

Geißel, Bernd; Hedrich, Matthias

Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern

Faßhauer, Uwe [Hrsg.]; Aff, Josef [Hrsg.]; Fürstenau, Bärbel [Hrsg.]; Wuttke, Eveline [Hrsg.]: *Lehr-Lernforschung und Professionalisierung. Perspektiven der Berufsbildungsforschung*. Opladen ; Farmington Hills, Mich. : Verlag Barbara Budrich 2011, S. 11-23. - (Schriftenreihe der Sektion Berufs- und Wirtschaftspädagogik der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (DGfE))



Quellenangabe/ Reference:

Geißel, Bernd; Hedrich, Matthias: Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern - In: Faßhauer, Uwe [Hrsg.]; Aff, Josef [Hrsg.]; Fürstenau, Bärbel [Hrsg.]; Wuttke, Eveline [Hrsg.]: *Lehr-Lernforschung und Professionalisierung. Perspektiven der Berufsbildungsforschung*. Opladen ; Farmington Hills, Mich. : Verlag Barbara Budrich 2011, S. 11-23 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-70215 - DOI: 10.25656/01:7021

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-70215>

<https://doi.org/10.25656/01:7021>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<https://www.budrich.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Lehr-Lernforschung und Professionalisierung

Schriftenreihe der Sektion
Berufs- und Wirtschaftspädagogik
der Deutschen Gesellschaft für
Erziehungswissenschaft (DGfE)

Uwe Faßhauer
Josef Aff
Bärbel Fürstenau
Eveline Wuttke (Hrsg.)

Lehr-Lernforschung und
Professionalisierung
Perspektiven der Berufsbildungsforschung

Verlag Barbara Budrich
Opladen & Farmington Hills, MI 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten.

© 2011 Verlag Barbara Budrich, Opladen & Farmington Hills, MI
www.budrich-verlag.de

© Dieses Werk ist im Verlag Barbara Budrich erschienen und steht unter folgender
Creative Commons Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de>
Verbreitung, Speicherung und Vervielfältigung erlaubt, kommerzielle Nutzung und
Veränderung nur mit Genehmigung des Barbara BudrichVerlags.



Dieses Buch steht im OpenAccess Bereich der Verlagsseite zum kostenlosen
Download bereit (<http://dx.doi.org/10.3224/86649367>)
Eine kostenpflichtige Druckversion (Printing on Demand) kann über den Verlag
bezogen werden. Die Seitenzahlen in der Druck- und Onlineversion sind identisch.

ISBN 978-3-86649-367-4
DOI 10.3224/86649367

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Ver-
wertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustim-
mung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigun-
gen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in
elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: disegno visuelle kommunikation, Wuppertal – www.disenjo.de
Druck: Paper & Tinta, Warschau
Printed in Europe

Vorwort 9

Teil I: Lehr/Lernforschung in der beruflichen Bildung

Bernd Geißel, Matthias Hedrich
Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in
simulierten und realen Anforderungssituationen bei
Elektronikern 11

Matthias Hofmuth, Susanne Weber
Zur Messung interkultureller Kompetenz 25

Christina Keimes, Volker Rexing, Birgit Ziegler
Leseanforderungen im Kontext beruflicher Arbeit als Aus-
gangspunkt für die Entwicklung adressatenspezifischer inte-
grierter Konzepte zur Förderung von Lesestrategien 37

Stephan Schumann, Maren Oepke, Franz Eberle
Über welche ökonomischen Kompetenzen verfügen
Maturandinnen und Maturanden? Hintergrund,
Fragestellungen, Design und Methode des Schweizer
Forschungsprojekts OEKOMA im Überblick 51

Susanne Weber, Stephanie Starke
„Networking“ als Lernziel der Entrepreneurship
Education 65

Anne Windaus, Svitlana Mokhonko, Reinhold Nickolaus
Evaluationsstudie zu den Effekten außerschulischer
Fördermaßnahmen im MINT- Bereich 75

Bernd Zinn
Entwicklung eines Instruments zur Erhebung der
epistemologischen Überzeugungen von Auszubildenden 87

