

NADINE MATTHES (Technische Universität Berlin)

KRISTINA SCHMIDT (Handwerkskammer Koblenz)

MARKUS KYBART (Handwerkskammer Osnabrück-Emsland-Grafschaft
Bentheim)

PIA SPANGENBERGER (Technische Universität Berlin)

**Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung. Quali-
tative Studie mit Lehrenden im Bereich Metall- und Elektrotechnik**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

NADINE MATTHES / KRISTINA SCHMIDT / MARKUS KYBART/ PIA SPANGENBERGER

Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung. Qualitative Studie mit Lehrenden im Bereich Metall- und Elektrotechnik

ZUSAMMENFASSUNG: Der Beitrag gewährt einen aktuellen Einblick in den Unterricht zur Fehlerdiagnosekompetenz an berufsbildenden Schulen und an überbetrieblichen Ausbildungsstätten im Bereich der Elektro- und Metalltechnik aus Sicht von Lehrenden. Ziel der Studie ist es, subjektive Erfahrungen im Hinblick auf hemmende und fördernde Faktoren in der Ausbildung zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz herauszuarbeiten, um erste Implikationen zur Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren für die Erstausbildung abzuleiten. Die Ergebnisse bestätigen, die in der Literatur diskutierten Defizite, insbesondere das Fehlen didaktischer Konzepte und ein defizitäres systematisches Vorgehen der Fehleranalyse durch Auszubildende. Die Studie ist Teil des Forschungsvorhabens MARLA, in dem eine spielerische VR-Lernanwendung zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz entwickelt wird. <https://marla.tech>

Schlüsselwörter: Fehlerdiagnosekompetenz, Elektrotechnik, Metalltechnik, Berufsausbildung, Virtual Reality

Troubleshooting in vocational education. A qualitative study of teachers in the field of electrical and metal engineering

ABSTRACT: The article describes a qualitative study on training troubleshooting in vocational schools and inter-company vocational training centers from a teachers' perspective. The aim of the qualitative study is to gain an up-to-date insight into the teaching of troubleshooting competence in the field of electrical and metal engineering. Subjective experiences of teachers for training troubleshooting competence will be elaborated. Subsequently, first implications for the development of a methodical-didactic concept for the training of troubleshooting competence are derived. The investigation confirms the deficits mentioned in the literature and provides a current insight into the problem. The study is part of the research project MARLA in which a playful VR learning application for training troubleshooting competence in the field of electrical and metal engineering will be developed.

Keywords: troubleshooting, electrical engineering, metal engineering, vocational education training, virtual reality

1 Einleitung

Bereits seit über 20 Jahren wird eine fehlende Vorbereitung von Auszubildenden auf die Tätigkeit der Fehlerdiagnosekompetenz diskutiert (vgl. Walker et al. 2018; Abele et al. 2014; Becker 2009; Schaafstal et al. 2000; Konradt 1994). Es wird bemängelt, dass trotz der Verankerung in den einzelnen Ausbildungsordnungen der elektrotechnischen, metalltechnischen und mechatronischen Berufe, die jungen Facharbeiterinnen und Facharbeiter das Fachwissen zur Fehlerdiagnose nicht in Handlungen überführen können (vgl. Schaafstal et al. 2000; Benda 2007; Walker et al. 2016; Schray & Geißel 2016). Im vorliegenden Beitrag greifen wir die Problematik des Trainierens der Fehlerdiagnosekompetenz auf. In Anbetracht der beschriebenen defizitären Fehlerdiagnosekompetenz von Auszubildenden als auch von jungen Facharbeiterinnen und Facharbeitern, widmet sich der vorliegende Beitrag der Frage, welche hemmenden und fördernden Einflussfaktoren aus der Perspektive von Lehrenden an berufsbildenden Schulen und überbetrieblichen Ausbildungsstätten aktuell bestehen. In einer qualitativen Studie werden subjektive Erfahrungen aus Sicht der Lehrenden beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz herausgearbeitet, um aktuelle Einflussfaktoren an berufsbildenden Schulen und überbetrieblichen Ausbildungsstätten auf das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz zu erfassen. Eine qualitative Untersuchung bietet die Möglichkeit, Erfahrungswelten aus Sicht von Betroffenen zu beschreiben und damit tiefere Einblicke in Konditionen zu erhalten, die manchmal erst durch die Reflexion im Rahmen eines Interviews bewusst artikuliert werden (vgl. Flick et al. 2010). Die Art und Weise, inwiefern Fehlerdiagnosekompetenz derzeit in der Erstausbildung trainiert wird und wo Problemlagen aus Sicht von Lehrenden gesehen werden, werden im Beitrag mithilfe des qualitativen Vorgehens genauer untersucht.

Dazu wird im vorliegenden Beitrag im ersten Schritt eine Einführung in die Fehlerdiagnosekompetenz in der Elektro- und Metalltechnik erfolgen und das Verständnis für die vorliegende Untersuchung ausdifferenziert. Anschließend wird die curriculare Einbindung in Ausbildungsberufen der Metall- und Elektrotechnik sowie Anleitungen zur didaktischen Umsetzung des Trainierens der Fehlerdiagnosekompetenz in diesem Bereich umrissen. Es folgt ein kurzer Überblick zum Verständnis von Virtual Reality (VR) Technologie mit einem Verweis auf bereits vorliegende Anwendungen in der beruflichen Bildung. Dann erfolgt die Beschreibung der qualitativen Studie, an der sich 28 Lehrende in berufsbildenden Schulen und überbetrieblichen Ausbildungsstätten beteiligt haben. Als Ergebnisse der durchgeführten Studie werden die hemmenden und fördernden Faktoren des Trainings der Fehlerdiagnosekompetenz im Anschluss diskutiert und erste Implikationen für die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts abgeleitet. Der Hintergrund der Studie ist die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR im Rahmen des Forschungsvorhabens MARLA (vgl. Kapp et al. 2020; Spangenberg et al. 2019). Die Entwicklung der VR-Anwendung erfolgt auf Basis des ADDIE-Modells, nach dem der Realitätsabgleich ein wichtiger Baustein ist, um die einzelnen Entwicklungsschritte der Lernanwendung kontinuierlich mit der Zielgruppe abzugleichen (Branch, 2009).

1.1 Fehlerdiagnosekompetenz in der Metall- und Elektrotechnik

Als Fehlerdiagnosekompetenz wird die Fähigkeit verstanden Fehlerursachen in technischen Systemen systematisch zu identifizieren und geeignete Behebungsvorschläge zu benennen, wobei ein Funktionsverständnis für das technische System, in welchem sich der Fehler befindet, sowie das Fachwissen Voraussetzungen für die Fehlerdiagnosekompetenz darstellen (vgl. Walker, Link &

Nickolaus 2015; Zinn et al. 2015). Eine ausführliche Ausdifferenzierung der einzelnen Teilkompetenzen der Fehlerdiagnosekompetenz finden sich zum Beispiel bei Walker, Link und Nickolaus (2015), Velten et al. (2018) oder auch Nickolaus (2018).

In den elektro-, metalltechnischen und mechatronischen Ausbildungsberufen in Industrie und Handwerk ist das Diagnostizieren von Fehlern an sowie das Instandhalten von Anlagen ein Bestandteil der Ausbildungsordnungen (vgl. Bundesgesetzblatt 2007a, 2007b, 2008; 2011). So ist es eine gemeinsame Kernqualifikation der jeweiligen Ausbildungsberufe entsprechend der Ausbildungsberufsbilder, der Ausbildungsrahmenpläne sowie Prüfungsbestandteil der Abschluss- bzw. Gesellenprüfungen. Ebenso beinhalten alle von der Konferenz der Kultusminister und -senatoren der Länder beschlossenen Rahmenlehrpläne für die metalltechnischen, elektrotechnischen und mechatronischen Berufe das Themenfeld Fehlerdiagnose (z.B. KMK 2018a, 2018b, 2018c)¹. Im Folgenden werden Aspekte zur Fehlerdiagnosekompetenz aus den Ziel- und Inhaltsformulierungen der Lernfelder geclustert und den Berufen zugeordnet dargestellt. Die Auflistung hat dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll zeigen wie das Themenfeld in der schulischen Ausbildung vertreten ist.

Pflicht für den berufsbezogenen Unterricht in Berufsschulen sind Lerninhalte, wie das planvolle und zielgerichtete Vorgehen bei der Eingrenzung und Behebung von Störungsursachen (z. B. Anlagenmechaniker/-in, Elektroanlagenmonteur/-in, Elektroniker/-in Betriebstechnik), das Nutzen von Diagnosesystemen und interpretieren von Funktions- und Fehlerprotokollen (z.B. Anlagenmechaniker/-in, Industriemechaniker/-in, Mechatroniker/-in, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik, Elektroniker/-in für Betriebstechnik, Elektroniker/-in Handwerk), das Entwickeln von effizienten Strategien zur Fehlersuche (z.B. Industriemechaniker/-in, Elektroniker für Maschinen und Antriebstechnik (IH/Hw), Elektroniker/-in für Betriebstechnik, Elektroniker/-in Handwerk, Metallbauer) sowie das Ermitteln von Störungsursachen durch Prüfen und Messen mit Hilfe von Schaltplänen (Elektroanlagenmonteur/-in, Metallbauer/-in). Festzuhalten ist außerdem, dass in den „Elektroniker/-innen-Berufen“ das Thema Fehlerdiagnose umfangmäßig in den Lernfeldern häufiger Erwähnung findet als in den metalltechnischen und mechatronischen Berufen.

Erhebungen zeigen, dass die Tätigkeiten der Arbeitsbereiche Instandhaltung bzw. Wartung sowohl in den Unternehmen der Industrie als auch in denen der Elektrotechnik, Metalltechnik und Mechatronik des Handwerks einen hohen Stellenwert einnehmen (vgl. Zink, Schenk & Kröll 2014; Velten et al. 2018). So ist bei 83,1 Prozent der Personen dieser Berufsgruppen im industriellen Bereich die Fehlerdiagnose Bestandteil der Arbeitstätigkeit (siehe Abbildung 1). Die Fehlerdiagnose, so die Autorinnen und Autoren, wird in Zukunft immer wichtiger werden (vgl. Zink, Schenk & Kröll 2014). Damit ist die Fehlerdiagnosekompetenz ein explizit genannter Ausbildungsgegenstand in allen metall- und elektrotechnischen Berufsausbildungen, den es zu fördern gilt.

