Journal of Technical Education

Band 6, 2018, Heft 1

BERND GEIßEL (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg)
SANDRA FUNK (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg)

Vergleichende Analyse von Fehlersuchprozessen bei Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik in simulierten und realen Anforderungssituationen

Herausgeber

BERND ZINN
RALF TENBERG
DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)
ISSN 2198-0306
Online unter: http://www.journal-of-technical-education.de

JOURNAL OF TECHNICAL EDUCATION BAND 6, 2018, HEFT 1

BERND GEIßEL / SANDRA FUNK

Vergleichende Analyse von Fehlersuchprozessen bei Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik in simulierten und realen Anforderungssituationen

ZUSAMMENFASSUNG: Im Kontext neuerer Entwicklungen der Instrumentenkonstruktion zur Erfassung von (berufsfachlichen) Kompetenzen Auszubildender werden diverse Repräsentationsformen und Testformate erprobt. Für die Kompetenzfacette fachspezifischer Problemlösefähigkeit werden aktuell Computersimulationen als eine valide und zugleich praktikable Möglichkeit betrachtet. Primär wird dabei jedoch vereinfachend auf die Verwertung der Probandendaten im Sinne von Problem gelöst vs. nicht gelöst bzw. auch teilweise gelöst rekurriert und Prozessdaten der Problembearbeitung vernachlässigt oder ausgeblendet. Die vorliegende Studie untersucht in vergleichender Perspektive die Problemlöseschritte von Auszubildenden in der Automatisierungstechnik in Abhängigkeit der Repräsentationsform technischer Systeme. In einer qualitativen Studie mit N=15 Elektronikern wurde hierzu durch Videografie gewonnene Daten von Fehlersuchprozessen an identischen technischen Systemen, die einmal als Realanlagen sowie als Computersimulation präsentiert wurden, ausgewertet. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Fehlersuchprozesse abweichen und sich auch die Problembarrieren für die Auszubildenden in unterschiedlicher Weise ausprägen können. Die Befunde sprechen dafür, dass sich nur über hochauthentische Computersimulationen ggf. auch die Prozessmerkmale von Fehlersuchprozessen unabhängig von der Repräsentationsform ausbilden und somit für diagnostische Zwecke verwertbar werden.

Schlüsselwörter: Fehlersuche, Automatisierungstechnik, Simulation, Kompetenzerfassung

Comparative analyses of problem-solving processes of apprentices of automation engineering in reality and in computer-based simulation of reality

ABSTRACT: In the context of recent developments in test constructions concerning testing of (occupation-specific) competencies of apprentices, diverse test formats and test representation formats are being sampled. Computer-based simulations are viewed as valid and feasible arrangements to test occupation-specific problem-solving competencies. But, the test information generated from these settings are usually rather narrow, as a result of often simply looking at the test person´s ability to solve, partly solve or not solve a task; that means, the problem-solving processes are often unattended. The study presented in this paper investigates the problem-solving processes of apprentices of automation engineering as a function of specific representation formats. In a qualitative research design 15 apprentices are video-recorded during their problem-solving processes, once solving occupation-specific tasks in reality and once in a computer-based simulation of reality. The findings show that both problem-solving processes and problem barriers vary across both settings and that only highly authentic computer-based simulations can realistically capture the complexity of real-life process features.

Keywords: troubleshooting, automation technology, computerized simulation, assessment of competences

1 Fragestellung und aktuelle Befundlage

Im Kontext der Forschungsanstrengungen zur validen Erfassung berufsfachlicher Kompetenzen (vgl. Beck, Landenberger & Oser 2016), u. a. auch in Vorarbeiten zur Durchführung eines Large-Scale-Assessments in der beruflichen Bildung (vgl. Baethge & Arends 2009), wird es bedeutsam, aus der zur Verfügung stehenden Testzeit möglichst viele zur Diagnostik verwertbare Informationen zu erhalten. Bislang ist für den Teilbereich der gewerblich-technischen Domäne der Ansatz dominierend, lediglich auf Daten zurückzugreifen, die auf das Endergebnis der Aufgaben- oder Problembearbeitung rekurrieren.[1] Es werden also primär Daten in die Diagnostik einbezogen, die eine Auskunft darüber beinhalten, ob ein Proband eine berufliche Anforderungssituation gelöst hat, teilweise gelöst hat oder nicht gelöst hat. Der Lösungsweg dorthin wird jedoch üblicherweise nicht weiter berücksichtigt und kann folglich auch nicht in eine statistische Modellbildung mit einbezogen werden.

Dieses Vorgehen ist zwar für die Schaffung erster Zugänge einer validen Kompetenzerfassung naheliegend, jedoch aufgrund der notwendigen, langen Bearbeitungszeit je Item, nicht effektiv. V. a. komplexere Problemstellungen erfordern Bearbeitungszeiten je Item von bis zu 30 Minuten (vgl. Abele u. a. 2016; Walker u. a. 2016). Dies führt bei begrenzter Testzeit zu eher wenigen Informationen über die berufsfachliche Kompetenz des Probanden. Eine Möglichkeit besteht, in der Ausarbeitung computerbasierter, adaptiver Testumgebungen, die im Anschluss an eine Problembearbeitung jeweils schwierigere Items bei richtiger Lösung bzw. leichtere Items bei falscher Lösung präsentieren (vgl. Ziegler u. a. 2016). Ein weiterer Ansatz ist, zu prüfen, inwieweit die Prozessschritte einer Aufgaben- bzw. Problemlösung nicht noch weitere Informationen über den Kompetenzstand von Probanden beinhalten. Diese Informationen werden bislang vernachlässigt. Ein Einbezug ist jedoch nur dann valide möglich, wenn sich die Prozessschritte zwischen der realen Anforderungssituation und der zur Kompetenzerfassung generierten und via Computersimulation präsentierten Testsituation nicht (gravierend) unterscheiden.

An dieser Frage arbeitet das vorliegende Forschungsprojekt, indem mittels eines empirisch-qualitativen Designs am Beispiel des Ausbildungsberufs Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik die Prozessschritte von Fehlersuchen zwischen zwei Darbietungsformen (Realität, Computersimulation) miteinander verglichen werden. Die Auswahl des Berufs Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik liegt in dessen Einbezug durch die ASCOT-Initiative des BMBFs und der damit verbundenen Vorarbeiten bzw. Befundlage begründet (vgl. BMBF 2012, 2014, 2015; Baethge & Arends 2009).

Die Beschäftigung mit der Fehlersuche in der gewerblich-technischen Domäne ist nicht neu. Bereits 1928 lassen sich psychologisch orientierte Arbeiten auffinden, die sich mit der Störungsdiagnose befassen (vgl. z. B. Lewin & Rupp 1928). U. a. ausgelöst durch die gestiegene Komplexität technischer Artefakte, v. a. im Bereich der Produktions- und Automatisierungstechnik, wird der Aspekt der Problemlösefähigkeit von Auszubildenden und Facharbeitern in den entsprechenden technischen Berufen zunehmend bedeutsam, um auf auftretende Störungen einer Anlage adäquat und schnell reagieren zu können (vgl. u. a. Wiedemann 1995, S. 7; Fischer, Becker & Spöttl 2011; Rowold, Hochholdinger & Schaper 2009; Walker u. a. 2016). Die Problemlösefähigkeit wird in analytischer Perspektive der Fachkompetenz zugeordnet (vgl. Abele 2014; Gschwendtner, Geißel & Nickolaus 2007; Link 2016; Nickolaus, Gschwendtner & Abele 2011; Sonntag & Schaper 1997; Walker u. a. 2016) und wird neben dem Fachwissen fast durch-

1 Für nicht-kognitive Faktoren, wie bspw. Emotionen, liegen z. B. aus der kaufmännisch-verwaltenden Domäne weiterführende Arbeiten vor, die explizit auch Prozessdaten in die Diagnostik einbeziehen (vgl. Rausch u. a. 2015).

gängig als empirisch unterscheidbare Dimension in vorliegenden Modellierungen ausgewiesen (vgl. u. a. Abele u. a. 2016; Walker u. a. 2016).

Die Befundlage zum Thema ist mittlerweile deutlich verbessert und es kann hier keine Bilanzierung der vielfältigen Arbeiten erfolgen. Thematisch sind für das eigene Forschungsvorhaben insbesondere die Untersuchung von Gschwendtner, Abele und Nickolaus (2009), das Ablaufschema zu Störungsdiagnosen an SPS-gesteuerten Anlagen von Sonntag und Schaper (1997) sowie die Barrieren der Fehlersuche nach Hedrich und Geißel (2012) relevant und sollen im Weiteren knapp skizziert werden.

Aufgrund der oben angesprochenen hohen Bedeutsamkeit der Problemlösefähigkeit von Auszubildenden und Facharbeitern wird eine valide und praktikable Diagnose derselben virulent, um z. B. Ergebnisse von (Aus-)Bildungsprozesse entsprechend evaluieren zu können. Als Diagnoseinstrumente der Problemlösefähigkeit kommen hierzu insbesondere Arbeitsproben oder am Computer simulierte Arbeitsproben in Betracht und wird üblicherweise über die Operationalisierung mittels Fehlersuchen empirisch zugänglich (vgl. Nickolaus, Gschwendtner & Abele 2011, S. 58; Gschwendtner, Geißel & Nickolaus 2007). Gschwendtner, Abele und Nickolaus konnten bei Kfz-Mechatroniker nachweisen, dass die Lösungsquoten von Fehlerdiagnoseleistungen unabhängig von der Repräsentationsform der Arbeitsprobe sind (vgl. ebd., 2009). Die Forschergruppe ließ N=257 Auszubildende im Beruf Kfz-Mechatroniker Fehlerdiagnosen am realen Kraftfahrzeug als auch an einem simuliert dargebotenen Kraftfahrzeug durchführen und setzte die Lösungsquoten statistisch miteinander in Beziehung. Im Ergebnis der Untersuchung zeigt sich, dass in der Diagnose der Fehleranalysefähigkeit der Probanden zwischen Realität und authentisch gestalteter Simulation nur geringe Differenzen entstehen und „… es keinen systematischen Einfluss auf die Diagnoseleistung durch z. B. manuelle Anforderungen der Realität (Stecker und Abdeckungen lösen, Adapterleitungen anbringen, Messgerät einstellen und anschließen etc.) gibt, die in der Simulation aus der Sache heraus entfallen müssen." (Gschwendtner, Abele & Nickolaus 2009, S. 574) Damit kommen die Autoren zum Befund, „dass eine sorgfältig gestaltete Simulation sehr ähnliche Aussagen zur Leistungsfähigkeit von Auszubildenden zulässt, wie das normalerweise nur Aufgaben in der Realität zugeschrieben wird." (ebd., S. 574) Damit erscheint es prinzipiell möglich, in der Diagnostik komplexer Fähigkeiten mit Simulationen technischer Systeme einen praktikablen und gangbaren Weg gefunden zu haben.