<i>Nina Bender</i>	
Die Abbildung vernetzten Wissens zur privaten Ver- und Überschuldung mit Concept Maps	99
<i>Jeannine Ryssel, Bärbel Fürstenau</i>	
Unterstützung des Lernens betriebswirtschaftlicher Inhalte durch Concept Maps oder Textzusammenfassungen – eine vergleichende Untersuchung im Rahmen des Planspielunterrichts	111

Teil II : Professionalisierung des Personals in der beruflichen Bildung

<i>Margit Ebbinghaus</i>	
Welche Rolle spielen berufliche und pädagogische Qualifikationen dafür, Mitarbeitern Ausbildungsaufgaben zu übertragen? Ergebnisse einer Betriebsbefragung	123
<i>Birgit Lehmann, Hermann G. Ebner</i>	
„Ein Lehrer ist wie...“: Mit welchen Metaphern umschreiben Studierende der Wirtschaftspädagogik die Tätigkeit von Lehrpersonen?	135
<i>Maika Gausch, Jürgen van Buer</i>	
Studienwechsel als Indikator für Scheitern?	147
<i>Anna Gewiese, Eveline Wuttke, Ronny Kästner, Jürgen Seifried, Janosch Türling</i>	
Professionelle Fehlerkompetenz von Lehrkräften – Wissen über Schülerfehler und deren Ursachen	161
<i>Martin Kröll</i>	
Motivstrukturen zur wissenschaftlichen Weiterbildung	173

Teil III: Organisationsentwicklung und Systemaspekte beruflicher Bildung

Esther Berner, Hans-Jakob Ritter

Die Entstehung und Entwicklung des Berufsbildungssystems
in der Schweiz 1880-1930 – Föderalismus als ‚Reformlabor‘
für die Berufsbildung 187

Mathias Götzl

Entwicklung des „beruflichen“ Teilzeitschulwesens im
Grhzm. Sachsen-Weimar-Eisenach unter besonderer
Berücksichtigung der Residenz- und Universitätsstadt
Jena (1821–1925) 199

Karin Wirth, Julia Gillen

Dreifachqualifizierung am Übergang von der Schule in den
Beruf – Strukturen, Prozesse und Effekte des Hamburger -
Schulversuchs EARA 211

Jana Rückmann, Cornelia Wagner

Integratives Qualitätsmanagement an beruflichen Schulen im
Berliner Modellversuch SUE 229

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren 241

Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern¹

Bernd Geißel, Matthias Hedrich

1. Fragestellung und Forschungsstand

Durch die Erweiterung ursprünglich enger, zugeschnittener Tätigkeitsfelder von Facharbeiter/innen, hervorgerufen durch den technischen Wandel mit ansteigender Komplexität sowie der damit verbundenen Störanfälligkeit betreffender technischer Systeme, erfährt die Fehlersuche im beruflichen Alltag von Facharbeiter/-innen eine starke Bedeutungszunahme. Besonders kritisch ist hierbei, dass gerade diese Facette von Fachkompetenz erhöhte kognitive Ansprüche stellt und dadurch zu einem leistungskritischen Merkmal wird.

Die bildungsadministrativen Vorgaben (vgl. z.B. KMK 2003) greifen folgerichtig diesen Kompetenzaspekt – exemplarisch sei dies für das Berufsfeld Elektroniker herausgestellt – an mehreren Stellen der Lernfeldvorgaben explizit auf: So wird bereits im Lernfeld 1: *Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen* unmittelbar zu Beginn der Berufsausbildung u.a. formuliert: „Die Schülerinnen und Schüler prüfen die Funktion elektrischer Schaltungen und Betriebsmittel. Sie analysieren und beheben Fehler.“ (vgl. ebd., S. 13) Die durch die Curricula vorgegebene Intensivierung der Förderung der Fehleranalysefähigkeit findet primär Mitte des zweiten Ausbildungsjahrs im Lernfeld 6: *Anlagen und Geräte analysieren und prüfen* ihren Niederschlag (vgl. ebd., S. 18).