1 Für weitere Ausbildungsordnungen der Berufe siehe: <https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html>.

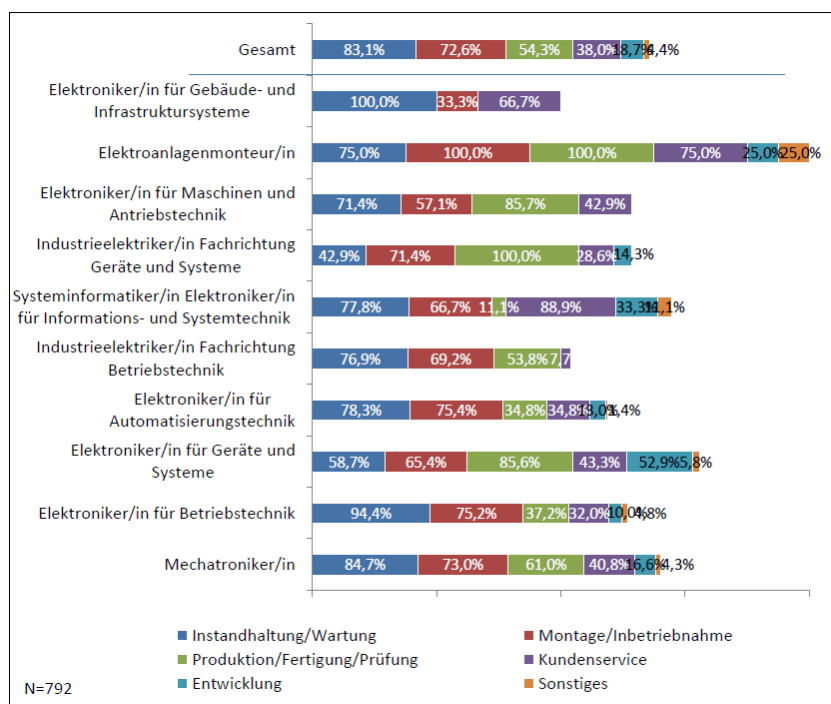


Abb.1: Arbeitsbereiche im Unternehmen aufgeschlüsselt nach Berufsgruppen (vgl. Zinke, Schenk & Kröll 2014, S.63)

1.2 Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung der Elektro- und Metalltechnik

Um auch als Novize und Novizin den Anforderungen der Facharbeit gerecht zu werden, muss an die Stelle des erfahrungsgeleiteten Handelns ein systematisches Vorgehen treten. Für eine derartige Arbeitsweise sind die jungen Facharbeitenden zu qualifizieren. Ein Training zum systematischen Vorgehen bei der Fehlersuche kann die Leistungen der Facharbeiterinnen und Facharbeiter mit wenig Berufserfahrung stark verbessern. (vgl. Schaafstal et al. 2000)

Beim Trainieren der Diagnosekompetenz geht es nicht um das Fehlersuchen nach einem vorgegebenen Plan. Ziel soll es sein, stattdessen geeignete Wege für ein strategisches Vorgehen in der Diagnose zu erkennen und so über eine systematische Eingrenzung des Suchraums den Fehler zu beheben (vgl. Becker 2009). Eine Basis für das Lernen von Diagnosezusammenhängen stellt dabei das gedankliche Auseinandersetzen mit Prüf- und Messwerten komplexer technischer Systeme dar. Voraussetzung dafür ist zum einen das kompetente Erfassen und Auswerten der Werte, zum anderen die Komplexität von modernen technischen Systemen begreifen zu können. Bei der Durchführung von Messungen ist es dabei von Bedeutung, dass die Messwerte „am konkreten System gemessen sowie dessen Reaktion und Verhalten mit in den Diagnoseprozess einbezogen werden kann“ (Becker 2009, S. 106). Nur so kann der Diagnosezusammenhang durch die Fachkraft hergestellt werden. Allerdings finden die in der elektrotechnischen und metalltechnischen Ausbildung vermittelten Kompetenzen zur Fehlerdiagnose, insbesondere in der Berufseinstiegsphase nicht in erhofftem Maße Anwendung. So weisen die Fachkräfte mit geringer Berufserfahrung in der Regel das notwendige Fachwissen zur Diagnose von Fehlern auf, aber ist es ihnen nicht möglich Fehlerdiagnosen systematisch und erfolgreich durchzuführen (vgl. Schaafstal et al. 2000). Im Rahmen der Berufsausbildung gilt es nun, die Fehlerdiagnosekompetenz so zu trainieren, dass

die Auszubildenden auf die Anforderungen in der Praxis, zum Beispiel im Bereich der Instandhaltung, vorbereitet sind.

Der Forschungsdiskurs zur Fehlerdiagnosekompetenz in der gewerblich-technischen beruflichen Bildung der vergangenen zwanzig Jahre umfasst domänenspezifische, empirische Studien zu Effekten von Interventionen auf die Fehlersuche. Es liegen verschiedene Untersuchungen vor, ob und inwiefern Fehlerdiagnosekompetenz gefördert werden kann. Schaper und Sonntag (1997) wiesen zum Beispiel in einem Feldexperiment unter auszubildenden Industriemechanikerinnen und -mechanikern für Produktions- und Bautechnik nach, dass sich Strategietrainings positiv auf die Fehleranalysefähigkeit auswirken. Für die Blended-Learning-Umgebung „Diagnose-Kit“, welche aus einer computerbasierten Simulation ergänzt um vier Instruktionsmodule besteht, konnte für Auszubildende der Mechatronik wiederum ein positiver Effekt der Lernmodule beim simulationsbasierten Lernen der technischen Störungsdiagnosekompetenz nachgewiesen werden (vgl. Hochholdinger & Schaper, 2009). Eine Förderung der Fehlerdiagnosekompetenz konnten u. a. Nickolaus et al. (2018) in verschiedenen Wirkstudien für ein für den industriellen Dienstleistungsbereich im Maschinen- und Anlagebau entwickeltes modulares Lehr-Lern-Konzept (ServiceLern-Lab) bestehend aus Realmodell, Simulation und Schulungen nachweisen (siehe auch Hedrich & Zinn 2016; Zinn 2016; Walker et al. 2015; Zinn et al. 2018). Für eine ausführliche Ausdifferenzierung der einzelnen domänenspezifischen Auseinandersetzungen mit der Fehlerdiagnosekompetenz siehe auch Nepper (2020). Nepper wertet in seiner Arbeit den gegenwärtigen Stand der Forschung zu Untersuchungen zur Fehlerdiagnosekompetenz in der gewerblich-technisch orientierten beruflichen Bildung seit 1997 anhand von drei Forschergruppen (um Sonntag, um Nickolaus und um Geißel & Gschwendtner) aus. Untersuchungen von Sonntag und Kollegen, der Stuttgarter Forschungsgruppe um Nickolaus bzw. der Arbeitsgruppe Geißel und Gschwendtner an der Pädagogischen Hochschule in Ludwigsburg, zeigen, dass Ausbildung der Fehlerdiagnosekompetenz durch gezielte Interventionen gefördert werden kann.

Aufbauend auf den unterschiedlichen Empfehlungen in verschiedenen Domänen zur Förderung der Fehlerdiagnosekompetenz, gilt es im Forschungsvorhaben MARLA ein konkretes didaktisches Konzept zu entwickeln, das sich für das Trainieren in einer virtuellen Lernumgebung eignet. Die vorliegende Untersuchung ist ein erster Schritt zur Erfassung der Problemlage an berufsbildenden Schulen und Ausbildungsstätten im Hinblick auf die didaktische Umsetzung in der Praxis. Fördernde und hemmende Faktoren beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz gilt es herauszuarbeiten. Zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR für die Erstausbildung im Bereich der Metall- und Elektrotechnik liegt unseres Wissens bislang kein methodisch-didaktisches Konzept Raum vor. Mithilfe der im Folgenden beschriebenen qualitativen Studie werden die aktuellen Konditionen in der praktischen Umsetzung aus Sicht der Lehrenden in den Blick genommen, um erste Implikationen für die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR abzuleiten. Die qualitative Studie ist somit als Vorstudie für die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz im Bereich der Metall- und Elektrotechnik einzuordnen.

1.3 Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR

Virtual Reality (VR) Anwendungen stellen eine vielversprechende Lösung für das Trainieren eines systematischen Vorgehens bei der Fehlerdiagnose dar, da diese die Möglichkeit bieten reale Arbeitswelten abzubilden und sich geschützt darin zu bewegen. VR Anwendungen erlauben das Ausprobieren und Lernen unter ähnlichen Bedingungen wie in der Realität. Virtuelle oder auch

augmentierte Technologie ermöglicht die Verknüpfung von realen und virtuellen Welten in neuen Umgebungen, in denen physische und digitale Objekte in Echtzeit miteinander interagieren können (siehe Abbildung 1, Milgram & Koshino 1994). Der Einsatz von VR im Bildungsbereich ist zwar nicht neu, allerdings gibt es bislang vergleichsweise wenig wissenschaftliche Erkenntnisse zum Einsatz in der beruflichen Ausbildung (vgl. Kavangah et al. 2017; Zinn et al. 2020; Zobel et al. 2018). Positive Effekte auf das Lernen durch Trainieren in VR konnten bereits nachgewiesen werden (z. B. Merchant et al. 2018, Gavish et al. 2015). Erste Untersuchungen zu den Vorteilen von VR-Lernanwendungen in der beruflichen Bildung haben aufgezeigt, dass vor allem die räumliche Präsenz und das Flow-Erleben, die soziale Präsenz, die Authentizität und das situative wie individuelle Interesse von Lernenden positiv beeinflussen können (vgl. Zinn et al. 2016; Kapp et al. 2019; de Geus et al. 2020). Zobel et al. (2018) stellen wiederum die Potenziale von VR im Hinblick auf Visualisierungsmöglichkeiten in Lernprozessen gegenüber traditionellen Lehrmethoden heraus. Allerdings besteht nach wie vor Forschungsbedarf beim Einsatz von VR-Technologien in Bezug auf das Auftreten von Cybersickness (vgl. Stanney et al. 2003; 2020; Shafer 2017), den Einfluss von VR-Vorerfahrung oder Technologieakzeptanz auf die Lerneffekte (z. B. Pletz & Zinn, 2018) oder auch den Einfluss von pädagogischen Agenten in VR (z. B. Makransky et al., 2019).

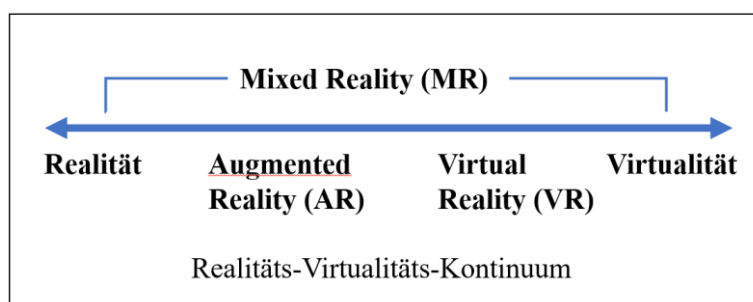


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung des "Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums" in Anlehnung an Milgram & Kishino (1994).