Die Forschergruppe um Nickolaus hat sich bislang nicht intensiver dem Einbezug von Prozessdaten zugewandt, sondern das Problem überlanger Testzeiten bei vergleichsweise geringer Itemzahl über sogenannte minimalkomplexe Aufgaben zu lösen versucht. Die standardisiert dargebotenen minimalkomplexen Aufgaben bilden Sequenzen eines Problemlöseprozesses ab und sollen auf diese Weise das Konstrukt der fachspezifischen Problemlösefähigkeit bei reduzierter Testzeit valide abbilden (vgl. Abele 2017). Damit gerät aber nur ausschnittsweise der Fehlersuchprozess in den Blick diagnostischer Bemühungen und werden die darin innewohnenden Informationen nicht genutzt. Der Einbezug von Logfile-Analysen eröffnet hier aber weitere Aussagemöglichkeiten (vgl. Abele 2017).

Mit der typologisierenden Beschreibung von Fehlersuchprozessen hat sich Rasmussen (1981, 1986) auseinandergesetzt. Er klassifiziert in der beruflichen Praxis angewandte Vorgehensweisen in symptomatische und topografische Strategien. In der Störungssuche automatisierungstechnischer Anlagen dominieren die struktur- und funktionsorientierten topografischen Strategien (vgl. Sonntag & Schaper 1997, S. 53; Konradt 1992; Wiedemann 1995). Für den Erwerb von Diagnosestrategien Auszubildender an SPS-gesteuerten Systemen haben Sonntag und Schaper hieran anschließend ein allgemeines Ablaufmodell von Informationsverarbeitungsschritten vorgestellt (vgl. ebd., S. 198; vgl. Abb. 1).

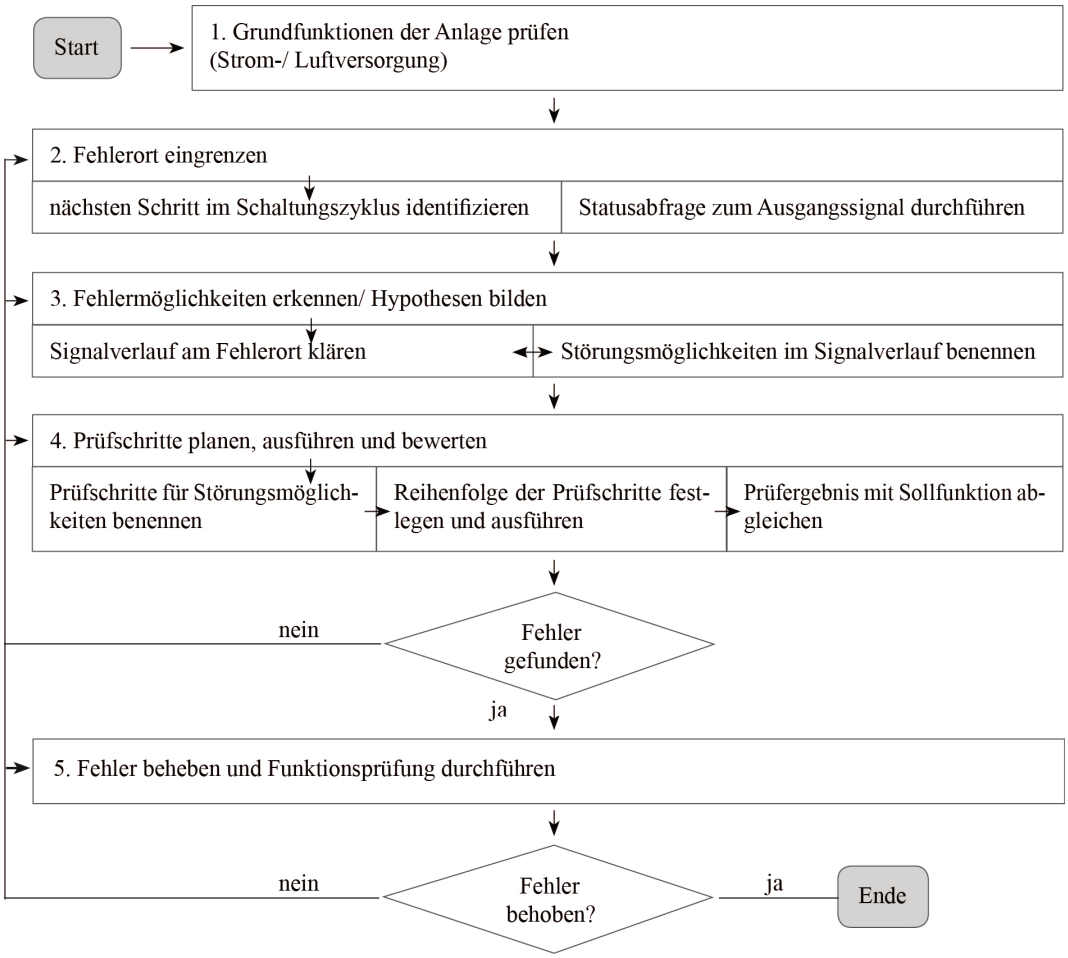


Abb. 1: Vorgehensweise zur Störungsdiagnose an einer SPS-gesteuerten Simulationsvorrichtung (Sonntag & Schaper 1997, S. 198; Funk 2017).

Ausgangspunkt einer systematischen Störungsdiagnose ist zunächst die Prüfung der Grundfunktion des automatisierungstechnischen Systems und der Energieversorgung. Anschließend erfolgen die Eingrenzung des Fehlerorts, das Identifizieren möglicher Fehlerquellen sowie die messtechnische Überprüfung. Sofern ein Fehler gefunden wird, können sich nun die Fehlerbehebung sowie die Funktionskontrolle anschließen, andernfalls muss in einen der vorherigen Schritte des Fehlersuchprozesses erneut eingestiegen werden (vgl. Sonntag & Schaper 1997, S. 199). Neben der Verwendung des Schemas zu Förderzwecken sensu Sonntag und Schaper erscheint es auch zur Analyse von Fehlersuchprozessen geeignet.

Dezidierter haben sich erstmals Hedrich und Geißel (2011) bzw. Geißel und Hedrich (2012) in einer qualitativen angelegten Studie mit Vergleichen von Fehlersuchprozessen in Abhängigkeit der Darbietungsform zugewandt. In dem Vorhaben führten Auszubildende im Beruf Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik Fehlersuchen an Wechselschaltungen durch, wobei die Schaltungen sowohl als reale Schaltung als auch in einer Computersimulation dargeboten wurden. Zentrale Frage war, mit welchen Barrieren sich die Elektroniker sowohl in der Realität als auch der Simulation konfrontiert sahen. Als ein Ergebnis der Studie konnten fünf Barrieren in den videografierten Fehlersuchprozessen sowie Verknüpfungen zwischen diesen identifiziert werden (vgl. Abb. 2).

Die fachlich-messtechnische Barriere inkludiert Schwierigkeiten im Umgang mit Messinstrumenten bzw. allgemeiner formuliert in der Datengewinnung, die methodische Barriere den logischen Ablauf aufeinander aufbauender messtechnischer Schrittfolgen, die mentale Barriere

die gedankliche Repräsentation der Schaltung resp. des Schaltplans und die kausal-relative Barriere Hürden im Bereich der Ergebnisinterpretation von Soll-/Istwert-Vergleichen. Parallel angeordnet wirkt eine emotional-motivationale Barriere, die u. a. die Anstrengungsbereitschaft und Frustrationstoleranz bei längeren Fehlersuchzeiten im Modell berücksichtigt.

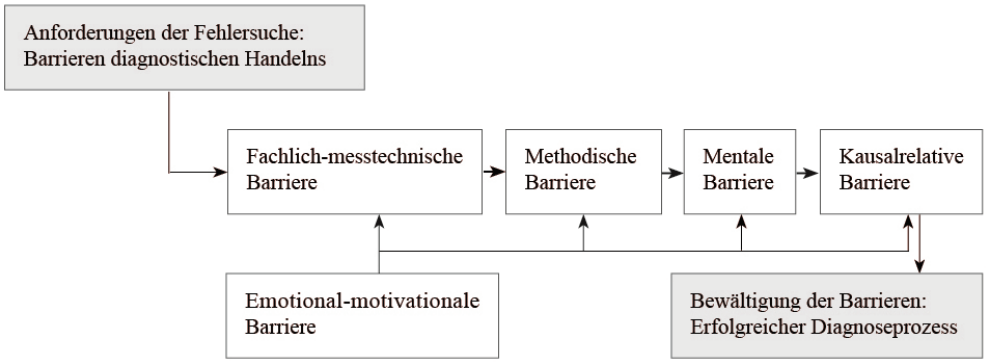


Abb. 2: Barrieren diagnostischen Handelns bei Elektronikern (Hedrich & Geißel 2012, S. 291).

Die Ergebnisse des Vergleichs der Fehlersuchprozesse sind – ausgelöst durch nicht zu vernachlässigende Abweichungen zwischen den real und simuliert dargebotenen Wechselschaltungen – in der Belastbarkeit eingeschränkt (vgl. hierzu ausführlicher Hedrich & Geißel 2011, S. 20). Die Autoren kommen jedoch zum vorsichtigen Schluss, dass bezogen auf Fehlersuchprozesse zwischen Simulation und Realität Übereinstimmungen in den Prozessqualitäten möglich sind (vgl. ebd., S. 21). An diese Fragestellung soll im hier vorgestellten Forschungsvorhaben direkt angeknüpft werden.

2 Forschungsdesign

Die Forschungsfrage des Vergleichs von Fehlersuchprozesse in Abhängigkeit der Darbietungsform soll in zwei Teilfragen fokussiert werden:

- ***Forschungsfrage 1:*** **Fehlersuchprozess Realität vs. Simulation: Gibt es Unterschiede zwischen den Suchprozessen von Auszubildenden an realen und simulierten komplexen automatisierungstechnischen Anlagen?**

In Forschungsfrage 1 interessiert besonders, ob die Ablaufschritte im Vorgehen der Auszubildenden einer ähnlichen Logik folgen oder anders, die beobachtbaren Handlungen in Interaktion mit der automatisierungstechnischen Anlagen in ihrer Reihung vergleichbar oder ob hier Variationen vorfindbar sind. Voraussetzung hierzu ist, dass die Simulation ähnliche Interaktionsmöglichkeiten anbietet, wie die Arbeiten an einer Realanlage.

- ***Forschungsfrage 2:*** **Barrieren Realität vs. Simulation: Welche Barrieren – und in welcher Ausprägung – treten während des Problemlösungsprozesses an der Realanlage und der simulierten komplexen automatisierungstechnischen Anlage auf?**

Die veränderte Blickrichtung der Diagnose wird mit Frage 2 aufgenommen. Es sollen Hinweise gewonnen werden, ob es bzgl. der Einordnung von Auszubildenden in das Barrieremodell von Hedrich und Geißel (s. o.) zwischen Simulation und Realität zu Abweichungen kommt. Sofern

dies zutrifft, hätte die Repräsentationsform einen Einfluss auf die Validität und Reliabilität der Kompetenzerfassung.