Aus empirisch-quantitativ ausgerichteten Arbeiten gewerblich-technischer Lehr-Lern-Forschung, die die Fehleranalysefähigkeit² von Auszubildenden und Facharbeitern zum Gegenstand haben, ist jedoch bekannt, dass trotz dieser zentralen curricularen Verankerung und Gewichtung der Kompetenzaspekt nicht in wünschenswerter Weise ausgeprägt ist (vgl. Gschwendtner/Geißel/Nickolaus 2007; Knöll 2007; Sonntag/Schaper 1997). So bewegten sich die Lösungsquoten bei Fehlersuchen, die anhand von Computersimulationen technischer Systeme mit Auszubildenden im Beruf Elektronikern durchgeführt wurden für durch das Curriculum abgedeckte technische

1 Die Untersuchung wurde von der Forschungsförderungsstelle der PH Ludwigsburg mit einer Sachbeihilfe unterstützt.

2 Die Termini Fehleranalysefähigkeit und Diagnosekompetenz werden synonym verwendet, zumal sich deren übliche Operationalisierungsformen in den genannten Untersuchungen kaum unterscheiden.

Systeme (Akkuboehrschrauber, Kochplatte, Wechselschaltung) i.d.R. zwischen 10% und 65% (vgl. ebd.; Nickolaus/Geißel 2009).

Auch spezifisch ausgerichtete fachdidaktische Instruktionsvarianten, die in den vorliegenden Interventionsstudien (vgl. Gschwendtner/Geißel/Nickolaus 2007; Nickolaus/Geißel 2009; Sonntag/Schaper 1997) auf ihre Effekte zur Förderung der Fehleranalysefähigkeit geprüft wurden, bieten derzeit keine empirisch bestätigten Handlungsmöglichkeiten für Lehrende an. Als effektrelevante Barrieren wurden bei den Auszubildenden durch die Forschergruppen Förderpotentiale im Bereich der Fehlersuchstrategien, dem deklarativen Wissen, der Metakognition u.ä. unterstellt und die Interventionen auf diese Zieldimensionen ausgerichtet. Durchgeführt wurden die Interventionsstudien überwiegend mit Computersimulationen, teils jedoch auch an realen technischen Systemen.

Detaillierte Ergebnisse können aus Raumgründen an dieser Stelle nicht referiert werden, jedoch kann zusammenfassend festgehalten werden, dass sich überwiegend nur dann positive Effekte ergaben, sofern das technische System zwischen Lern- und anschließender Evaluationsphase identisch blieb. Die ebenfalls erwünschte Förderung der Transferfähigkeit ließ sich jedoch nicht nachweisen. Konkret bedeutet dies, dass Auszubildende, die etwa zu Strategien der Fehlersuche an einem Akkuboehrschrauber instruiert wurden, daraufhin eher in der Lage waren weitere Fehler an Akkuboehrschraubern korrekt zu diagnostizieren, sie es jedoch nicht leisten konnten, die erlernten Strategien auch für die Fehlersuche in anderen Systemen, wie z.B. der Kochplatte und der Wechselschaltung gemessen an den Lösungsquoten in fruchtbarer Weise, anzuwenden.

Vorliegende Modelle und Theorien diagnostischen Handelns (vgl. hierzu die Übersicht von Sonntag/Schaper 1997, S. 39ff.), die auf die Frage wirksamer Barrieren sowie der Transferproblematik hätten eine Antwort geben können, fokussieren überwiegend in einem psychologisch orientierten Zugriff auf die (optimalen) Diagnoseprozesse von Experten und versuchen, das Verhalten von Experten in der Störungsdiagnose auf Basis der generierten mentalen Modelle zu prognostizieren (vgl. z.B. Rouse/Rouse/Pellegrino 1980; Rasmussen 1983). Dabei werden die Handlungen soweit vom Fehler-suchprozess abstrahiert, dass inhaltsleer beschriebene Kategorien entstehen. Für gezielte didaktische Maßnahmen fallen die Abstraktionsgrade dieser Arbeiten daher zu hoch aus.

Für das eigene Forschungsanliegen anschlussfähig ist aus diesen Arbeiten, dass im Prozess der Fehlerdiagnose eine Vielzahl von Informationen verarbeitet werden müssen, die für Auszubildende auch als Barrieren wirksam werden und ggf. für ein Scheitern verantwortlich sein könnten. Exemplarisch seien die Quantität von prinzipiellen Fehlermöglichkeiten, Hypothesenbildung, Anzahl der zu prüfenden plausiblen Hypothesen, Auffinden betreffender Komponenten im technischen System, Datenerfassung (Mess-