In den letzten Jahren wurden vermehrt VR-Anwendungen für Lehr-Lernkontexte der beruflichen Bildung im deutschsprachigen Raum entwickelt (vgl. Stoll 2019; Zinn 2020). Für die Ausbildung im Bereich der Mechatronik wurden beispielsweise im Projekt MARVEL virtuelle Labore bzw. Simulationen mit realen Laboren verknüpft, um u.a. den Lernerfolg im Hinblick auf theoretisches Wissen und die Handlungskompetenz genauer zu untersuchen. Mit der virtuellen Lern- und Arbeitsumgebung VILA wurde wiederum eine 3D-Lern- und Arbeitswelt zur Schulung von Servicetechnikerinnen und Servicetechnikern erprobt und evaluiert (vgl. Zinn et al. 2016.). Im Projekt EPICSAVE wurde ein auf VR-Technologie basierender Simulationsansatz entwickelt, um angehende Notfallsanitäter/-innen auf Notfälle vorzubereiten (vgl. Hochschule Bonn-Rhein-Sieg 2018). Im Forschungsvorhaben HandleVR wird wiederum der Mehrwert einer VR-Lackierwerkstatt im Kontext des Ausbildungsberufes Fahrzeuglackierer/-in untersucht (vgl. Zender et al. 2019), um hier nur einige Beispiele zu nennen. Einen aktuellen Einblick in den Forschungsstand zu VR-Anwendungen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung findet sich auch bei Zinn (2020).

Nach unserem Kenntnisstand liegt bislang kein methodisch-didaktisches Konzept für die Erstausbildung vor, das die Fehlerdiagnosekompetenz in VR trainiert. Der vorliegende Beitrag ist daher Teil verschiedener Vorstudien zur Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts

zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Erstausbildung im Bereich der Metall- und Elektrotechnik. Es gilt möglich Störfaktoren aber auch fördernde Bedingungen beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz für den weiteren Verlauf der Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts für eine VR-Lernanwendung zu identifizieren und zu berücksichtigen.

2 Qualitative Studie

Die zu Grunde liegende Annahme für die Untersuchung lautet, dass aus Sicht von Lehrenden beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz nach wie vor hemmende Einflussfaktoren bestehen, welche die defizitäre Fehlerdiagnosekompetenz von jungen Facharbeitern bedingen. Gegenstand der Untersuchung ist daher die Frage, welche hemmenden aber auch welche fördernden Einflussfaktoren in den ersten Ausbildungsjahren von Lehrenden beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in berufsbildenden Schulen und beruflichen Ausbildungszentren bestehen. Die Ergebnisse sollen Hinweise darauf liefern, welche Einflussfaktoren in einem methodisch-didaktischen Konzept Berücksichtigung finden sollten. Zu diesem Zweck wurde eine Befragung mit 28 Lehrenden im Ausbildungskontext durchgeführt, die einen tieferen Einblick in die Erfahrungswelt von Lehrenden im Unterricht ermöglichen (vgl. Flick et al. 2010) und diese an einzelnen Beispielen aus der Praxis konkretisieren.

2.1 Methode

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde eine qualitative und quantitative Inhaltsanalyse mittels problemzentrierter Leitfadeninterviews durchgeführt (vgl. Früh 2001; Witzel 2010). 28 Personen ($w = 1$, $m = 27$) nahmen an der Befragung teil. Für die Befragung erfolgte eine Konzeption von problemzentrierten Leitfadeninterviews nach Witzel (2010), die das Vorgehen durch die Vorgabe von Themenblöcken strukturieren und gleichzeitig Raum für gezielte Nachfragen durch die interviewende Person geben. Der Leitfaden bestand aus vier Themenblöcken mit insgesamt 17 vertiefenden Fragemöglichkeiten. Die Themenblöcke lauteten (1) tätigkeits- und aufgabenspezifische Motivation, (2) Lernszenarios zur systematischen Fehleranalyse, (3) Lernszenarios zur Fehlerbehebung sowie (4) Rahmenbedingungen. Im ersten Themenblock wurden die Befragten aufgefordert Lerninhalte im Bereich der Fehlerdiagnosekompetenz zu benennen, die den Auszubildenden Freude bereiten bzw. mit geringer Motivation seitens der Auszubildenden einhergehen. Im zweiten Themenblock wurden fördernde und hemmende Einflussfaktoren auf das Trainieren der Fehlerdiagnose sowie damit verknüpfte konkrete Unterrichtseinheiten aus Sicht der Befragten thematisiert. Im dritten Themenblock erfolgte das gleiche Vorgehen im Hinblick auf die Fehlerreparatur. Die Befragten wurden jeweils aufgefordert von Einflussfaktoren aus ihrer täglichen Unterrichtspraxis zu berichten und ihre Aussagen mit konkreten Beispielen zu untermauern. Im letzten Themenblock wurde der Umfang und Aufwand des Trainierens der Fehlerdiagnosekompetenz thematisiert.

Nach Früh (2001) sollen im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse alle relevanten Textelemente erfasst werden. Daher wurden die Interviews anschließend transkribiert und mit der Software Atlas.ti ausgewertet. Über Erkunden, Organisieren, Extrahieren und Vergleichen einzelner Textpassagen erfolgte die Auswertung der Interviews.

2.2 Probanden und Durchführung

Unter den 28 Teilnehmenden befanden sich Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen und Fachpraxislehrkräfte in der überbetrieblichen Ausbildung bundesweit verteilt auf vier Standorte (Berlin, Dresden, Koblenz, Osnabrück). Die Befragten waren zwischen 32 und 61 Jahre alt ($M = 44,1$). Unter den Befragten befanden sich 16 Lehrende von Ausbildungsberufen im Bereich der Elektrotechnik (Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik, Elektroniker/-in für Betriebstechnik, Industrieelektriker/-in, Informationselektroniker/-in, Elektroniker/-in für Energie- und Gebäudetechnik, Systemelektroniker/-in, Elektroniker/-in IT, Systemelektroniker/-in, Elektroanlagenmonteur/-in) und 12 Lehrende aus dem Bereich der Metalltechnik (Metallbauer/-in, Anlagenmechaniker/-in SHK, Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker/-in, Mechatroniker/-in, Feinwerkmechaniker/-in, Landmaschinenmechaniker/-in, Zerspanungsmechaniker/-in, Fertigungstechniker/-in, Industriemechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in). Die Befragung erfolgte durch vier verschiedene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in persönlichen Interviews an den jeweiligen Standorten. Die Interviews dauerten zwischen 30-90 Minuten. Der Befragungszeitraum war von Mai bis Oktober 2019. Die Interviews wurden mit einem Tonträger aufgezeichnet, transkribiert und anschließend anhand eines Kategoriensystems kodiert. Die Kodierung erfolgte durch zwei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

2.3 Kodierung

Die Kodierung erfolgte bei den Textpassagen, die für den Untersuchungsgegenstand relevant waren. Dafür wurden alle transkribierten Textpassagen im Hinblick auf fördernde und hemmende Einflussfaktoren gesichtet, die dann auf der Grundlage eines vorab festgelegten Kategoriensystems kodiert wurden. Bei der Kodierung der einzelnen Textpassagen wurden insgesamt vier Kategorien zu Grunde gelegt:

1. Notwendige Kompetenzen zur Fehlerdiagnose
2. Bedarf zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz
3. Motivation von Auszubildenden sich mit der Fehlerdiagnose auseinanderzusetzen
4. Herausforderung beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz

In einem Kodierleitfaden wurden die Kriterien festgehalten gemäß der die entsprechenden Textpassagen kodiert wurden. Die einzelnen Textpassagen wurden mit einem Kode versehen und den Kategorien entsprechend zugeordnet (vgl. Mayring 2014). Mithilfe dieses deduktiven Vorgehens wurden insgesamt 54 Kodes entwickelt. Die Kodierung erfolgte in einem ersten Schritt durch eine Wissenschaftlerin bzw. einen Wissenschaftler. Im zweiten Schritt wurden die kodierten Textpassagen stichprobenartig durch eine weitere Wissenschaftlerin bzw. einen Wissenschaftler geprüft. Falls Abweichungen im Hinblick auf die Zuordnung der Kodes oder auch die Bezeichnung von Textpassagen vorlagen, wurden diese diskutiert und die Kodes ggf. umbenannt und die Textpassagen umkodiert. So wurde zum Beispiel nach der ersten Auswertung die Kategorie „Motivation“ aufgrund der hohen Anzahl an kodierten Textpassagen unterteilt in zwei Kategorien: „hohe Motivation“ und „geringe Motivation“. Auf diese Weise sollten Unterrichtsinhalte, -methoden und -medien, bei denen die Auszubildenden hoch bzw. gering motiviert sind, besser unterschieden und gezielt ausgewertet werden können. Außerdem wurde stichprobenartig an einem der Interviews die Interrater-Reliabilität berechnet, um zu überprüfen, ob die gleichen Kategorien ausgewählt und

die gleiche Anzahl an Kodes vergeben wurde. Bei der Anzahl der zu kodierenden Textpassagen und der Auswahl der Kategorien durch zwei Wissenschaftlerinnen bzw. Wissenschaftler bestand 100% Übereinstimmung. Geringe Abweichungen bestanden in der differenzierteren Vergabe von Kodes innerhalb einer Kategorie für die ausgewählten Textpassagen (Interrater-Reliabilität von 83,3%).

2.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Erhebung entsprechend der festlegten Kategorien dargestellt. Dabei werden sowohl die qualitativen als auch quantitativen Daten (Häufigkeitsauszählung der Kodes) präsentiert. Es werden exemplarisch kodierte Textpassagen abgebildet, die einen differenzierten Einblick in die Aussagen erlauben.