Die Anforderungen für die Auszubildenden im Beruf Elektroniker für Automatisierungstechnik müssen für die Fehlersuche hoch genug gewählt sein, um die Auszubildenden auch mit einer problemhaltigen Anforderungssituation zu konfrontieren. Ergänzend muss das technische System sowohl in einer Simulation als auch in der Realität verfügbar sein. Die Entscheidung fiel unter diesen Kriterien auf vorliegende Systeme der Fa. Festo Didactic. Die MPS©-Stationen bilden komplexe automatisierte Systeme ab und günstiger Weise liegen ebenfalls Simulationen dieser MPS©-Stationen mittels der Software CIROS© vor. Für die Durchführung der Untersuchung konnten die entsprechenden Systeme dankenswerter Weise von der Fa. Festo Didactic zur Verfügung gestellt werden.

In der Umsetzung wurde die Station Verteilen und die Station Handhaben miteinander kombiniert (vgl. Abb. 3).

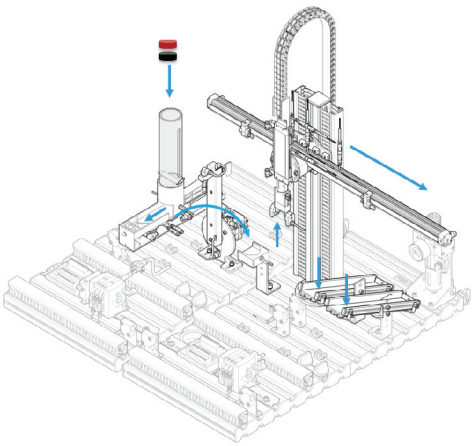


Abb. 3: MPS©-Stationen Verteilen und Handhaben der Fa. Festo Didactic – schematische Darstellung (Festo Didactic 2003a, 2003b).

Die Aufgabe des automatisierten Prozesses ist, dass in ein Magazin ungeordnet eingefüllte Werkstücke entsprechend ihrer Farbe sortiert werden. Hierzu werden die Werkstücke einzeln aus dem Stappelmagazin ausgeschoben, mit einem Vakuumgreifer auf dem Übergabepunkt platziert und anschließend durch einen Pneumatikgreifer in Abhängigkeit der Farbe auf eine der beiden Rutschen abgelegt. Jede Station ist mit den entsprechenden Sensoren, Aktoren sowie separater SPS ausgestattet. Die MPS©-Stationen bieten aus technischer Sicht viele Möglichkeiten an, Fehler durch das Forscherteam gezielt zu implementieren und verschiedene Schwierigkeitsgrade zu realisieren.

2.1 Forschungsplan und -ablauf

Zur Bearbeitung der Forschungsfrage sind Prozessanalysen nötig, die mit den aktuell verfügbaren Forschungs- und Auswertungsmethoden mit einem qualitativen Forschungsdesign untersucht werden müssen. Unter der Vielzahl an möglichen Zugriffen (vgl. z. B. Mayring 2002) erscheint hier der Untersuchungsplan der Einfallanalyse zweckmäßig (vgl. ebd., S. 40 ff.).

Bzgl. Erhebungsverfahren muss die Entscheidung getroffen werden, wie die Fehlersuchprozesse erfasst werden können. Hierzu ist ähnlich dem Vorgehen bei Hedrich und Geißel (s. o., 2012) der Zugriff mittels Videografie und einer mitlaufenden Software zur Dokumentation der

Handlungen am Computer sinnvoll. Zur weiteren Verbesserung der Datenqualität wurden jedoch weitere Kameraperspektiven sowie bei wenigen Auszubildenden für die Arbeit an der Simulation versuchsweise auch Eyetracking-Verfahren einbezogen (vgl. Funk 2017, S. 81ff).[2] Für die Datenerfassung war folgender Datenerhebungsplan vorgesehen und wurde auch umgesetzt (vgl. Abb. 4).

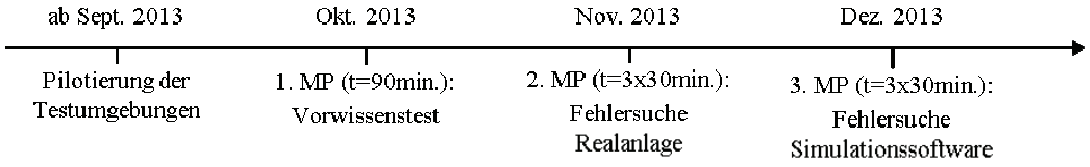


Abb. 4: Datenerhebungsplan (eigene Darstellung).

Beginnend mit September 2013 wurde die Praktikabilität der Testumgebung inklusive geeigneter Kameraperspektiven, der Softwarefunktion zum Mitprotokollieren der computerbezogenen Handlungen der Probanden und die allgemeine Durchführung (u. a. Präparation der automatisierungstechnischen Realsysteme mit den Fehlern, notwendige Testzeit) des Testablaufs mit einer Berufsschulklasse im Ausbildungsberuf Elektroniker für Betriebstechnik pilotiert. In der Pilotierung wurden drei Fehlerfälle sowohl in der Realität als auch in der Simulation implementiert. Im Fehlerfall 1 ein dejustierter Sensor, im Fehlerfall 2 ein elektrisch nicht angeschlossener Farbsensor sowie im Fehlerfall 3 eine fehlende Negation im Ausschiebezylinder des Stapelmagazins. Somit konnten zwei Hardware- und ein Softwarefehler einbezogen werden (vgl. Funk 2017, S. 93). Alle Fehler wurden mittels papiergestützter Reparaturaufträge den Auszubildenden präsentiert und erwiesen sich als praktikabel sowie im Anspruchsniveau angemessen. Folglich konnten die Fehlerauswahl und die Testzeiten für die Haupterhebung beibehalten werden. Überarbeitet wurde auf Basis der Pilotierung jedoch u. a. die Position der seitlichen Kamera, die Einführungs- und Übungsphase bzgl. der MPS©-Stationen sowie das Vorgehen zur direkten Datensicherung im Anschluss an jede Fehlersuche (vgl. Funk 2017, S. 135 u. 145). Die Haupterhebung wurde in einer Berufsschulklasse des Berufs Elektroniker für Automatisierungstechnik im dritten Ausbildungsjahr und gegenüber der Pilotierung an einer anderen berufsbildenden Schule durchgeführt. Parallel zur Pilotierung konnten die drei Fehlerfälle in der Realität und mit etwa einmonatigem Abstand in der Simulation bearbeitet werden. In die Auswertung konnten N=15 Probanden einbezogen werden.[3]

2.2 Datenauswertung

Die videografierten und die durch Aufzeichnungssoftware gewonnen Daten wurden in mehreren Codiervorgängen gesichtet, ausgewertet (vgl. Funk 2017, S. 156) und unter der Perspektive zur Konstruktion deskriptiver Systeme aufbereitet (vgl. Mayring 2002, S. 99). Zentral war in diesem Schritt, die in den Daten beobachteten Handlungen in allgemeine Kategorien zu fassen und damit aufeinander beziehbar zu machen. Wichtig war zunächst, für die vorfindbaren Handlungen diese Kategorien zu entwickeln und entsprechende Operatoren für die Einordnung zu definieren.

2 Die Auswertungen der Eyetracking-Daten kann hier aus Raumgründen nicht weiter einbezogen werden (vgl. hierzu Funk 2017, S. 287ff.).

3 Der Vorwissenstest bleibt hier ohne weitere Beachtung, da er für die hier einbezogenen Auswertungen nicht mehr relevant ist. Da das Fachwissen als bester Einzelprädiktor für die Fehleranalysefähigkeit in empirischen Studien ausgewiesen ist (vgl. u. a. Knöll 2007; Gschwendtner, Abele & Nickolaus 2009), erschien ein kontrollierender Einbezug auch in diese qualitative Studie sinnvoll. Für diesbezügliche Auswertungen sei auf Funk (2017) verwiesen.

Die beobachtbaren Operatoren können nicht vollständig in theoretischer Perspektive entwickelt werden, sondern sind abhängig von den Manipulations- und Interaktionsmöglichkeiten der realen MPS©-Stationen sowie der Software CIROS© bzw. auch davon, wie und in welchen Bereichen die Probanden mit den technischen Systemen interagieren. Gewisse theoretische Orientierung geben hierbei jedoch das Ablaufmodell von Sonntag und Schaper sowie die empirischen Befunde von Hedrich und Geißel (s. o.).

Die anschließende Transkription[4] und Auswertung rekurriert dabei sowohl auf niedrig inferente (u. a. Bauteileprüfungen, Bedienung der Anlage) als auch hoch inferente Beobachtungen (u. a. motivationaler Zustand, Barrieren; vgl. Lotz, Gabriel & Lipowsky 2003). Die entstandenen Skripte (Eventsampling) bestehen neben der Kopfzeile zu den Rahmendaten und einem Feld für die Übernahme der Eintragungen der Auszubildenden auf den papiergestützten Reparaturaufträgen aus dem beschriebenen Ablauf des Fehlersuchprozesses (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Skript des Probanden EG3T1 für Fehlerfall 2 (Funk 2017, S. 394 ff.)

Reale Fehlersuche			
Schule	Schule 2		
Code	EG3T1	CPU	CPU3146CG
Fehler	2	Suchdauer gesamt	00:26:27
Kamera_1	K6_1	Suchdauer bis Fehler gefunden	00:21:02
Kamera_2	K3	Fehler gefunden	1
Wink	Fehler 2	Notiz	-

Geben Sie den Fehler an und begründen Sie ihre Diagnose!
Sensor 1B3 ist falsch verdrahtet und gibt somit kein Signal an. Somit läuft die Schrittkette nicht weiter da die X Achse ihre endposition nicht findet

Durch welche Maßnahme(n) kann der Fehler behoben werden?
Verdrahtung überprüfen und richtig anschließen

Bauteil	Operation bezogen auf den Proband		Kommentar objektiv	Kommentar Verhaltensmerkmal(subjektiv)	Wink	K6_1
	startet	Programm	Wink		1/9:27	01:12:53
	liest	Auftrag				
		Anlage				
	stoppt	Anlage				
	resettet	Anlage				
			Anlage startet nicht – Magazin leer			
	startet	Anlage	Schaut auf Anlage und erkennt Problematik nicht			
		SIMATIC Manager			417/ 9:29	
CPU 314 6CG	öffnet	SPS-Pr. Handh.				
FB40	öffnet	Baustein				
			Vermutlich „S13-Greifer eingefahren“			