technik, Verfügbarkeit technischer Manuale, ...) und Interpretation der Daten genannt. Nickolaus, Gschwendtner und Geißel (2008) konnten in ihren neueren Arbeiten darüber hinaus zeigen, dass sich erweiternd die Modellierungsnotwendigkeit, die Transparenz einer Fehlersituation sowie der Grad der Vernetztheit der Elemente eines technischen Systems schwierigkeitszeugend auswirken und folglich ebenfalls als Barrieren interpretiert werden können. Jedoch liefern auch diese Befunde keine immanente Beschreibung der Barrieren aus dem Fehleranalyseprozess heraus, sondern entstammen ausschließlich post hoc-Aufgabenanalysen der (systematisch) variierten Anforderungssituationen.

An dieser Stelle möchte die folgende Untersuchung einen Beitrag liefern, indem empirisch die Frage bearbeitet werden soll, welche Barrieren von Auszubildenden in Fehlersuchprozessen identifiziert, wie beschrieben und – sofern möglich – relationiert werden können. Ergänzend soll, da in den oben referierten Untersuchungen die Darbietungsform der technischen Systeme variierte, ein Vergleich einbezogen werden, inwieweit Hinweise auf differente Fehlersuchhandlungen und Barrieren zwischen Realität und Computersimulation zu finden sind.

2. Forschungsdesign, Datenerfassung und -auswertung

Die beiden Forschungsfragen erfordern eingehende Prozessanalysen von Fehlersuchen Auszubildender, wofür ein empirisch-qualitatives Forschungsdesign gemäß dem Untersuchungsplan von Einzelfallanalysen geeignet ist (vgl. z.B. einführend Mayring 2002, S. 41ff.).

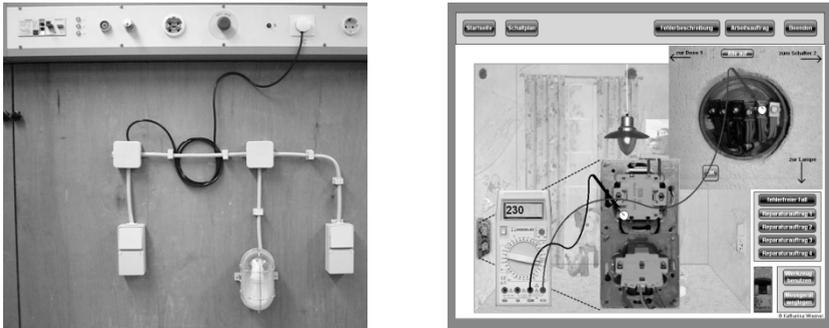
Es wurde daher geplant und auch umgesetzt, zur Datenerfassung Videoaufzeichnungen von Fehlersuchen bei N=15 Auszubildenden, am Ende ihres 2. Ausbildungsjahrs, im Beruf Elektroniker/-in für Energie- und Gebäudetechnik, zu erstellen und auszuwerten. Zu diesem Zeitpunkt der Ausbildung hatte die Untersuchungsgruppe das Lernfeld 6 (vgl. Kap. 1) bereits absolviert. Um Vergleiche zwischen den Darbietungsformen zu ermöglichen, wurden sowohl Fehlersuchen der Auszubildenden in der Realität als auch Fehlersuchen in einer Computersimulation aufgezeichnet.

Sowohl in der Realität als auch in der Simulation wurden je 3 fehlerbehaftete Wechselschaltungen zur eigenständigen Fehleranalyse den Auszubildenden vorgegeben. In beiden Darbietungsformen wurden die gleichen Fehler präsentiert: ein defekter Schalter, ein Drahtbruch eines Korrespondierenden sowie ein Drahtbruch des Neutralleiters. Mittels kundenorientiert gestalteter Reparaturaufträge, die bezüglich ihrer Oberflächenmerkmale zwischen den beiden Messzeitpunkten verändert wurden, erfolgte die Konfrontation der Auszubildenden mit den Fehlerfällen und die Aufforderung, die Fehler zu

bestimmen, die Fehlersuchprozesse schriftlich zu dokumentieren sowie Maßnahmen der Fehlerkorrektur(en) dem Kunden aufzuzeigen. Die Bearbeitungszeit betrug in der Realität je Fehlerfall 30 min., in der Simulation je Fehlerfall 10 min.