2.4.1 Notwendige Kompetenzen zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz

Im Zuge der Kodierung der Kategorie „notwendige Kompetenzen“ wurden die geäußerten Aussagen zur Beherrschung der Sichtprüfung, einem logischen Vorgehen und dem Sammeln von Erfahrung im Kode „Schritte der Fehlerdiagnose“ zusammengefasst (siehe Tabelle 1). Bei den notwendigen Kompetenzen gab es eine große Schnittmenge mit den hemmenden Faktoren beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz. Fähigkeiten, welche die Auszubildenden benötigen, um eine Fehlerdiagnose durchzuführen entsprechen häufig den Kompetenzen über die Auszubildende noch nicht ausreichend verfügen. So ist zum Beispiel das systematische Vorgehen, das von den Befragten als Herausforderung für die Fehlerdiagnose in den Interviews benannt wurde, auch die Kompetenz, welche als maßgeblich für die Fehlerdiagnose eingeschätzt wurde:

„Wichtig ist es für mich, ich kann den Lehrlingen im Lehrgang nicht beibringen, in zwei oder drei Wochen, die wir hier haben, wie jedes Gerät funktioniert. Das Ziel muss sein, dass sie sich, bezogen auf die jeweiligen Wärmeerzeugertypen, eine Systematik erlernen, wie sie sich dem Gerät nähern. Etwas Wissen aneignen. Um dann nachher, ich sage mal klar, strukturierte Arbeitsschritte gehen zu können. Wie ein Leitfaden. Die dann letztendlich zum Ziel führen, denn irgendwann sind wir ja nicht mehr da, und die sind dann auf sich gestellt. Und dann muss es eigentlich egal sein, ob das Gerät jetzt A, B oder C vom Gerätehersteller A, B oder C ist.“ (D14, 11)

Das systematische Vorgehen fordert weitere Fähigkeiten, wie zum Beispiel Schaltpläne lesen können, eine Anlage als ganzes System zu verstehen oder Soll- und Ist-Zustände von Anlagen zu erfassen, die notwendig sind, um eine vollständige Fehlerdiagnose durchführen zu können, so wie Proband D3 herausstellt:

„Man muss Zeichnungen lesen können. Man muss die Anlagen verstehen. Nur wenn man weiß, wie der Sollwert ist, kann man den letztendlich auch am Istwert spiegeln. Wenn ich jetzt dem Schüler nur ein Messgerät gebe und der misst irgendeinen Wert, bringt es gar nichts, sondern er muss wissen, wie wäre es richtig. Wenn er diese Kompetenz hat, dann kann er auch den Fehler finden.“ (D3, 11)

Dabei spielt die Anwendung von Systemverständnis, um komplexe Systeme in Teilsysteme zerlegen zu können, und das Verständnis von Funktionszusammenhängen für eine erfolgreiche Fehlerdiagnose eine wichtige Rolle:

„Sie müssen auf jeden Fall komplexe Systeme gedanklich zerlegen können. Und müssen gucken, wo diese komplexen Systeme zueinander, also diese Einzelkomponenten zueinander Schnittstellen haben, sodass sie immer die Funktion des einzelnen Teilsystems bis zur Schnittstelle nachvollziehen können und das andere

ebenfalls auch bis zur Schnittstelle, sodass man dann also gucken kann. Funktioniert das System an sich und hat die Übergabe von Informationen zum Beispiel nicht geklappt oder gab es im System Probleme? Also so kann man dann halt besser, meiner Meinung nach, eingrenzen und kann dann eben suchen. Ist es eine rein mechanische Geschichte oder geht es halt in die steuerungstechnischen Sachen?“ (D7,14)

Im Bereich der notwendigen Kompetenzen wird das systematische Vorgehen über die einzelnen Fachrichtungen hinweg besonders häufig genannt. Allerdings nimmt das Systemverständnis und das Beherrschen der einzelnen Schritte der Fehlersuche mit jeweils 25% und 22% einen noch höheren Stellenwert für die Lehrenden und Auszubildenden im Bereich der Metalltechnik ein, als im Bereich der Elektrotechnik mit jeweils 9% an der Gesamtheit aller Nennungen von notwendigen Kompetenzen.

Tabelle 1: Kode-Häufigkeiten und Gewichtung der Nennungen innerhalb eines Berufsbereichs in der Kategorie „notwendige Kompetenzen“.

Kode „notwendige Kompetenzen“	Häufigkeit Nennungen Gesamt (in %)	Nennungen Elektroberufe (Gruppengewichtung in %)	Nennungen Metallberufe (Gruppengewichtung in %)
Systematisches Vorgehen	24 (21%)	10 (17%)	14 (25%)
Schritte der Fehlersuche beherrschen	18 (16%)	4 (9%)	14 (25%)
Systemverständnis	17 (15%)	5 (9%)	12 (22%)
Umgang mit Messgeräten	16 (14%)	11 (19%)	5 (9%)
Eigenständigkeit	9 (8%)	6 (10%)	3 (5%)
Pläne und technische Unterlagen nutzen	8 (7%)	7 (12%)	1 (2%)
Interpretationsfähigkeit	5 (4%)	4 (7%)	1 (2%)
Fehler erklären	4 (4%)	1 (2%)	3 (5%)
Fehlerdiagnosesysteme nutzen	4 (4%)	4 (7%)	0 (0%)
Vorschriften kennen	3 (3%)	1 (2%)	2 (4%)
Mathematische Kenntnisse anwenden	2 (2%)	2 (3%)	0 (0%)
Sichtprüfungen fachgerecht durchführen	1 (1%)	1 (2%)	0 (0%)
Soziale Kompetenz	1 (1%)	1 (2%)	0 (0%)
Umgang mit Werkzeugen	1 (1%)	1 (2%)	0 (0%)

Anmerkung: Es werden die Häufigkeit und Anteile der Nennungen in Prozent im Durchschnitt für alle Befragten und separat für die Befragten der Metallberufe und der Elektroberufe dargestellt. Die Prozentangaben der Berufsbereiche beziehen sich auf die Gewichtung innerhalb des Bereichs. Prozentangaben für den Anteil der Nennungen an allen Nennungen innerhalb einer Kategorie aufgerundet auf volle Prozentzahlen.

2.4.2 Bedarf zum Trainieren der Fehlerdiagnose

Die Befragten gaben am häufigsten an, dass ihnen Ressourcen fehlen, die es ihnen ermöglichen in der Praxis reale Abläufe nachzustellen, wie zum Beispiel vollständige Anlagen oder bestimmte Materialien. Daher sind zum Teil nur sehr einfache technische Systeme (Wasserkocher, Fahrradbeleuchtung) im Unterricht umsetzbar:

„Was ich mir wünsche sind Lernträger, also Anlagen, die länger in der Ausbildung benutzt werden können, die sie vielleicht schon im ersten Lehrjahr kennenlernen. Vielleicht einen ganz kleinen Teilaspekt, den man sich rausgreift. Aber wo sie dann ihre gesamte Ausbildung immer wieder andere Aspekte kennenlernen und der Komplexitätsgrad der Aufgaben gesteigert werden kann. Sie kennen die Anlage schon. Da spart man ja Unterrichtszeit, wenn man nicht immer wieder erklären muss, was ist jetzt hier besonders und so weiter und so fort. Da kommt dann alles, was man in Elektrotechnik wissen muss in irgendeiner Art und Weise drin vor. Da kann man gucken, wie kann man da Lernsituationen rausgreifen, mit steigenden Schwierigkeitsgraden, die man so freischalten könne. Und dann im dritten Lehrjahr, da geht es dann um die Einführung von Generatoren, Maschinen.“ (D28, 23)

Dabei böten reale Anwendungsbeispiele insbesondere auch für das Vermitteln sehr komplexer Sachverhalte motivationsfördernde Möglichkeiten:

„Und eigentlich sind die Inhalte, die sind eher eine Herausforderung für die Lehrkräfte. Die nämlich so anzubieten und in einen Zusammenhang zu stellen, dass das für die Auszubildenden erkennbar ist. Und wenn sie denn Sinn und Bedeutung erkennen, dann sind sie auch bereit, auch mal kompliziertere Sachverhalte, abstraktere Inhalte irgendwie aufzunehmen.“ (D15, 6)

Die Befragten bemängeln auch, dass das didaktische Vorgehen beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz nicht vorgegeben ist, und entsprechendes Unterrichtsmaterial fehlt, um die Fehlerdiagnosekompetenz gezielt zu schulen, wie die Probanden D7 und D5 berichten:

„Und so grenzt man dann den Fehler entsprechend ein. Das ist aber eine reine auf Vorstellungskraft bedachte Geschichte. Es gibt kaum Material zu sowas, schon gar kein wirklich aufbereitetes Unterrichtsmaterial. Und von daher versuche ich dann an einem Beispiel wirklich erstmal die Zerlegung einer komplexen Anlage in Funktionseinheiten zu erklären.“ (D7, 13)

„Das fällt mir sehr schwer, da Inhalte zu finden oder Situationen zu finden, wo wir wirklich Analyse durchgeführt haben. Und ich denke, so etwas wie eine Fehleranalyse taucht momentan im Unterricht noch nicht auf.“ (D5, 10)

Es wird auch kritisiert, dass Fehlerdiagnose nicht als konkrete Methode vermittelt wird:

„Bei jeder Nutzung irgendwie fördert man die Kompetenzen auch der Fehleranalyse. Und das macht der eine Lehrer mehr, der andere weniger. Aber es gibt nicht den Unterrichtsblock, wo man Kompetenzen der Fehleranalyse unterrichtet. Das geht nicht, sondern man kann nur durch das, was man tut, Kompetenzen fördern. Und wenn man gerne und oft diese Fehlerszenarien irgendwie nutzt, dann fördert man dadurch auch die Kompetenzen besser.“ (D15, 23)

Didaktisches Vorgehen, fehlende Ressourcen in Form von Material und Werkzeugen sowie die Möglichkeit reale Szenarien und Gefahrensituationen trainieren zu können, scheint für den Bereich Elektrotechnik als auch Metalltechnik von hoher Bedeutung zu sein mit jeweils 24% aller Nennungen im Bereich Elektrotechnik und 29% aller Nennungen im Bereich Metalltechnik. Ein höherer Bedarf Gefahrenszenarien in der Erstausbildung zu trainieren, war allerdings im Verhältnis für die Befragten aus dem Bereich Elektrotechnik mit 22% Anteil aller Nennungen wichtiger als für die Befragten der Metalltechnik mit 10% Anteil aller Nennungen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Häufigkeiten und Angaben in Prozent der Kodes aus der Kategorie „Bedarf“.

Kode „Bedarf“	Häufigkeit Nennungen Gesamt (in %)	Nennungen Elektroberufe (Gruppengewichtung in %)	Nennungen Metallberufe (Gruppengewichtung in %)
Ressourcen Material/Anlagen	32 (25%)	20 (24%)	12 (29%)
Ansätze zum didaktischen Vorgehen	23 (18%)	14 (17%)	9 (22%)
Möglichkeit Gefahren zu trainieren	22 (17%)	18 (22%)	4 (10%)
Möglichkeit reale Szenarien umzusetzen	21 (17%)	11 (13%)	10 (23%)
Institutionelle Ressourcen	13 (10%)	10 (12%)	3 (7%)
Digitale Medien	4 (3%)	2 (2%)	2 (5%)
Möglichkeiten zum individuellen Arbeiten	4 (3%)	2 (2%)	2 (5%)
Praxis Theorie Bezug	2 (2%)	2 (2%)	0 (0%)
Möglichkeiten zum selbstständigen Arbeiten	2 (2%)	2 (2%)	0 (0%)
Wiederholungen ermöglichen	2 (2%)	1 (1%)	1 (2%)
Aus Fehlern Lernen	1 (1%)	1 (1%)	0 (0%)

Anmerkung: Es werden die Häufigkeit und Anteile der Nennungen in Prozent im Durchschnitt für alle Befragten und separat für die Befragten der Metallberufe und der Elektroberufe dargestellt. Die Prozentangaben der Berufsbereiche beziehen sich auf die Gewichtung innerhalb des Bereichs. Prozentangaben für den Anteil der Nennungen an allen Nennungen innerhalb einer Kategorie aufgerundet auf volle Prozentzahlen.