Fortsetzung der Tabelle auf nächster Seite

4 Die Transkripte sind in einem separaten Zusatzheft zugänglich (vgl. Funk 2017b).

	liest	Bezeichnung	„S15-Achse zu Position rot/silber- L_1M1/L_1M2“ fährt mit Maus darüber			
L_1B3	liest	Bezeichnung	"S19 - Handhabung bei Sortierposition“			
			schaut kurz auf sein Handy	vergewissert sich ob evtl. eine Kamera dies aufgezeichnet haben könnte		01:15:17
	schaut auf	Baustein	scrollt langsam nach unten fährt mit Maus darüber		711/ 9:30	
L_2B2	liest	Bezeichnung	"ST23 - Greifer eingefahren"			
delay1	liest	Bezeichnung	"T22 - Merker Verzögerungszeit 1			
	schaut auf	MPS-Handhaben				
	liest	Bezeichnung	"S13 - Greifer eingefahren - L_2M1"			
L_2B2	liest	Bezeichnung	"T18 - Greifer eingefahren"			
LF_Mat	liest	Bezeichnung	"T18 - Teil ist nicht schwarz"			
L_1B2	liest	Bezeichnung	"T17 - Handhabung bei Folgestation"			
	schaut auf	Anlage	schaut zu Nachbar, da dieser das Magazin befüllt und die Anlage startet	streckt sich wirkt sehr ruhig und entspannt		01:19:00
L_2B1	liest	Bezeichnung	"T21 - Greifer ausgefahren"		1182/ 9:32	
LIP_FI	liest	Bezeichnung	mehrmals "T20 - Folgestation frei"	fährt mit Maus mehrmals im Kreis herum – wirkt etwas angespannt		
	schaut auf	Anlage		sehr lange		
	schaut auf	Auftrag				01:23:40
	schaut auf	Bezeichnung	immer wieder auf die vorher aufgezählten			01:24:06
FC41	öffnet	Baustein	scrollt kurz nach unten		2786/ 9:39	01:24:29
FC41	schließt	Baustein				
	öffnet	Baustein				
FC42	öffnet	Baustein				
	schließt	Baustein				
OB1	öffnet	Baustein				
NW6	schaut auf	Programm	entdeckt rot hinterlegt "P_A40D" scrollt langsam nach unten		3059/ 9:40	
FB40	schaut auf	Programm				
L_1B2	liest	Programm	"T17 - Handhabung bei Folgestation"			
L_2B2	liest	Programm	"T19 - Handhabung bei Sortierposition" "S14 - Achse zu Position Rutsche rot/silber - L_1M1/ L_1M2"			
	schaut auf	Programm	"S16 - Warten bis Übergabepunkt frei ist"		3581/ 9:42	01:27:31
	schaut auf	SPS Verteilen	2x vermutlich auf die Bezeichnung			
CPU 314 6CG	öffnet	SPS-Pr. Vert.				
OB1	öffnet	Baustein	scrollt kurz nach unten		3982/ 9:44	01:28:07
OB1	schließt	Baustein				
CPU 314 6CG	schaut auf	SPS-Pr. Handh.				
FB40	schaut auf	Programm	lange auf "S14 - Achse zu Position Rutsche rot/silber - L_1M1/ L_1M2"		4212/ 9:45	01:28:44
LF_Mat	liest	Bezeichnung	"T18 - Teil ist nicht schwarz"			
L_1B3	liest	Bezeichnung	S19 - Handhabung bei Sortier-position			

Fortsetzung der Tabelle auf nächster Seite

L_1B2	liest	Bezeichnung	T17 - Handhabung bei Folgestation			
	schaut auf	Anlage				
	steht auf					
	schaut auf	MPS-Handhaben				
	setzt sich	Anlage				
	stoppt	Anlage				
	resettet	Anlage				
	startet	Anlage	Anlage startet nicht - Bemerkt erst jetzt, dass das Magazin leer ist			
	entnimmt	Werkstücke von Rutsche				
	befüllt	Magazin				
	stoppt	Anlage				
	resettet	Anlage	Werkstück (rt) wird ausgeschoben			
	startet	Anlage	verkanntet sich - Proband stoppt Anlage und entnimmt Werkstück			
	stoppt	Anlage				
	resettet	Anlage				
	befüllt	Magazin				
	startet	Anlage	Werkstück wird ausgeschoben, aufgenommen und bleibt in Greifer - Anlage stoppt			
	steht auf					
	beobachtet	Anlage				
	setzt sich	SIMATIC Manager				
	schaut auf	SPS-Pr. Handh.				
FB40	schaut auf	Baustein				
L_1B3	liest	Bezeichnung	"S19 - Handhabung bei Sortierposition"			
	liest	Bezeichnung	"S15 - Achse zu Position Rutsche rot/silber - L1M1/ L_1M2"			
OB1	öffnet	Baustein	scrollt hoch und runter		5185/ 9:41	
FB40	schaut auf	Programm	klickt auf "Zielsystem/ Betriebszustand" - schließt das aufgepoppt Fenster aber sofort wieder	wirkt müde - reibt sich die Augen		01:33:55
	betätigt	Beobachten ein/aus (STEP 7)		dauert jedoch sehr lange bis er diesen Befehl findet		
L_1B3	schaut auf	Anlage	"S19 - Handhabung bei Sortierposition"			
	entnimmt	Werkstücke von Rutsche				
	stoppt	Anlage				
	resettet	Anlage	Werkstück wird ausgeschoben, aufgenommen und in Rutsche sortiert			
	startet	Anlage	Werkstück wird ausgeschoben, aufgenommen und bleibt in Greifer - Anlage stoppt			
FB40	beobachtet	SIMATIC Manager Programm	insbesondere "S15 - Achse zu Position Rutsche rot/ silber - L_1M1/ L_1M2"			
	liest	Auftrag		kurz		01:35:44
		Schaltplan (el.)	dreht sich Schaltplan in richtige Ansicht		5890/ 9:52	01:36:15
	steht auf					
	Prüft haptisch	Sensor	hält Feuerzeug auf 1B3 – LED leuchtet			
	beobachtet	SPS Handhaben	keine Signaländerung			
	beobachtet	E/A-Terminal				
	schreibt					01:37:42
	schaut auf	Auftrag				
			richtet Unterlagen zusammen und verlässt den Raum			01:39:20

Die erste, grau hinterlegte Spalte erfasst mit dem betreffenden Bauteil den technischen Ort der Handlungen, die beiden folgenden Spalten die Operation als beobachtbare Handlung. Die beiden weiteren Spalten beschreiben den Zustand der Anlage sowie weitere Beobachtungen zum Probanden. Die letzten beiden Spalten dokumentieren die entsprechenden Uhrzeiten der Handlungen bzw. Beobachtungen in Abhängigkeit des Aufzeichnungsmediums (Computersoftware Wink, Videokamera). Diese transkribierte Schrittfolge wurde sowohl für die Fehlersuche mit der Simulation als auch der Realanlage angefertigt und für die vergleichenden Auswertungen aufeinander bezogen.

3 Ausgewählte Ergebnisse

Aus Raumgründen können hier nicht alle Analysen wiedergegeben werden. Im Rahmen des Beitrags sollen hier nur für den Fehlerfall 2 unsere Auswertungen vorgestellt werden. Im Fehlerfall 2 haben 66% der Probanden eine übereinstimmende Lösungsquote zwischen Realität und Simulation, d.h. bei 10 der 15 Probanden gibt es keine Abweichungen bzgl. Fehler gefunden oder Fehler nicht gefunden. In der Realität haben 40% (6 von 15) den Fehler korrekt diagnostiziert, in der Simulation 13% (2 von 15). Die beiden Probanden, die in der Simulation den Fehler gelöst haben, haben diesen auch in der Realität gefunden. Die Abweichungen in den Lösungsquoten zwischen Realität und Simulation lassen zumindest in Teilen bereits auf abweichende Fehlersuchprozesse schließen.

3.1 Forschungsfrage 1: Vergleich der Fehlersuchprozesse

Zur Analyse der Fehlersuchprozesse wird als ordnender Rahmen auf das Ablaufmodell von Sonntag und Schaper (s. o., 1997) zurückgegriffen.[5] Vorteilhaft ist bei diesem Vorgehen, dass für alle Probanden das gleiche Analyseraster verwendet werden kann. In den Sichtungen des Datenmaterials erschien im Anschluss an kleinere Anpassungen des ursprünglichen Rasters eine prinzipielle Passung und Anwendbarkeit gegeben (vgl. Funk 2017, S. 165).

Das Raster wird in drei notwendige, aufeinander abfolgende Schritte aufgegliedert: Im ersten Schritt erfolgt eine Überprüfung bzw. ggf. eine Rücksetzung der Anlage in die Grundstellung, der zweite Schritt fasst die eigentliche Fehlersuche und der letzte Schritt die Überprüfung bzw. Kontrolle der Fehlerdiagnose sowie eine Reflexion mit weiteren, bestätigenden Prüfhandlungen (vgl. ebd., S. 165). Zur Bearbeitung der Forschungsfrage werden nun für alle Probanden die beiden Ablaufmodelle (Realität, Simulation) der Fehlersuche für die Fehlerfall 2 gegenübergestellt und sodann geprüft, inwieweit Übereinstimmungen oder Abweichungen in dem eingeschlagenen Fehlersuchweg auftreten.

Erneut aus Raumgründen können hier nur exemplarisch ausgewählte Befunde von 2 Probanden vorgestellt werden. Für eine erschöpfende Darstellung sei erneut auf die Originalarbeit verwiesen (Funk 2017, 2017b).

5 Denkbar wären hier auch andere Vorgehensweisen möglich gewesen, die in Kap. 4 aufgegriffen werden.

3.1.1 Vergleich Proband IG4T6

In den Daten des Probanden IG4T6 ist folgender Ablauf der beiden Fehlersuchprozesses dokumentiert (vgl. Abb. 5; vgl. Funk 2017, S. 228). In der Realität konnte der Proband den Fehlerfall lösen, in der Simulation hingegen nicht.

