshooting. In *Human factors*, 2000, 42; 75–86.
- [KU94] Konradt, U.: Handlungsstrategien bei der Störungsdiagnose an flexiblen Fertigungseinrichtungen. In *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 1994; S. 54–56.
- [BD07] Benda, D.: Wie sucht man Fehler in elektrischen Schaltungen? Fehlersuche mit Methode. Poing: Franzis Verlag, 2007.
- [SH16] Schray, H.; Geißel, B.: Cognitive Apprenticeship als Gestaltungsansatz für die Fehlersuche im allgemeinbildenden Elektrotechnikunterricht. In *Journal of Technical Education (JOTED)*, 2016, 4; S. 151–170.
- [BI20] "Datenbank Auszubildende" des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) auf Basis der Daten der Berufsbildungsstatistik der statistischen Ämter des Bundes und der Länder (Erhebung zum 31. Dezember), 2020.
- [CA89] Collins, A.; Brown, J. S.; Newman, S. E.: Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In (Resnick, L. B. Hrsg.): *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1989; S. 453–494.
- [KW18] Kuhlmeier, W., & Vollmer, T. (2018). Ansatz einer Didaktik der Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung. In T. Tramm, M. Casper, & T. Schlömer (Eds.), *Didaktik der beruflichen Bildung - Selbstverständnis, Zukunftsperspektiven und Innovationsschwerpunkte* (pp. 131–151). Bielefeld.
- [KF21] Kapp, F. et al.: MARLA: Fehlerdiagnosekompetenz mit Virtual Reality trainieren.: Arbeit HUMAINE gestalten. Dokumentation des 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses. GfA-Press, Dortmund, 2021.