2.4.3 Motivation von Auszubildenden zur Auseinandersetzung mit Unterrichtsinhalte

In der Kategorie „Motivation hoch“ gaben die Befragten am häufigsten an, dass die Auszubildenden dann besonders motiviert seien, wenn sie im Unterricht praktische Tätigkeiten verrichten dürften, gefolgt von der Arbeit an realen Bauteilen oder mit realen Werkzeugen. Auch selbstständige Tätigkeiten, welche die Auszubildenden eigenständig durchführen, erhöhen im Unterricht nach Angaben der Befragten die Motivation (siehe Tabelle 3). So äußert sich zum Beispiel Proband D6:

„Alles, was praktisch unterlegt ist, kommt gut an. Wo sie sich also selbsttätig zeigen können. Dann, wo allgemein Freiraum besteht, Handlungen durchzuführen und alles, was spielerisch geht, habe ich festgestellt, erzeugt auch bei Leuten Spaß, die sonst eher zurückhaltend sind.“ (D6,1)

Weiterhin sei es hilfreich, den Kontext zum Beruf herzustellen sowie die Theorie in die Praxis zu übertragen. So berichtet Proband D1:

„Alles das, was sich tatsächlich mit Lernsituation auseinandersetzt, die reale Abbilder haben, also: im Labor, direkt an Geräten. Das sind alles Sachen, die sie eigentlich inhaltlich gerne machen und wo sie einen guten Zugang zu haben.“ (D1,5)

Das Ausführen praktischer Tätigkeiten scheint dabei besonders für die Fachrichtungen der Elektrotechnik relevant zu sein, während im Bereich der Metalltechnik auch das Hantieren an realen

Bauteilen bzw. mit realen Werkzeugen einen höheren Stellenwert einnimmt. Die Möglichkeit selbstständig zu arbeiten scheint für die Auszubildenden fachbereichsübergreifend motivierend zu sein.

Tabelle 3: Häufigkeiten und Angaben in Prozent der Codes aus der Kategorie „Motivation hoch“.

Kode "Motivation hoch"	Häufigkeit Nennungen Gesamt (in %)	Nennungen Elektroberufe (Gruppengewichtung in %)	Nennungen Metallberufe (Gruppengewichtung in %)
Praktische Tätigkeit	31 (28%)	19 (34%)	12 (23%)
Reale Bauteile/Werkzeuge	18 (16%)	8 (14%)	11 (21%)
Selbstständige Tätigkeit	18 (16%)	10 (18%)	8 (15%)
Berufskontext	13 (12%)	7 (13%)	6 (11%)
Theorie Übertrag Praxis	11 (10%)	6 (11%)	5 (9%)
Reale Fehler	10 (9%)	2 (4%)	8 (15%)
Abwechselnde Inhalte	3 (3%)	1 (2%)	2 (4%)
Direktes Feedback	2 (2%)	1 (2%)	1 (2%)
Spielerisch	2 (2%)	0 (0%)	0 (0%)
Detektiv-Charakter	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
Niedriges Abstraktionsniveau	1 (1%)	1 (2%)	0 (0%)
Prüfungsorientiert	1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
Teamarbeit	1 (1%)	1 (2%)	0 (0%)

Anmerkung: Es werden die Häufigkeit und Anteile der Nennungen in Prozent im Durchschnitt für alle Befragten und separat für die Befragten der Metallberufe und der Elektroberufe dargestellt. Die Prozentangaben der Berufsbereiche beziehen sich auf die Gewichtung innerhalb des Bereichs. Prozentangaben für den Anteil der Nennungen an allen Nennungen innerhalb einer Kategorie aufgerundet auf volle Prozentzahlen.

Wiederum weniger motivierend sei es, wenn sich die Auszubildenden ausschließlich mit der Theorie beschäftigen müssten. Hinzu kommen eine geringe Motivation bei mathematischen oder physikalischen Fragestellungen sowie Aufgabenstellungen, die einen komplexen Zusammenhang beinhalten. Proband D1 führt z.B. an:

„Dinge, die nur theoretisch sind, da haben sie einen schwierigen Zugang. Gerade was mathematisch physikalische Grundlagen sind, die zum einen vergessen wurden oder aber vielleicht in der Schule nicht ausreichend vermittelt wurde.“ (D1,2)

Für D7 sind es auch fehlende mathematische Kenntnisse, die den Auszubildenden Schwierigkeiten bereiten:

„Was insgesamt unheimlich schwerfällt, sind Berechnungen, wo ich manchmal das Gefühl habe, wo einfach die Basis fehlt. Also wenn dort das nicht genauso in der Aufgabenstellung steht, da gibt's keinen Weg, eine Gleichung gedanklich umzustellen oder zu gucken, welche Komponenten habe ich denn, welche passenden zusammen? Und das ist sowohl Mechanik als auch in der Elektrik, wo ich mir mal sagen, dass es doch total einfach, Widerstände zusammenzufassen. Nein, ist es nicht. Also, rechnen geht gar nicht.“ (D7,6)

Auch D24 bemängelt fehlendes Basiswissen in Zusammenhang mit einer geringen Motivation von Auszubildenden:

„Die Theorie. Theorie ist immer ein Knackpunkt. Formeln, Berechnungen, Mathematik. Da fehlen eben bei vielen die Grundkenntnisse.“ (D24,2)

Auch, wenn die Aussagen zur Kategorie „Motivation niedrig“ eher gering ausfielen im Vergleich zu den anderen Kategorien, berichten die Lehrenden, dass bei der Auseinandersetzung mit mathematischen bzw. physikalischen Grundlagen oder Theorie die Motivation seitens der Auszubildenden gering sei (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Häufigkeiten und Angaben in Prozent der Codes aus der Kategorie „Motivation niedrig“.

Kode "Motivation niedrig"	Häufigkeit Nennungen Gesamt (in %)	Nennungen Elektroberufe (Gruppengewichtung in %)	Nennungen Metallberufe (Gruppengewichtung in %)
Theorie	14 (37%)	7 (41%)	7 (35%)
Mathe und Physik	10 (26%)	5 (29%)	5 (25%)
Komplexe Zusammenhänge	8 (21%)	4 (24%)	4 (20%)
Fehlende Identifikation	3 (8%)	0 (0%)	3 (15%)
Lesen	2 (5%)	1 (6%)	1 (5%)
Interdisziplinarität	1 (3%)	0 (0%)	1 (5%)

Anmerkung: Es werden die Häufigkeit und Anteile der Nennungen in Prozent im Durchschnitt für alle Befragten und separat für die Befragten der Metallberufe und der Elektroberufe dargestellt. Die Prozentangaben der Berufsbereiche beziehen sich auf die Gewichtung innerhalb des Bereichs. Prozentangaben für den Anteil der Nennungen an allen Nennungen innerhalb einer Kategorie aufgerundet auf volle Prozentzahlen.

2.4.4 Herausforderungen beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz

Bei den Herausforderungen in der Unterrichtung der Fehlerdiagnosekompetenz wurden vor allem Fähigkeiten benannt, die den Auszubildenden fehlen, um die Fehlerdiagnosekompetenz zu erlernen (siehe Tabelle 5). Dazu zählt mit den meisten Erwähnungen unter den Befragten, das systematische Vorgehen, das die Auszubildenden nicht beherrschen würden, um eine Fehlerdiagnose durchzuführen. Darüber hinaus berichten die Befragten auch von Schwierigkeiten der Auszubildenden bei der Erfassung eines technischen Systems. Sie sind dabei, aufgrund des fehlenden Systemverständnisses, beispielsweise nicht in der Lage die Fehlermeldung eines Bauteils bezogen auf

seine Auswirkungen und Abhängigkeiten im System zu bedenken. Proband D1 und D20 beschreiben diesen Umstand an zwei Beispielen:

„Der Knackpunkt ist, dass sie sozusagen nicht systematisch vorgehen. Es fehlt die Systematik. Wenn eine Alarmmeldung kaputt ist, dann wird natürlich erst einmal versucht, die Anlage abzuschalten, aber genau zu gucken, wenn da eine Leitungsunterbrechung ist, ist da nicht die ganze Anlage kaputt und da muss auch nicht gleich erstmal die ganze Platine getauscht werden, sondern, dass man systematisch Stück für Stück guckt, wie prüfe ich mit meinem Messinstrument oder mit meinen Messgeräten, die spezifisch sind für die Anlage.“ (D1,16)

„Fehlersuche mit einem Messgerät. Wenn irgendwo eine Lampe nicht geht, dann kann das ja daran liegen, dass das Leuchtmittel kaputt ist, das irgendwo der Sicherungs-Automat ausgeschaltet ist, dass irgendwo eine Klemmstelle nicht in Ordnung ist und dann diesen Suchpfad zu bewerkstelligen, also im Prinzip von der Quelle beginnend bis zum letzten Betriebsmittel, die Anlage strukturiert durchzumessen. Dazu sind die nicht in der Lage. Da messen sie mal an der Lampe. Dann messen sie mal in der Mitte drin und messen vor allen Dingen Dinge, die mit der Fehler-Geschichte gar nichts zu tun haben. Das ist ärgerlich.“ (D20, 9)

Auch Proband D20 bemängelt das fehlende strategische Vorgehen bei der Suche nach einem möglichen Fehler in Anlagen:

„Warum, kann ich nicht sagen, aber einfach die logische Vorgehensweise. Die haben heutzutage keine Strategie mehr. Die messen an verschiedensten Stellen willenlos in der Gegend rum, ohne genau zu wissen, was sie da machen, in der Hoffnung, dass irgendwo der Fehler auf sich aufmerksam macht.“ (D20, 8)

Weitere Herausforderungen seien Schwierigkeiten aufgrund von fehlenden Mathematikkenntnissen bzw. fehlender Lesekompetenz. Auch die Interpretation von Messwerten sei für viele der Auszubildenden mit Schwierigkeiten verbunden, wie D27 berichtet:

„Messaufgaben sind immer schwierig, weil es zwar praxisorientiert ist, allerdings man ermittelt einen Messwert praktisch, muss ihn aber theoretisch auswerten. Und da tun sie sich schwer. Das kennt man vielleicht noch aus der Schule, wenn man einen Graphen erstellen sollte. Dann hat man irgendwelche Werte errechnet und sollte dann den Graphen nachzeichnen. Also den Graphen zeichnen ist manchmal ganz schön, aber die Werte berechnen ist dann das Problem. Und hier ist es so, man ermittelt die Werte und muss dann schauen, ist das gut oder ist es das nicht gut. Und wenn der Wert nicht gut ist, denken sie: aber es funktioniert doch, das ist doch in Ordnung, was ich gemacht habe. [...] Einfach nicht diese Verknüpfung ziehen können, wir haben hier einen Messwert, wenn er 1 ist, ist er gut, wenn er 5 ist, ist es nicht gut -> warum ist das so? Wenn sie das verstanden haben, dann klappt es super, wenn sie es nicht verstanden haben, dann klappt es gar nicht. Das ist aber auch das schwierigste, das wir haben, diese Messtechnik. Das ist schwer zu üben.“ (D27, 5)

Während das systematische Vorgehen von den Lehrenden im Bereich Elektrotechnik mit Abstand am häufigsten genannt wurde (34%) nahm das Erfassen eines Gesamtsystems bei Lehrenden der Metalltechnik mit 25% einen noch höheren Stellenwert als das Systematische Vorgehen mit 22% ein.