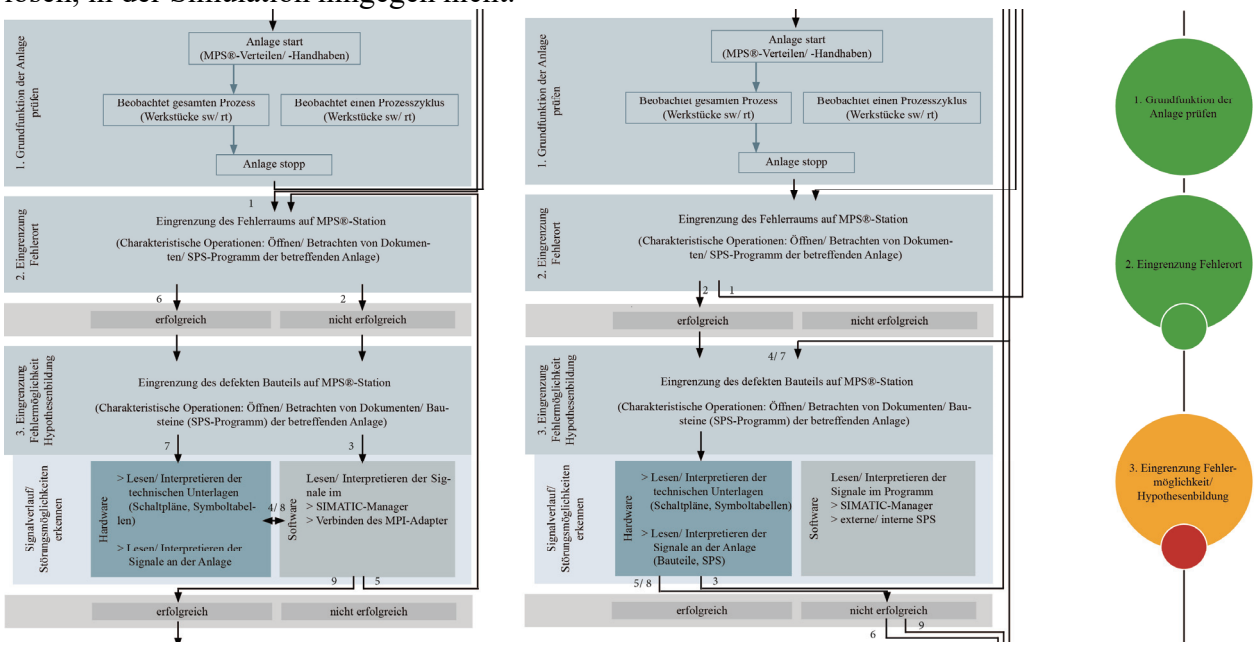


Abb. 5: Vergleichender Ablauf Fehlersuche Proband IG4T6 – Ausschnitt.

Die abgebildeten Linien und vermerkten Ziffern geben die Reihung der Fehlersuchschritte des Probanden wieder. Ganz rechts in der Abbildung ist jeweils mit grün ein weitgehend übereinstimmendes Vorgehen, mit orange eine in Grenzen abweichendes und mit rot ein abweichendes Vorgehen angezeigt.

In Abb. 5 ist der erste und in beiden Fällen ausgeführte Schritt Grundstellung der Anlage bzw. Start der Simulation und softwareseitige Aktivierung des Fehlerfalls noch nicht dargestellt, sondern es wird direkt der darauffolgende Schritt des Anlagestarts und der Beobachtung des Anlageverhaltens abgebildet. Dieses Vorgehen verläuft beim Proband IG4T6 weitgehend parallel in beiden Darbietungsformen, wobei in der Realität er abweichend zunächst nochmals den Reparaturauftrag überfliegt. In beiden Fällen erfolgt direkt an der Anlage die weitere Eingrenzung des Fehlerorts auf die MPS©-Station (Bewertung: grün). Dann beginnen sich die weiteren Schritte zu unterscheiden, da die Eingrenzung zunächst in der Realität nicht korrekt erfolgt (Schritt 2, linke Seite der Abb. 5). In der Simulation verläuft dieser Schritt bezogen auf eine sukzessive Annäherung an den Fehlerort hingegen richtig (Schritt 2, rechte Seite der Abb. 5). In beiden Fällen wird nun vertiefender nach dem (vermeintlich) defekten Bauteil gesucht, aufgrund dem in der Realität falsch gewählten Fehlerort, kommt es hier zu ersten Abweichungen (Bewertung: orange). In der Realität erkennt der Proband dann seinen Fehler der falschen Fehlerorteingrenzung, korrigiert diesen im Anschluss an die Prüfarbeiten der Signale der SPS und der MPS©-Station, muss erneut „eine Schleife drehen“ und den Fehlerort neu spezifizieren, was diesmal korrekt verläuft (Schritt 6, linke Seite der Abb. 5). Im Weiteren gelingen ihm folgerichtige Schlüsse und er kann den Fehler in der Realität lösen. In der Simulation versucht er in zwei Schleifen den exakten Fehlerort zu bestimmen (Schritte 4 bzw. 7, rechte Seite der Abb. 5), was jeweils nicht zu erfolgreichen Entscheidungen führt und der Fehler nicht richtig erkannt wird (Schritt 9, rechte Seite der Abb. 5). Ab dieser mittleren und der Endphase der Fehlersuche weichen die getätigten Schritte des Pro-

banden aufgrund der fehlerhaften Entscheidungen voneinander ab (Bewertung: rot). Warum der Proband IG4T6 die Daten in der Realität zumindest in der zweiten Schleife korrekt, einen Monat später in der Simulation jedoch nicht mehr korrekt interpretiert, muss leider offen bleiben.[6]

Der gesamte Prozess des Probanden ist nochmals in der Abb. 6 dargestellt und mit dem Ergebnis der Analysen (grün, orange bzw. rot) versehen (vgl. Abb. 6).

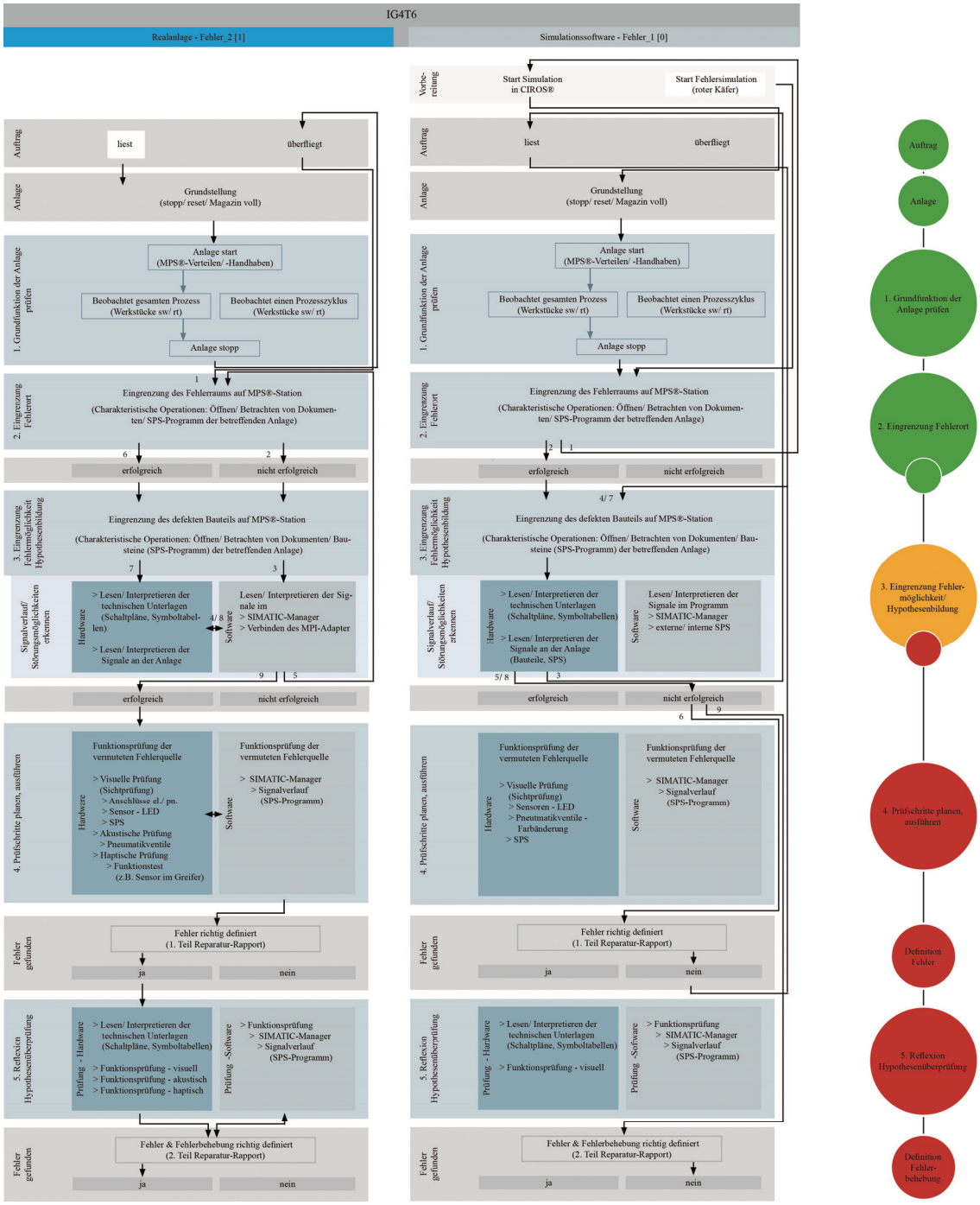


Abb. 6: Vergleichender Ablauf Fehlersuche Proband IG4T6 – Gesamtübersicht (vgl. Funk 2017, S. 228).

6 An dieser Stelle wirkt sich nun ungünstig aus, dass mit den Probanden retrospektiv nicht mehr über ihre eigenen Fehlersuchprozesse in Abhängigkeit der Darbietungsform diskutiert wurde. Hierauf wird in Kap. 4 mit Folgerungen für die Weiterführung der Arbeiten eingegangen.

3.1.2 Vergleich Proband AG4T3

In den Daten des Probanden AG4T3 ist folgender Ablauf der beiden Fehlersuchprozesses dokumentiert (vgl. Abb. 7; vgl. Funk 2017, S. 222). Sowohl in der Realität als auch in der Simulation konnte der Proband den Fehlerfall nicht korrekt lösen.