Tabelle 5: Häufigkeiten und Angaben in Prozent der Codes aus der Kategorie „Herausforderungen“.

Kode "Herausforderungen"	Häufigkeit Nennungen Gesamt (in %)	Nennungen Elektroberufe (Gruppengewichtung in %)	Nennungen Metallberufe (Gruppengewichtung in %)
Systematisches Vorgehen	38 (28%)	24 (34%)	14 (22%)
Ganzes System Erfassen/ Systemverständnis	25 (19%)	9 (13%)	16 (25%)
Mathematikkenntnisse	17 (13%)	7 (10%)	10 (15%)
Umgang mit Messinstrumenten	15 (11%)	9 (13%)	6 (9%)
Konzentration	8 (6%)	2 (3%)	6 (9%)
Lesekompetenz	7 (5%)	6 (9%)	1 (2%)
Fachwissen	6 (8%)	2 (3%)	4 (6%)
Interpretationsfähigkeit	6 (8%)	5 (7%)	1 (2%)
Physikkenntnisse	5 (4%)	1 (1%)	4 (6%)
Selbstständiges Arbeiten	5 (4%)	4 (5%)	1 (2%)
Werkzeuge fachgerecht nutzen	4 (3%)	3 (4%)	1 (2%)
Schutzmaßnahmen beachten	2 (1%)	1 (1%)	1 (2%)
Fingerfertigkeit	1 (1%)	1 (1%)	0 (0%)

Anmerkung: Es werden die Häufigkeit und Anteile der Nennungen in Prozent im Durchschnitt für alle Befragten und separat für die Befragten der Metallberufe und der Elektroberufe dargestellt. Die Prozentangaben der Berufsbereiche beziehen sich auf die Gewichtung innerhalb des Bereichs. Prozentangaben für den Anteil der Nennungen an allen Nennungen innerhalb einer Kategorie aufgerundet auf volle Prozentzahlen.

2.4.5 Sonstige Auffälligkeiten: Nennung von Praxisbeispielen

Bei der Durchführung der Interviews wurden außerdem Szenarien benannt, bei denen die Befragten die Fehlerdiagnose im Unterricht in der Regel thematisieren:

- Schaltung aufbauen (Elektroniker/-in Betriebstechnik)
- Inbetriebnahme einer Umverteilung (Elektroniker/-in Betriebstechnik)
- Durchmessen von Bauelementen (Elektroniker/-in IT)
- Schweißfolgepläne (Konstruktionsmechaniker/-in)
- Pneumatikstrecken (Konstruktionsmechaniker/-in)
- Reihenschaltung, Verdrahtung (Elektroberufe)

Die genannten Beispiele zeigen, dass die Fehlerdiagnosekompetenz in erster Linie anhand von, für den Unterricht aufbereiteten Szenarien erfolgt. Grundlage dafür sind beispielsweise für die

Ausbildung entwickelte Trainingssysteme, Panels mit Steckmodulen und Steckverdrahtung, Hydraulikwände, welche alle die Praxis lediglich eingeschränkt nachbilden. Einsatz finden darüber hinaus maximal einzelne Bauelemente, anstatt komplexe technische Anlagen.

3 Diskussion und Limitation

Die bereits seit 20 Jahren bemängelte Fehlerdiagnosekompetenz von Auszubildenden kann auch im Rahmen der durchgeführten Interviews bestätigt werden. Wie angenommen berichten die Befragten über große Probleme von Auszubildenden, wenn es an das Erlernen von Fähigkeiten für die Fehlerdiagnose geht. Die Fehlerdiagnosekompetenz wird durch die befragten Lehrkräfte insgesamt als gering eingeschätzt. Es bestehen konkrete Defizite bei einem systematischen Vorgehen bei der Fehlersuche, beim Schaffen eines Systemverständnisses, in der korrekten Handhabung von Messinstrumenten, beim Auswerten von Daten und dem Hinzuziehen von Schaltplänen oder anderen technischen Dokumentationen. Die Ergebnisse legen weiterhin nahe, dass die hemmenden Faktoren beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz von Auszubildenden ein komplexes Zusammenspiel von fehlenden motivierenden Unterrichtsmaterialien, kaum vorhandenen Fortbildungskonzepten für Lehrkräfte zu dem Thema (vgl. Schäfer & Walker 2018) sowie fehlenden realen technischen Anlagen als Objekt zur Fehlerdiagnose in den Bildungseinrichtungen ist. Die erfassten hemmenden Einflussfaktoren (messtechnische Fertigkeiten, systematisches Vorgehen, Systemverständnis, Ursache-Folge-Verständnis defekter und intakter Bauelemente und deren Zusammenwirken) bestätigen die von Geißel und Hedrich (2011) identifizierten vier kognitiven Barrieretypen der Fehlerdiagnose (fachlich, methodisch, mental- und kausalrelativ sowie motivational).

Es scheinen in der Regel auch nur begrenzt Mittel oder Möglichkeiten an den Bildungseinrichtungen zur Verfügung zu stehen, genau diese Kompetenzen praxisorientiert und damit motivationsfördernd auszubilden. Die Lehrkräfte und Auszubildenden bemängeln, dass didaktische Unterlagen zum Trainieren der Fehlerdiagnose kaum vorhanden seien und die Vorgehensweise daher von der einzelnen Lehrkraft abhängig ist. Ein klares Vorgehen oder etablierte Prozedere zur Vermittlung der Fehlerdiagnosekompetenz im Rahmen der Ausbildung wären allerdings eine wichtige Grundlage, um ebendiese Kompetenz bei den Auszubildenden zu fördern. Das systematische Vorgehen bei der Fehlerdiagnose scheint demnach noch nicht ausreichend didaktisch aufbereitet für die Unterrichtspraxis zur Verfügung zu stehen. Es fehlt an entsprechenden didaktischen Mitteln und Möglichkeiten, die Kompetenz zu erlangen, vom ersten Symptom ausgehend, eine Diagnose zu erstellen. Künftige Forschungsvorhaben könnten sich daher auf die Konzeption von effektiven Materialien und eine didaktische Einbettung fokussieren, um diesen Mangel, der nach wie vor zu einer defizitären Fehlerdiagnosekompetenz zu führen scheint, genauer zu untersuchen und im besten Fall diese Lücke zu schließen.

Anhand der getätigten Aussagen wird darüber hinaus deutlich, dass eine höhere Verfügbarkeit von realen Maschinen und damit auch das Trainieren an realen Szenarien der beruflichen Praxis die Fehlerdiagnosekompetenz fördern könnte. Da es den Auszubildenden neben dem systematischen Vorgehen bei der Analyse eines Fehlers auch schwerfällt, das ganze System einer Anlage oder einer Maschine zu erfassen, könnte die Arbeit an realen Maschinen, diesen Zusammenhang leichter herstellen. Gleichzeitig erhöhe die Arbeit an realen Maschinen mit einem klaren Bezug zur beruflichen Praxis auch die Motivation der Auszubildenden. So berichten die Befragten, dass die Auszubildenden dann besonders motiviert seien, sich Inhalte zu erarbeiten, wenn dabei praktische Tätigkeiten im Vordergrund stehen und sie eigenständig arbeiten können.

Darüber hinaus wird anhand der Kodierung deutlich, dass Nennungen sich wiederholen bzw. überschneiden. So wird zum Beispiel die Lesekompetenz im Zusammenhang mit fehlender Motivation und als Problemlage diskutiert. Hier ist zu vermuten, dass dort, wo Auszubildende eine defizitäre Lesekompetenz haben, die Motivation gering ist entsprechende Aufgabenstellungen, welche diese Kompetenz erfordert, zu trainieren. Ähnliche Dopplungen sind auch bei der für die Fehlerdiagnosekompetenz relevante Fähigkeit des systematischen Vorgehens zu beobachten. Zum einen wird das systematische Vorgehen als notwendige Kompetenz benannt, um die Fehlerdiagnosekompetenz ausreichend zu beherrschen, zum anderen wird das systematische Vorgehen als für die Auszubildenden herausfordernd beschrieben. Anhand der Interviews lässt sich allerdings nicht abschließend beantworten, warum diese Lücke nicht geschlossen werden kann. Es lässt sich nur vermuten, dass die ebenfalls dokumentierte defizitäre Verfügbarkeit von didaktischem Material zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz ein Grund dafür sein könnte, dass Auszubildende das systematische Vorgehen nicht angemessen üben können. Gleichzeitig könnte das systematische Vorgehen auch ein für die Auszubildenden neues und anspruchsvolles Erfahrungsfeld sein, dass mehr intensiver Übung Bedarf als vergleichbare anderen Kompetenzen.

Aufgrund der kleinen Stichprobe sind die Aussagen nicht generalisierbar. Sie liefern allerdings einen aktuellen und tieferen Einblick in die subjektive Erfahrungswelt beim Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz aus Sicht von Lehrenden und Auszubildenden im Bereich der Elektro- und Metalltechnik an berufsbildenden Schulen und überbetrieblichen Ausbildungsstätten. Die durch die Lehrenden berichteten Teilkompetenzen, motivationsförderlichen und –hemmenden Faktoren bieten eine gute Wissensgrundlage für die Entwicklung benötigter didaktischen Materialien und Konzepte. Im Folgenden wird daher darauf eingegangen, wie die Erkenntnisse in die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Training der Fehlerdiagnosekompetenz in VR aufgegriffen werden könnten.