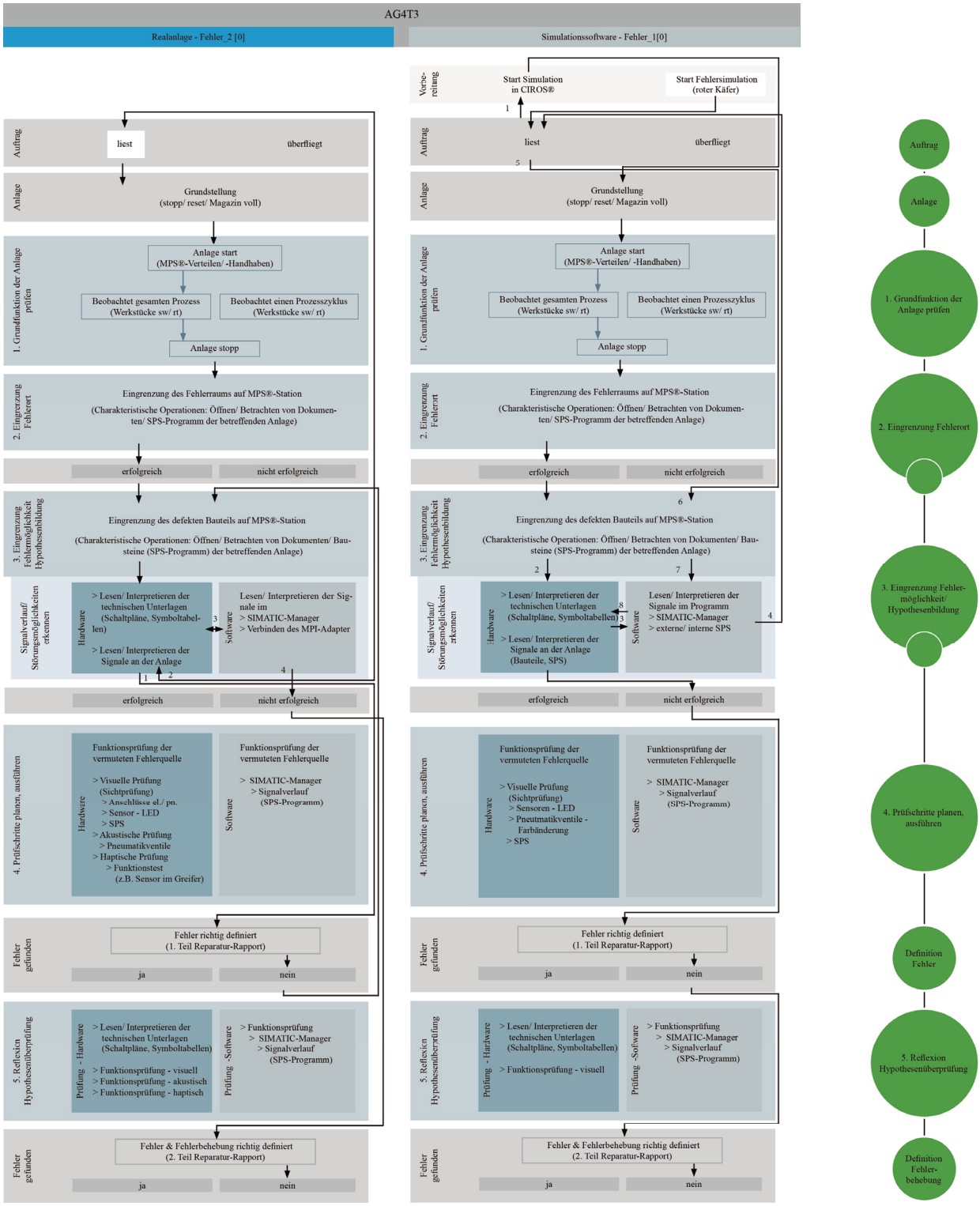


Abb. 7: Vergleichender Ablauf Fehlersuche Proband AG4T3 – Gesamtübersicht (vgl. Funk 2017, S. 222).

Der Proband liest zunächst in beiden Darbietungsformen den Reparaturauftrag. Anschließend wird für die Darbietungsform der Simulation diese in den entsprechenden Zustand versetzt und der Fehler aktiviert (Schritt 1, rechte Seite der Abb. 7). Da die Anlagen in der Realität von der Versuchsleitung präpariert sind, entfällt dieser Schritt hier bzw. hat in der Realität keine Entsprechung. In beiden Fällen ist (anschließend) die Anlage nun in der Grundstellung und die grobe Eingrenzung des Fehlerorts auf die richtige Station wird erfolgreich und im Ablauf übereinstimmend vorgenommen (Bewertung: grün). Anschließend wird vertiefender versucht, das fehlerhafte Bauteil zu finden und die eigentliche Fehlersuche beginnt. In beiden Fällen werden zunächst hardwareseitige Prüfungen durchgeführt. Unter beiderseitiger Auslassung einer weiteren Funktionsprüfung (4. Prüfschritte planen und ausführen) sowie der Auslassung einer möglichen Fehlerkontrolle der vermutlich fehlerbehafteten Bauteile (5. Reflexion, Hypothesenüberprüfung) wird ein vermeintlicher Fehler diagnostiziert und ein Vorschlag für eine Fehlerbehebung gegeben (Bewertung: grün). Abweichend führt der Proband in der Realität den Versuch der exakten Eingrenzung zwar zweimal (erfolglos) durch (Schritte 3 und 4, linke Seite der Abb. 7), was das Ergebnis der Fehlersuche jedoch nicht änderte. Für diesen Probanden ist das – allerdings jeweils erfolglose – Vorgehen in den beiden Darbietungsvorgehen weitgehend parallel.

3.1.3 Gesamteinschätzung

Werden auch die weiteren Auswertungen zu den Vergleichen aller 15 Probanden zu einer Gesamteinschätzung zusammengezogen, ergibt sich die uneinheitliche Befundlage, dass es sowohl Probanden mit (weitgehenden) Übereinstimmungen gibt als auch Probanden, die in mehr oder weniger ausgeprägten Segmenten unterschiedliche Vorgehensweisen zeigten.

Die Abweichungen treten jedoch bezogen auf das Ablaufmodell nicht in allen Bereichen gleich häufig auf. Werden für alle Probanden die Übereinstimmungen in ihren Schritten zwischen Realität und Simulation aufeinander bezogen, kann dies auch quantifizierend verdichtet dargestellt werden (vgl. Abb. 8). Dabei muss jedoch das mehrfache Durchlaufen eines Prozessschrittes, wie sie oben bei den ausführlich dargestellten Probanden ja auch beobachtbar waren (vgl. Kap. 3.1.1 und 3.1.2), vernachlässigt werden. Es wird also in dieser verdichtenden Auswertungen nur abgebildet, ob die definierten Bereiche von den Probanden vergleichbar ausgeführt wurden.

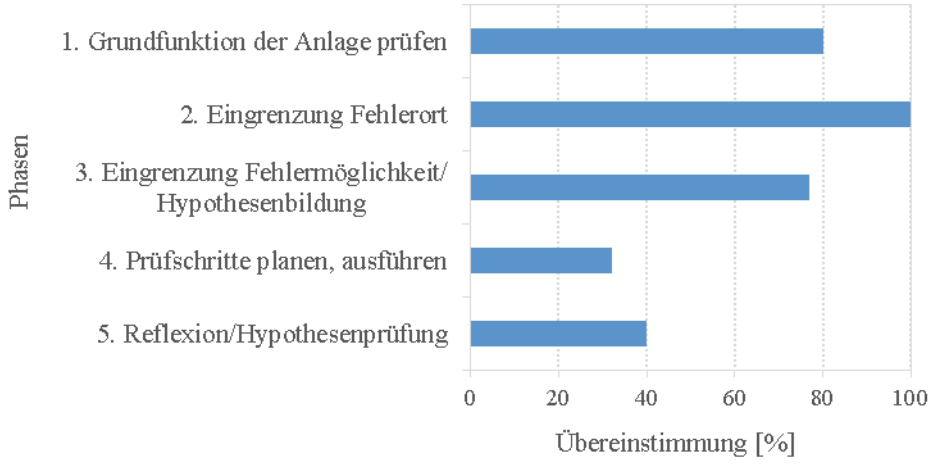


Abb. 8: Übereinstimmung der Fehlersuchprozesse (Realität vs. Simulation) nach Phasen – Fehlerfall 2 (vgl. Funk 2017, S. 232).

Es ist ersichtlich, dass im Prozessschritt 1. Grundfunktion und 2. Eingrenzung Fehlerort wenig bis keine Abweichungen auftreten. Dies ist auch wenig überraschend, da diese ersten beiden Schritte zwingend notwendig zu durchlaufen sind, um einen definierten Zustand der Anlage hierbei zu führen. Es bestehen hierin zunächst wenige Freiheitsgrade bzgl. als sinnvoll einzustufender Handlungen und für Auszubildende im dritten Ausbildungsjahr ist dieses systematische Vorgehen zu erwarten.

Im weiteren Ablauf vergrößern sich die Abweichungen, da die vertiefende Eingrenzung des Fehlerorts nun neben der prinzipiell möglichen (Fehl-)Entscheidung (z. B. in der Realität Fehlerort erfolgreich näher eingegrenzt vs. in der Simulation Fehlerort nicht erfolgreich eingegrenzt) auch die Freiheitsgrade ansteigen, wie weiter vorgegangen werden kann. Diese Vorgehensalternativen weichen nun etwas ab und werden in der Verdichtung noch deutlicher sichtbar in der konkreten Ausführung von Prüfschritten. Hier liegt die Übereinstimmung in dieser Phase noch bei knapp 37%, in der Hypothesenprüfung bei 40%.

Auf Basis dieser Befunde erfolgt der Einstieg in die Fehlersuche weitgehend ähnlich im Ablauf, der eigentliche Kern der Suche mit seinen Prüfschritten und (korrekten) Schlussfolgerungen variiert jedoch in Abhängigkeit der Darbietungsform bei den Probanden deutlich stärker.

Jenseits des Vergleichs sei hier noch ergänzend zu erwähnen, dass in beiden Darbietungsformen die begleitend beigelegten technischen Unterlagen zur Anlage (sowohl bezogen auf die Hard- als auch Software, u. a. auch Schaltpläne) bei den Auszubildenden wenig genutzt werden (vgl. Funk 2017, S. 230).[7]

3.2 Forschungsfrage 2: Barrieren

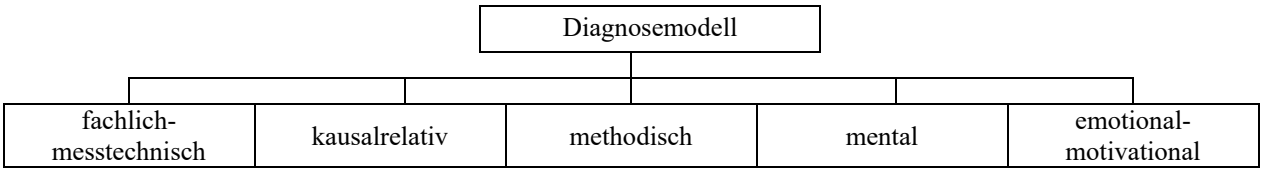
Unter einer veränderten Auswertungsperspektive werden probandenbezogen aus den Prozessdaten heraus in Abhängigkeit der Darbietungsform entsprechend dem Barrieremodell von Hedrich und Geißel (s. o., 2012) Einordnungen und damit diagnostische Entscheidungen vorgenommen. Die Einordnungen erfolgten im Anschluss an die forschungsmethodische Entscheidung, dass bei Adaption[8] der von Hedrich und Geißel vorgelegten Beschreibung der charakteristischen Operationen das Modell auch auf die Diagnosehandlungen der Auszubildenden an den MPS©-Stationen und in der diesbezüglichen Software CIROS© angewendet werden kann (vgl. Funk 2017, S. 242).

Detailliert sind in den als Barriere wirkenden Schlüsselkategorien fachlich-messtechnisch, kausalrelativ, methodisch, mental und emotional-motivational folgende charakteristische Operationen als Referenz für unterschiedliche Fähigkeitsniveaus hinterlegt (vgl. Abb. 9). Die beobachteten Handlungen der Probanden in der Fehlersuche wurden dann zusammenfassend interpretiert und der Proband in die jeweils dominierende charakteristische Operationenklasse eingeordnet.

Es können in den Daten vier Niveaus beobachtet werden. Innerhalb der Barrierekategorien in der Leserichtung von unten nach oben ist das Niveau des Probanden jeweils ansteigend, bis auf dem 4. Niveau letztlich keine Barriere mehr wahrnehmbar ist. Die Barrieren können aus Sicht der Probanden auch als Schwierigkeitsindikatoren interpretiert werden. Für die Auswertung wurde erneut auf den Fehlerfall 2 rekurriert und die Fehlersuchprozesse der Probanden zunächst in der Realität und anschließend in der Simulation für jede der 5 Schlüsselkategorien bewertet.

7 Diesen Aspekt betonen auch Abele u. a. (2017) in ihrer Eye-tracking Studie.

8 Die Adaption bezog sich u. a. auf die veränderten Messmöglichkeiten und –instrumente für die Arbeiten an den MPS©-Stationen sowie die Neudefinition von charakteristischen Operationen im Bereich von Handlungen in der SPS-Software.



Der Proband…	Der Proband…	Der Proband…	Der Proband…	Der Proband…
... beherrscht diese Dimension vollständig.	... beherrscht diese Dimension vollständig.	... beherrscht diese Dimension vollständig.	... beherrscht diese Dimension vollständig.	... beherrscht diese Dimension vollständig.
... ist weitestgehend in der Lage die ihm zur Verfügung stehende Hard- und Software zur Fehlersuche einsetzten.	... ist weitestgehend in der Lage die Ursache-Folge-Relationen anzustellen.	... ist weitestgehend in der Lage überwiegend konsequent und systematisch vorzugehen und erarbeitet sich durch die so zu Tage tretende Handlungsstruktur den Fehler.	... besitzt eine in Teilen angemessene kognitive Repräsentation des technischen Gegenstandes. Er ist in der Lage seine kognitive Repräsentation durch Auseinandersetzen mit dem Gegenstand zu „modifizieren“.	... befindet sich weitgehend in einem überwiegend günstigen emotional – motivationalen Zustand.
... ist begrenzt in der Lage die ihm zur Verfügung stehenden Hard- und Software zur Fehlersuche einzusetzen.	... ist begrenzt in der Lage die Ursache-Folge-Relationen anzustellen.	... ist begrenzt in der Lage konsequent und systematisch vorzugehen und grenzt den Fehler somit nur indirekt ein.	... besitzt eine schwache kognitive Repräsentation des (technischen) Gegenstandes, die (höchstens) geringfügig durch Auseinandersetzen mit dem Gegenstand modifiziert werden kann.	... befindet sich in einem unbeständigen emotional – motivationalen Zustand.
... ist nicht in der Lage die ihm zur Verfügung stehenden Hard- und Software zur Fehlersuche einzusetzen.	... ist nicht in der Lage die Ursache-Folge-Relationen anzustellen.	... ist nicht in der Lage konsequent, systematisch oder strukturiert vorzugehen.	... besitzt keine kognitive Repräsentation des (technischen) Gegenstandes, das ihm ein zielgerichtetes Vorgehen ermöglicht und ist auch nicht in der Lage, sich ein solches zu erarbeiten.	... befindet sich weitgehend in einem ungünstigen emotional – motivationalen Zustand.

Abb. 9: Beobachtbare charakteristische Operationen für die Einordnung in das Barrieremodell (Funk 2017, S. 183).

Aus Raumgründen können erneut in diesem Beitrag nicht die Einzelanalysen transparent gemacht werden (vgl. hierzu Funk 2017, S. 243-264). In zusammenfassender Perspektive sollen daher in Tab. 2.1 bis 2.5 bereits die Einordnungen vergleichend zwischen real und simuliert dargebotener Fehlersuche aufgeführt werden. Es wird eine Relationierung derart vorgenommen, ob die Barriereeinordnung des Probanden in der Realität höher, gleich oder niedriger ausfällt.

Tab. 2.1: Übersicht: Einordnung fachlich-messtechnische Barriere (Funk 2017, S. 264).

$F_{Realität} > F_{Simulation}$	AG1T2, EG1T5
$F_{Realität} = F_{Simulation}$	AG1T1, AG2T2, IG2T5, AG3T3, UG4T2, AG4T3, EG4T4, HG4T5
$F_{Realität} < F_{Simulation}$	EG1T3, AG2T4, EG3T1, OG3T6, IG4T6

Tab. 2.2: : Übersicht: Einordnung kausalrelative Barriere (Funk 2017, S. 266).

$K_{Realität} > K_{Simulation}$	AG1T2, AG2T2, AG3T3, AG4T3
$K_{Realität} = K_{Simulation}$	AG1T1, EG1T3, EG1T5, IG2T5, OG3T6, UG4T2, EG4T4
$K_{Realität} < K_{Simulation}$	AG2T4, EG3T1, HG4T5, IG4T6

Tab. 2.3: Übersicht: Einordnung methodische Barriere (Funk 2017, S. 267).

$MH_{Realität} > MH_{Simulation}$	AG3T3, UG4T2
$MH_{Realität} = MH_{Simulation}$	AG1T1, AG1T2, EG1T3, EG1T5, AG2T2, IG2T5, AG4T3, EG4T4, HG4T5
$MH_{Realität} < MH_{Simulation}$	AG2T4, EG3T1, OG3T6, IG4T6

Tab. 2.4: Übersicht: Einordnung mentale Barriere (Funk 2017 S. 267).

$M_{Realität} > M_{Simulation}$	AG1T1, AG1T2, EG1T5, IG2T5, AG3T3
$M_{Realität} = M_{Simulation}$	EG1T3, AG2T4, UG4T2, AG4T3, EG4T4, IG4T6
$M_{Realität} < M_{Simulation}$	AG2T2, EG3T1, OG3T6, HG4T5

Tab. 2.5: Übersicht: Einordnung emotional-motivationale Barriere (Funk 2017, S. 268).

$EM_{Realität} > EM_{Simulation}$	AG1T1, IG2T5, EG3T,1 AG3T3, AG4T3, UG4T2
$EM_{Realität} = EM_{Simulation}$	AG1T2, EG1T3, EG1T5 AG2T2, AG2T4, EG4T4, OG3T6
$EM_{Realität} < EM_{Simulation}$	HG4T5, IG4T6

Das mathematische „größer als“ bzw. „kleiner als“-Zeichen soll anzeigen, in welcher Richtung sich in Abhängigkeit der Darbietungsform die Einordnung in ein anderes Niveau bezogen auf die jeweilige Kategorie verschiebt (*Lesebeispiel:* Fachlich-messtechnische Barriere: Für die Probanden AG1T2 und EG1T5 weist die Realität eine höhere Barriere auf (ist also schwieriger) als die Simulation; für die Probanden AG1T1 bis HG4T5 sind die Barrieren identisch (ist also gleich schwierig), für die Probanden EG1T3 bis IG4T6 weist die Realität eine niedrigere Barriere auf (ist also leichter) als die Simulation).

Übergreifend ergeben sich in der Modelleinordnung für alle Probanden Abweichungen zwischen den Darbietungsformen. Dabei ist es nicht einheitlich etwa derart ausgeprägt, dass für alle Probanden z. B. die Realität als einfacher wahrgenommen werden würde, sondern die Einordnung variiert eher unsystematisch. So können etwa Probanden identifiziert werden (vgl. AG2T2), für die sich auf der kausalrelativen Barriere die Realität und hingegen auf der mentalen Barriere die Simulation schwieriger gestaltet. Der Proband IG4T6 sieht sich relativ durchgängig von der fachlich-messtechnischen, der kausalrelativen, der methodischen und der emotional-motivationalen Barrieren in der Realität weniger stark herausgefordert; für ihn erscheint das Fehlersuchen in der Realität also einfacher und lediglich auf der mentalen Barrieren lässt sich eine Übereinstimmung festhalten

Für alle Barrieren gilt, dass auch übereinstimmende Einordnungen auftreten, jedoch ist kein Proband dabei, für den dies durchgängig über alle Barrieren gelten würde. Für eine Diagnostik auf Basis von Prozessdaten würden also in gewissem Maße Fehleinstufungen auftreten, obwohl die Anforderung des Fehlerfalls formal identisch ist, aber eben unterschiedlich dargeboten wird. Das ist aus einer diagnostischen Perspektive zunächst nicht akzeptabel und sind weitere Forschungsbemühungen notwendig, um die Ursachen dieser Abweichungen zu identifizieren. Ein

Teil der Abweichungen kann sicher auf die Umsetzung der Simulation zurückgeführt werden. Die Simulation CIROS© wurde zu Schulungs- bzw. Ausbildungs- und nicht zu diagnostischen Zwecken entwickelt und wird in Lehr-Lernarrangements verwendet. Daher ist die Verwendung im Rahmen dieser Forschungsarbeit zunächst auch etwas zweckentfremdend. Ggf. sind auch die effektrelevant werdenden abweichenden Merkmale von Simulationen zu Förder- vs. diagnostischen Zwecken weiter herauszuarbeiten und zu spezifizieren.

4 Zusammenfassung, Grenzen der Forschungsarbeit und weitere Forschungsperspektive

Die hier vorgestellte qualitative Forschungsarbeit fokussierte auf die vergleichende Analyse von Fehlersuchprozessen Auszubildender im Beruf Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik. Der Vergleich bezog sich auf die eingehende Untersuchung der getätigten Prozessschritte von Fehlerdiagnosen an einer komplexen automatisierungstechnischen Anlage, die sowohl in der Realität als auch computersimuliert dargeboten wurde. Als Realobjekt dienten zwei miteinander verbundene MPS©-Stationen (Verteilen und Handhaben) sowie deren Simulation durch die Software CIROS©, beide von der Fa. Festo Didactic.

Im Ergebnis konnte für den Prozessvergleich der einzelnen Fehlersuchschritte der Auszubildenden gezeigt werden, dass sowohl weitgehend übereinstimmende als auch abweichende Verläufe zwischen den Darbietungsformen auftreten. Damit erscheint es einerseits möglich, auch mit Simulationen Fehlersuchprozesse, die vergleichbar mit der Realität sind, abzubilden. Andererseits konnten Abweichungen festgestellt werden, die dieser Einschätzung entgegenstehen. In einer diagnostischen Perspektive ergibt sich ebenfalls eine uneinheitliche Befundlage: Bezogen auf die Einordnung der Probanden auf spezifische Barriereniveaus der Fehlersuche ergeben sich in Abhängigkeit der Darbietungsform ebenfalls Abweichungen: In Teilen wurde ein zu hohes, in Teilen ein zu niedriges, in Teilen aber auch übereinstimmendes Fähigkeitsniveau auf Basis der Prozessdaten attestiert.