4 Implikationen für die Gestaltung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR

In der Erstausbildung von Berufen im Bereich der Metall- und Elektrotechnik sollte das Üben und Ausprobieren an realen Maschinen ein zentraler Bestandteil sein. VR-Technologie bietet hier im Vergleich zu Reallaboren ein Lernen im geschützten Raum, in welchem auch Gefahr für Mensch und Anlage, z. B. elektrische Körperdurchströmung oder Gefahr durch hohe Drücke von Hydraulikleitungen vermieden werden. Darüber hinaus bietet der Einsatz von VR-Technologie auch wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu Reallaboren, da VR-Brillen (sog. Head-Mounted-Displays) mittlerweile sehr kostengünstig von berufsbildenden Schulen oder betriebliche Ausbildungsstätten bezogen werden können. So können zum Beispiel die Anschaffungen teurer Geräte, wie Simulationsgondeln für Ausbildungszwecke in der Windenergietechnik, durch den Einsatz von VR-Technologie drastisch reduziert werden.

Die Ergebnisse der qualitativen Untersuchung geben nun Anlass zu der Frage, inwiefern sie Implikationen für die Gestaltung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR zulassen. Die Erhebung hat gezeigt, dass insbesondere der Realitäts- und Praxisbezug, als ein bedeutender motivationaler Faktor, die Auseinandersetzung mit der Fehlerdiagnose bei Auszubildenden in der Elektro- und Metalltechnik fördern kann. Die dargelegten Hemmnisse im Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz im Bereich der Elektro- und Metalltechnik legen nahe, es Auszubildenden zu ermöglichen, das systematische Vorgehen an einem vollständigen System trainieren zu können. VR-Lernanwendungen hat das Potenzial diesem Anspruch

gerecht zu werden. Denn ein Nachteil in Schulen und Ausbildungsstätten ist, dass die Fehlerdiagnosekompetenz nur beschränkt an realen Maschinen trainiert werden, da entweder die Gefahren für die Auszubildenden zu hoch sind oder nicht ausreichend geeignete technische Anlagen vorhanden sind bzw. nur Einzelbauteile und keine Gesamtsysteme. Darüber hinaus fehle es in den Unternehmen an ausreichend Gelegenheiten, um den jungen Fachkräften das systematische Vorgehen in zeitkritischen Aufträgen zu ermöglichen, da häufig das Austauschen von defekten Maschinenteilen kosten- und zeitsparender ist.

Als Anwendungsfeld für das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz lässt sich demnach ableiten, eine vollständige Anlage abzubilden und die Fehlerdiagnosekompetenz an einem realen Fehlerszenario zu trainieren. Als erste Implikationen sollten daher folgende Aspekte in einem methodisch-didaktischen Konzept Berücksichtigung finden:

- Hantieren mit realen Werkzeugen,
- Risikofreies Erproben des strategischen Vorgehens (Zeit, Kosten, Gefahr),
- Eigenständiges Arbeiten,
- Verstehen komplexer Zusammenhänge durch beispielsweise aufbereitete Darstellung der Funktionsweise der Anlage,
- Spielerische Anreize,
- Kommunikation/ Teamarbeit,
- Zeitgleiche Einsatzmöglichkeit für komplette Lerngruppen/Klassenverbände.

Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob das „Messen“ und auch die Fähigkeit zum Lesen und Interpretieren von Schaltplänen bzw. Hydraulikplänen eine wichtige Rolle im Konzept einnehmen können. Auch die erhobenen hemmenden Faktoren sollten Beachtung bei der Entwicklung des methodisch-didaktischen Konzeptes finden. So ist es das Ziel die Möglichkeiten der VR zu nutzen, um beispielsweise die Vermittlung von Fachwissen sowie die Interpretationsfähigkeit der Auszubildenden zu fördern sowie mangelnder Konzentration und Lesekompetenz entgegenzutreten. Gleichzeitig könnte ein Begleitmaterial den Lehrenden und Auszubildenden Hilfestellung zum Einsatz der VR-Anwendung im Unterricht mit dem Verweis auf Rahmenlehrpläne und Ausbildungsordnungen der relevanten Ausbildungsberufe liefern.

Im nächsten Schritt wird im Rahmen des Forschungsvorhabens MARLA in einem methodisch-didaktischen Konzept eine konkrete Aufgabenstellung entwickelt. Dazu gehört u.a. die Auswahl eines konkreten Fehlers, die Gestaltung von Interaktionen und eine zu Grunde liegende Lerntheorie, um das Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR umzusetzen. In künftigen Publikationen ist geplant, dies ausführlich zu behandeln.

5 Fazit

Im Beitrag wurden hemmende und fördernde Faktoren des Trainierens der Fehlerdiagnosekompetenz in der Erstausbildung im Bereich elektro- und metalltechnischer Berufe aus Perspektive von 28 Lehrkräften und Auszubildenden genauer untersucht. Die Ergebnisse der Befragung bestätigen die vorhandenen Erkenntnisse zu einer in der Ausbildungspraxis nur unzureichend trainierten Fehlerdiagnosekompetenz. So fehlt es vor allem an Möglichkeiten, das systematische Vorgehen bei der Diagnose eines Fehlers zu trainieren. Auszubildende hätten nach wie vor Schwierigkeiten eine vollständige Anlage bzw. ein technisches System zu erfassen, oder auch die notwendigen Werkzeuge und Messinstrumente bei der Fehlerdiagnose systematisch zu verwenden. Gleichzeitig

wird von einer fehlenden Motivation seitens der Auszubildenden berichtet, sich mit den theoretischen Grundlagen der Fehlerdiagnosekompetenz auseinanderzusetzen. Darüber hinaus mangle es sowohl an entsprechend didaktischem Material als auch technischer Ausstattung, um die Fehlerdiagnosekompetenz angemessen im Unterricht trainieren zu können. Um die Fehlerdiagnosekompetenz zu fördern, werden vor allem das Trainieren an realen Systemen, das selbstständige Hantieren mit Werkzeugen sowie ein strategisches Vorgehen bei der Analyse benannt. Ziel sollte es also sein, eine in allen Schulen und Ausbildungsstätten einsetzbare Unterrichtskonzept zu entwickeln, das auf eine für die Auszubildenden motivierende Art und Weise System- und Strategiewissen für das Themenfeld Fehlerdiagnose vermittelt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden im Beitrag erste Implikationen für die Entwicklung eines methodisch-didaktischen Konzepts zum Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in VR herausgearbeitet. Dazu zählt zum Beispiel die Möglichkeit in VR reale Arbeits- und Gefahrensituationen an einem komplexen und vollständigen System zu simulieren oder auch das Hantieren mit realen Werkzeugen, risikofreies Erproben des strategischen Vorgehens oder auch das selbstständige Arbeiten. Die Implikationen werden in der weiteren Entwicklung der Aufgabenkonstruktion der VR-Lernanwendung im Forschungsvorhaben MARLA aufgegriffen. Informationen zum aktuellen Entwicklungsstand des Projekts finden sich unter <https://marla.tech>.

Literatur

- Abele, S., Walker, F. & Nickolaus, R. (2014). Zeitökonomische und reliable Diagnostik beruflicher Problemlösekompetenzen bei Auszubildenden zum Kfz-Mechatroniker. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28, 167–179.
- Becker, M. (2003): Diagnosearbeit im Kfz-Handwerk als Mensch-Maschine-Problem. Konsequenzen des Einsatzes rechnergestützter Diagnosesysteme für die Facharbeit. Dissertation. Bielefeld: W. Bertelsmann.
- Becker, M. (2009): Diagnose als Aufgabe in gewerblich-technischen Berufsfeldern. *lernen & lehren* (1&1) 24(95), 101-107.
- Benda, D. (2007): Wie sucht man Fehler in elektrischen Schaltungen? Fehlersuche mit Methode. Poing: Franzis Verlag.
- Branch, R. M. (2009): *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Boston, MA: Springer US.
- Bundesgesetzblatt (2007a). Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen vom 23. Juli 2007. Jahrgang 2007 Teil I Nr. 35, ausgegeben zu Bonn am 27. Juli 2007.
- Bundesgesetzblatt (2007b). Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Elektroberufen vom 24. Juli 2007. Jahrgang 2007 Teil I Nr. 36, ausgegeben zu Bonn am 30. Juli 2007.
- Bundesgesetzblatt (2008). Verordnung über die Berufsausbildung zum Elektroniker und zur Elektronikerin vom 25. Juli 2008. Jahrgang 2008 Teil I Nr. 32, ausgegeben zu Bonn am 30. Juli 2008.
- Bundesgesetzblatt (2011). Verordnung über die Berufsausbildung zum Mechatroniker und zur Mechatronikerin vom 21. Juli 2011. Jahrgang 2011 Teil I Nr. 39, ausgegeben zu Bonn am 29. Juli 2011.
- Bundesgesetzblatt (2018). Anlage 1, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 5. Juli 2018.
- Collins, A., Brown, J.S. & Newman, S.E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In L.B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- de Geus, K., Beê, R., Corrêa, V., Santos, R., Faria, A., Sato, E., Swinka-Filho, V., Miquelin, A., Scheer, S., Siqueira, P., Godoi, W., Rosendo, M. & Gruber, Y. (2020). Immersive Serious Game-style Virtual Environment for Training in Electrical Live Line Maintenance Activities. In *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU) – Volume 2*, 42-53.
- DIN 31051:2019-06, Grundlagen der Instandhaltung.
- Flick, U., Kardorff, E. von, & Steinke, I. (Hrsg.) (2010). *Rowohlt's Enzyklopädie. Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (8. Auflage). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.
- Früh, W. (2001). *Inhaltsanalyse. Theorie und Praxis* (5. Ausgabe). Uni-Papers. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft.

- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U. & Tecchia, F. (2015): Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. In *Interactive Learning Environments* 23(6), 778–798.
- Geißel, B. & Hedrich, M. (2011). Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern. In U. Faßauer, J. Aff, B. Fürstenau & E. Wuttke (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung und Professionalisierung: Perspektiven der Berufsbildungsforschung* (11-24). Opladen, Farmington Hills: Barbara Budrich.
- Hedrich, M., & Zinn, B. (2016). Entwicklung und formative Evaluation eines Konzepts zur Unterstützung des Transfers von Erfahrungswissen bei Servicetechniker mittels videofallbasiertem Lernen. *Journal of Technical Education (JOTED)* 4(3), 253–284.
- Hochholdinger, S. & Schaper, N. (2009). Diagnose-KIT: Eine E-Learning-Umgebung zur technischen Fehlersuche. In S. Kauffeld, Grote Sven & E. Frieling (Hrsg.), *Handbuch Kompetenzentwicklung* (351-365). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kapp, F., Kruse, L., Matthes, N., Spangenberg, P. (2019). AR –VR –MR? Success factors for immersive learning environments derived from an example of a learning application for the wind energy industry. In S. Schulze (Hrsg.), *Proceedings of DELFI Workshops* (130–143). Berlin: DELFI Workshops 16.09.2019.
- Kapp, F., Spangenberg, P., Schmuntzsch, U., Rötting, M. (2020). Potenziale von Augmented und Virtual Reality am Beispiel zweier Ausbildungsszenarien im Bereich Windkraftanlagen. In *Dokumentation des 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses. Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?*, Bd. 35. 66. Frühjahrskongress. Berlin, 6.03.-18.03.2020. Gesellschaft für Arbeitswissenschaften. Dortmund: GfA-Press.
- Kavanagh S., Luxton-Reilly A., Wuensche B. & Plimmer B. (2017): A systematic review of Virtual Reality in education. *Themes in Science and Technology Education* 10(2), 85–119. https://www.learntechlib.org/p/182115/article_182115.pdf, Stand vom 17.12.2020.
- KMK (2018a). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/Elektronikerin. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018.
- KMK (2018b). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/ Industriemechanikerin vom 25.03.2004 i.d.F. vom 23.02.2018.
- KMK (2018c): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 30.01.1998 i.d.F. vom 23.02.2018.
- Konradt, U. (1994). Handlungsstrategien bei der Störungsdiagnose an flexiblen Fertigungseinrichtungen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 38, 54–6.
- Link, N., Schäfer, P. & Walker, F. (2018). Der Cognitive Apprenticeship Ansatz - Eine Möglichkeit zur Förderung der Fehleranalysefähigkeit in mechatronischen Systemen. In S. F. Dietl, H. Schmidt, R. Weiß & W. Wittwer (Hrsg.), *Ausbilder-Handbuch. Aufgaben, Strategien und Zuständigkeiten für Verantwortliche in der Aus- und Weiterbildung (Aktualisierungslieferung Nr. 205, 131–152)*. Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst.
- Makransky, G., Wismer, P. & Mayer, R. E. (2019). A gender matching effect in learning with pedagogical agents in an immersive virtual reality science simulation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 349–358.
- Mayring, P. (2014). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen, Techniken, Software*. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssao-395173>, Stand vom 20.10.2020.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W. & Davis, T. J. (2014): Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. In *Computers & Education* 70, 29–40.
- Milgram, P., Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In *IEICE Transactions on Information System*, Vol. E77-D, (12), 1321-1329.
- Molzow-Voit, F., & Grantz, T. (2013). Inhalte beruflicher Facharbeit bei der Errichtung, Inbetriebnahme und Instandhaltung von Offshore-Windenergieanlagen. In M. Becker, A. Grimm, A. W. Petersen, & R. Schlausch (Eds.), *Kompetenzorientierung und Strukturen gewerblich-technischer Berufsbildung. Berufsbildungsbiografien, Fachkräftemangel, Lehrerbildung* (45–46). Berlin: Lit.
- Nepper, H.H. (2019). Die situierte Fehlersuche an elektronischen Schaltungen im Anschluss an den Cognitive Apprenticeship Ansatz. Eine empirische Untersuchung im technikbezogenen Unterricht der Sekundarstufe 1 zu differenziellen Effekten von methodischen Entscheidungen auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung. *Beiträge zur Technikdidaktik*. Bd. 5. Berlin: Logos.
- Nickolaus, R. (2018). Kompetenzmodellierung in der beruflichen Bildung- eine Zwischenbilanz. In J. Schlicht & U. Moschner (Hrsg.), *Berufliche Bildung an der Grenze zwischen Wirtschaft und Pädagogik. Reflexionen aus Theorie und Praxis* (255–282). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Nickolaus R., Güzel E., Zinn B. & Duffke G. (2018) Lebensphasenorientierte Förderung fachlicher und sozialer Kompetenzen angehender Servicetechniker/-innen – Ansätze und Effekte. In J. Hasebrook, B. Zinn & A. Schletz (Hrsg.) *Lebensphasen und Kompetenzmanagement. Kompetenzmanagement in Organisationen*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pletz, C. & Zinn, B. (2018). Technologieakzeptanz von virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen in technischen Domänen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(4), 86–105.
- Pfaffel, S., Berkhout, V., Faulstich, S., Kühn, P., Linke, K., Lyding, P., & Rothkegel, R. (2012). *Windenergie Report Deutschland 2011*. Kassel. http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/bilder/upload/Windreport_2011_de.pdf, Stand vom 20.10.2020.
- Schaafstal, A., Schraagen, J. M. & van Berlo, M. (2000). Cognitive Task Analysis and Innovation of Training: The Case of Structured Troubleshooting. *Human Factors*, 42, 75–86.
- Schaper, N. & Sonntag, K. (1997). Kognitive Trainingsmethoden zur Förderung diagnostischer Problemlösefähigkeiten. In K. Sonntag & N. Schaper (Hrsg.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen (Mensch, Technik, Organisation, Bd. 13, 193-210)*. Zürich: vdf.
- Schray, H. & Geißel, B. (2016). Cognitive Apprenticeship als Gestaltungsansatz für die Fehlersuche im allgemeinbildenden Elektrotechnikunterricht. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 4 (2), 151-170.
- Schwieters, N., Ull, T., & Meyer, R. (2012). Volle Kraft aus Hochseewind. PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (Hrsg.). <https://www.pwc-wissen.de/pwc/de/shop/13081250/Volle+Kraft+aus+Hochseewind/?card=32192> (Stand vom 22.02.2021), Stand vom 20.10.2020.
- Shafer, M. D., Carbonara, C. P., & Korpi, Michael, F. (2017). Modern Virtual Reality Technology: Cybersickness, Sense of Presence, and Gender. *Media Psychology Review*, 11(2), 1–13.
- Spangenberg, P., Kruse, L., Rötting, M., Kapp, F. (2019): A Mixed-Reality Learning Application to Experience Wind Engines for Beginner and Experts. In L. Elbæk (Hrsg.) *The proceedings of the 13th International Conference on Games Based Learning, ECGBL 2019*. Hosted by University of Southern Denmark, Odense, Denmark, 3-4 October 2019. 13th European Conference on Games Based Learning. Reading, UK: ACPI; Academic Publishing International Limited, 1042–1046.
- Stanney, K. M., Hale, K. S., Nahmens, I., & Kennedy, R. S. (2003). What to expect from immersive virtual environment exposure: Influences of gender, body mass index, and past experience. *Human Factors*, 45(3), 504–520.
- Stanney, K., Fidopiastis, C., & Foster, L. (2020). Virtual Reality Is Sexist: But It Does Not Have to Be. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 1–19.
- Stoll, C. (2019): Virtual Reality und Augmented Reality: Aktuelle Entwicklungen und deren Einsatz in Industrie, Handwerk und der beruflichen Bildung. In *Bildung und Beruf: Zeitschrift des Bundesverbandes der Lehrkräfte für Berufsbildung E.V.*, 166 – 172.
- Velten, S., Nitzschke, A., Nickolaus, R. & Walker, F. (2018). Die Fachkompetenzstruktur von Technikern für Elektrotechnik und Einflussfaktoren auf ihre Kompetenzentwicklung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(1), 201–222.
- Walker, F., Link, N., Mohr, F. & Schäfer, P. (2018). Entwicklung eines Fortbildungskonzepts auf Basis des Ansatzes zum technologisch-pädagogischen Inhaltswissen zu Industrie 4.0. *Lernen & Lehren*, 130, 53–59.
- Walker, F., Link, N., van Waveren, L., Hedrich, M., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Elektronikern für Automatisierungstechnik - Kompetenzdimensionen, Messverfahren und erzielte Leistungen (KOKO EA). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 32, 139–170)*. Bielefeld: Wbv.
- Walker, F., Link, N. & Nickolaus, R. (2015). Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 222–241.
- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 1(1), Art. 22. <https://doi.org/10.17169/fqs-1.1.1132>, Stand vom 20.10.2020.
- Zender, R., Sander, P., Weise, M., Mulders, M., Lucke, U. & Kerres, M. (2019). Action-oriented Learning in a VR Painting Simulator. *Proceedings of the 4th International Symposium on Emerging Technologies for Education*, 2019.
- Zinke, G., Schenk, H. & Kröll, J. (2014). *Ergebnisse einer Online Befragung zur Berufsfeldanalyse der industriellen Elektroberufe*. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung.

- Zinn, B., Güzel, E., Walker, F., Nickolaus, R., Sari, D. & Hedrich, M. (2015). ServiceLernLab - Ein Lern- und Transferkonzept für (angehende) Servicetechniker im Maschinen- und Anlagenbau. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 3(2), 116-149.
- Zinn, B. (2016). Virtuelle Lern- und Arbeitsumgebungen im Bezugfeld von Industrie 4.0. *Berufsbildung –Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* (159), 11–13.
- Zinn, B., Guo, Q., & Sari, D. (2016). Entwicklung und Evaluation der virtuellen Lern- und Arbeitsumgebung VILA. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 4(1), 98–125.
- Zinn, B., Nickolaus R. & Duffke, G. (2018): Lebensphasen und darauf bezogene Konzepte zur Förderung der Fach- und Sozialkompetenz. In J. Hasebrook, B. Zinn & A. Schletz (Hrsg.): *Lebensphasen und Kompetenzmanagement* (17-47). Berlin: Springer-Verlag.
- Zinn, B. (Hrsg.) (2020). *Virtual, Augmented und Cross Reality in Praxis und Forschung. Technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung: Theorie und Anwendung (Pädagogik)*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Zobel B., Werning S., Metzger D. & Thomas O. (2018): Augmented und Virtual Reality: Stand der Technik, Nutzenpotenziale und Einsatzgebiete. In *Handbuch Mobile Learning.*, 123-140. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-19123-8_7, Stand vom 26.01.2020.

NADINE MATTHES
Technische Universität Berlin
nadine.matthes@tu-berlin.de

KRISTINA SCHMIDT
Handwerkskammer Koblenz
kristina.schmidt@hwk-koblenz.de

MARKUS KYBART
Handwerkskammer Osnabrück-Emsland-Grafschaft Bentheim
m.kybart@hwk-osnabrueck.de

DR. PIA SPANGENBERGER
Technische Universität Berlin
pia.spangenberg@tu-berlin.de

Zitieren dieses Beitrags:

Matthes, N., Schmidt, K., Kybart, M. & Spangenberg, P. (2021). Trainieren der Fehlerdiagnosekompetenz in der Ausbildung. Qualitative Studie mit Lehrenden im Bereich Elektro- und Metalltechnik. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(1), 31–53.