Die hier präsentierten Befunde sind in ihrer Belastbarkeit eingeschränkt. Ungünstig für das Forschungsvorhaben und der Einlösung der wissenschaftlichen Gütekriterien war, dass für die Codierung der Fehlersuchprozesse nicht mehrere Rater einbeziehbar waren. Aufgrund der zwingend notwendigen Fachexpertise in Kombination mit dem hohen Echtzeitanteil sind Rater nicht einfach zu gewinnen. Ebenfalls ist darauf hinzuweisen, dass alle Aussagen nur auf Basis der Auswertungen *eines* Fehlerfalls erfolgten. Damit ist nicht auszuschließen, dass die spezifischen Merkmale der Problemcharakteristik mit ursächlich für die Befunde sind. Aufgrund der großen Aufwände in der Auswertung und der hohen Echtzeitanteile war der intensive Einbezug der weiteren Fehlerfälle 1 und 3 nur stichprobenartig möglich und konnten in den hier präsentierten, intensiv durchgeführten Auswertungen nicht mit einbezogen werden. Für belastbarere Antworten auf die gestellte Forschungsfrage wäre die Begutachtung mehrerer Fehlerfälle aber zwingend. Darüber hinaus sind für diagnostische Zwecke an die Software CIROS© weitere Annäherungen an reale MPS©-Stationen und ggf. eine veränderte bzw. erweiterte Bedienung notwendig. Dies betrifft u. a. die nicht realitätsgerecht in der Simulation abgebildeten Verbindungsleitungen und -schläuche und erweiterte Messmöglichkeiten. Die hier vorgestellten Befunde zeigen auf, dass für Arbeitsproben zur Vermeidung von Verzerrungen in den Prozessdaten hoch authentische Software notwendig wird, die weitgehend die (grafische) Anmutungsqualität sowie die Bedien- und Messmöglichkeiten anbietet, wie sie auch in der Realität vorhanden sind.

Als gleichbleibend-unveränderlich unterstellt, jedoch dezidiert nicht bearbeitet, ist an dieser Stelle auch die generelle Stabilität und Sicherheit von Fehlersuchprozessen von Auszubildenden

zu hinterfragen. In der hier gewählten, kleinschrittigen Auswertungsperspektive ist unklar, welche Abweichungen von einer „Ideallinie“ einer bereits dokumentierter Fehlersuche akzeptabel erscheinen und inwieweit überhaupt die Idee einer immer gleich verlaufenden Fehlersuche bei gleichartiger Fehlerstörung unabhängig von „Tagesform“, Zufälligkeiten und Motivation zutreffend ist. Dieser Frage nach der Stabilität von Fehlersuchprozessen muss mit im Längsschnitt angelegten Untersuchungen ebenfalls nachgegangen werden.

Weitere Zugänge im Vergleich der Fehlersuchprozesse in Abhängigkeit der Darbietungsform bestehen neben der reinen Auswertung der Videografiedaten und den sodann notwendigen, in Teilen unsicheren, hier hoch inferenten Schlussfolgerungen (z. B. bzgl. der Einordnung auf die Niveaus der Barrieren) auch in der Möglichkeit, mittels Lautem Denken oder einem Nachbetrachten des Videos mit Auskommentierung der Handlungen durch den Probanden selbst. Dies könnte die Begründungen für die vorgenommenen, aber auch für die unterlassenen Handlungsschritte und Schwierigkeiten der Probanden ggf. zugänglich machen.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit liefern allenfalls Orientierung in der Frage der Vergleichbarkeit von Prozessdaten der Fehlersuche in Abhängigkeit der Darbietungsform. Die Arbeiten stehen auch forschungsmethodisch am Anfang. Sollte es gelingen, (weitgehend) ähnliche Prozessschritte auch in simulativen Arbeitsproben zu erhalten, wäre die Möglichkeit gegeben, innerhalb der notwendigen vergleichsweise langen Testzeiten zur Erfassung der Problemlöse- oder Fehleranalysefähigkeit mehr Informationen zu gewinnen und die Reliabilität und Validität des diagnostischen Verfahrens zu erhöhen. Im Rahmen der ASCOT-Initiative entstanden mehrere hoch authentische Simulationen (vgl. Walker u. a. 2016), die gezielt für diagnostische Zwecke entwickelt wurden und die für weitere vergleichende Prozessanalysen in günstiger Weise verwendbar sind.

Literatur

Abele, S. (2014). Modellierung und Entwicklung berufsfachlicher Kompetenz in der gewerblich-technischen Ausbildung. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.

Abele, S., Behrendt, S., Weber, W. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern – Messverfahren, Kompetenzdimensionen und erzielte Leistungen (KOKO Kfz). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse der BMBF-Förderinitiative ASCOT (171-204). Bielefeld: Bertelsmann.

Abele, S. (2017). Diagnostic problem-solving process in professional contexts: theory and empirical investigation in the context of car mechatronics using computer-generated log-files. Vocations and Learning, 1-27. https://doi.org/10.1007/s12186-017-9183-x, Stand vom 21.12.2017.

Abele, S., Ostertag, R., Peissner, M. & Schuler, A. (2017). Eine Eye-Tracking-Studie zum diagnostischen Problemlöseprozess: Bedeutung der Informationsrepräsentation für das Lösen diagnostischer Probleme. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), 113(1), 86-109.

Baethge, M. & Arends, L. (2009). Feasibility Study VET-LSA. A comparative analysis of occupational profiles and VET programmes in 8 European countries – International report. Bielefeld: Bertelsmann.

Beck, K., Landenberger, M. & Oser, F. (2016). Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse der BMBF-Förderinitiative ASCOT. Bielefeld: Bertelsmann.

BMBF (2012) (Hrsg.). Berufliche Kompetenzen sichtbar machen. Die Forschungsinitiative ASCOT. Bonn.

BMBF (2014) (Hrsg.). Impulse für die Ausbildung der Zukunft Innovative Kompetenzmessung in einer dynamischen Arbeitswelt. Bonn.

BMBF (2015) (Hrsg.). Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung (ASCOT). Ergebnisse und Bedeutung für Politik und Praxis. Bonn.

Festo Didactic (2003a). Handbuch Station Handhaben. Denkendorf.

Festo Didactic (2003b). Handbuch Station Verteilen. Denkendorf.

Festo Didactic (2006/2010). Handbuch CIROS. Advanced Mechatronics. Denkendorf.

Fischer, M., Becker, M. & Spöttl, G. (2011). Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung – Probleme und Perspektiven. Frankfurt a. M. u. a.: Peter Lang.

Funk, S. (2017). Erfassung und Analyse von Prozessqualitäten der Fehlerdiagnose bei Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik in simulierten und realen Anforderungssituationen. Berlin: Logos.

Funk, S. (2017b). Zusatzheft. Erfassung und Analyse von Prozessqualitäten der Fehlerdiagnose bei Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik in simulierten und realen Anforderungssituationen. Berlin: Logos.

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.

Gschwendtner, T., Abele, S. & Nickolaus, R. (2009). Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von KFZ-Mechatronikern. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), 105(4), 557–578.

Gschwendtner, T., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2007). Förderung und Entwicklung der Fehleranalysefähigkeit in der Grundstufe der elektrotechnischen Ausbildung. Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, 13, 1-20. http://www.bwpat.de/ausgabe13/gschwendtner_etal_bwpat13.pdf, Stand vom 21.12.2017.

Hedrich, M. & Geißel, B. (2012). Barrieren in der Fehlersuche von Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik. Eine qualitative Untersuchung von Fehlersuchprozessen an Wechselschaltungen. Die berufsbildende Schule, 64(10), 286-293.

Knöll, B. (2007). Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung. Eine empirische Untersuchung in der Grundausbildung von Elektroinstallateuren. Aachen: Shaker.

Konradt, U. (1992). Analyse von Strategien bei der Störungsdiagnose in der flexibel automatisierten Fertigung. Bochum: Brockmeyer

Lewin, K. & Rupp, H. (1928). Untersuchungen zur Textilindustrie. Psychologische Zeitschrift, 3, 8-23 u. 51-63.

Link, N. (2016). Problemlösen bei der Programmierung von speicherprogrammierbaren Steuerungen in komplexen automatisierten Systemen. Berlin: Logos.

Lotz, M., Gabriel, K. & Lipowsky, F. (2003). Niedrig und hoch inferente Verfahren der Unterrichtsbeobachtung. Analysen zu deren gegenseitigen Validierung. Zeitschrift für Pädagogik (ZfP), 59(3), 357-380.

Mayring, P. (2002). Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken. Weinheim, Basel: Beltz

Nickolaus, R., Abele, S. & Gschwendtner, T. (2011). Valide Abschätzungen von Kompetenzen als eine notwendige Basis zur Effektbeurteilung pädagogischer Handlungsprogramme – Herausforderungen, Ansätze und Perspektiven. In M. Fischer, M. Becker & G. Spöttl (Hrsg.), Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung – Probleme und Perspektiven (57–74). Frankfurt a.M. u. a.: Peter Lang.

Rasmussen, J. (1981). Models on mental strategies in process plant diagnosis. In J. Rasmussen & W.B. Rouse (Hrsg.), Human detection and diagnosis of system failures (241-248). New York: Plenum Press.

Rasmussen, J. (1986). Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering. New York: Elsevier Science Publisher.

Rausch, A., Seifried, J., Wuttke, E., Kögler, K., Egloffstein, M., Warwas, J. & Wolf, K. (2015). „Und wo bleiben die Emotionen?“ – Zur Berücksichtigung nicht-kognitiver Faktoren bei der Förderung und Diagnose von Problemlösekompetenz. In A. Rausch, J. Warwas., J. Seifried & E. Wuttke (Hrsg.), Konzepte und Ergebnisse ausgewählter Forschungsfelder der beruflichen Bildung – Festschrift für Detlef Sembill (211-234). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Rowold, J., Hochholdinger, S. & Schaper, N. (2009). Evaluation und Transfersicherung betrieblicher Trainings. Modelle, Methoden und Befunde. Göttingen: Hogrefe.

Sonntag, K. & Schaper, N. (1997). Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: vdf.

Walker, F., Link, N. & Nickolaus, R. (2015). Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), 111(2), 222-241.

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 Kompetenz-

messung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse der BMBF-Förderinitiative ASCOT (139-170). Bielefeld: Bertelsmann.

Wiedemann, J. (1995). Ermittlung von Qualifizierungsbedarf – am Beispiel der Störungsdiagnose in der flexiblen Fertigung. Münster, New York: Waxmann.

Ziegler, B., Frey, A., Seeber, S., Balkenhol, A. & Bernhardt, R. (2016). Adaptive Messung allgemeiner Kompetenzen (MaK-adapt). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse der BMBF-Förderinitiative ASCOT (33-54). Bielefeld: Bertelsmann.

PROF. DR. BERND GEIßEL
PH Ludwigsburg, Institut für Naturwissenschaften und Technik
Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
geissel@ph-ludwigsburg.de

DR. SANDRA FUNK
PH Ludwigsburg, Institut für Naturwissenschaften und Technik
Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg

Zitieren dieses Beitrags:

Geißel, B. & Funk, S. (2018). Vergleichende Analyse von Fehlersuchprozessen bei Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik in simulierten und realen Anforderungssituationen. Journal of Technical Education (JOTED), 6(1), 101–122.