Die realen Schaltungen wurden im Labor einer beruflichen Schule an Montagebrettern aufgebaut (vgl. Abb. 1).³ Als Werkzeuge und Hilfsmittel standen den Probanden Schraubendreher, Duspol, Digitalmultimeter sowie das Tabellenbuch zur Verfügung. Die Datenerhebungen im Schullabor erfolgten in 3 getrennten Gruppen á fünf Probanden. Für jeden Auszubildenden stand eine separate Kamera zu Verfügung. Die jeweilige Kamera war neben dem Auszubildenden, leicht diagonal und etwas nach hinten versetzt, auf einem langen Stativ positioniert und auf das Montagebrett ausgerichtet. Damit konnten alle Operationen, die der Auszubildende an der Schaltung vornahm, wie z.B. Durchführung von Messungen oder An- und Abklemmen von Adern usw., erfasst werden. Etwas ungünstig wirkte sich in der Praxis die Kamerapositionierung auf den Mitschnitt der Displayanzeigen des Digitalmultimeters aus. Je nach Handhabung des Messinstruments durch den Auszubildenden war das Display nicht mehr im Film erkennbar.

Abbildung 1: Darbietungsformen von Wechselschaltungen: Reale Schaltung (linkes Bild) und Simulation (rechtes Bild)



Die Simulation konnte in einem PC-Raum mit der gesamten Klasse durchgeführt werden. Die Fehlersuchprozesse wurden hierbei mit einer im Hintergrund laufenden Aufzeichnungssoftware dokumentiert, die bei jedem Mausklick automatisch ein Screenshot auslöste und mit Uhrzeit versehen

3 Die realen Schaltungen stellen damit, darauf sei hingewiesen, nur eine wirklichkeits-
angenäherte Repräsentationsform einer Wechselschaltung eines Zimmers dar.

speicherte.⁴ Die Auszubildenden waren über diese Prozessdokumentation informiert.

Ergänzend wurden als Kontrollvariablen mit einem Paper-Pencil-Test, Fachwissensausschnitte mit Bezug zur Wechselschaltung sowie das fachspezifische Interesse - FSI (Schiefele u.a. 1993) erfasst. Die kommunikative Validierung der Ergebnisse mit den Auszubildenden steht noch aus und ist für Oktober 2010 geplant.

Die einzelnen Datenerhebungen werden zusammenfassend im Zeitstrahl chronologisch dargestellt werden (vgl. Abb. 2)

Abbildung 2: Messzeitpunkte der Untersuchung



Die Prozessdaten (Realität, Simulation) mussten vor der eigentlichen Auswertung zunächst aufbereitet werden. Hierzu wurde das Filmmaterial (Realität) bzw. die Screenshots (Simulation) in mehrfachen Betrachtungsdurchgängen von der Forschergruppe im Anschluss an eine erste offene Sichtung des Materials durch Notation aller Operationen⁵ in textbasierte Skripte überführt.

In den nun anschließenden Auswertungen wurden durch die Sichtung der Aufzeichnungen sowie im Anschluss an die Befunde (vgl. Kap. 1) Kategorienschemata zur Beschreibung von Barrieren der Fehlersuche aus den nun skriptiert vorliegenden Operationssequenzen der Auszubildenden heraus entwickelt. Im Einzelnen erfolgte die Datenauswertung in drei aufeinander aufbauenden Kodiervorgängen. Der erste Kodiervorgang („offenes Kodieren“; vgl. Strauss 1998, S. 57; Mayring 2002) lieferte auf Basis empirischer Indika-

4 Parallel wurde versuchsweise an einigen Rechnern auch Software eingesetzt, die die Operationen der Auszubildenden zusätzlich als digitalen Film speicherten. Problematisch war hierbei jedoch, dass ein Mausklick unter Umständen nicht als solcher im Film erkennbar war.

5 Im Anschluss an Leontjews (1982) tektonisches Handlungsmodell, das drei Ebenen, – Tätigkeiten, Handlungen, Operationen – differenziert, werden unter Operationen die kleinsten beobachtbaren Analyseeinheiten der Fehlersuchhandlungen gefasst, wie bspw.: der Schüler führt eine Sichtkontrolle am linken Schalter durch, er prüft den Durchgang eines Korrespondierenden zwischen den Verteilerdosen X1 und X2, er misst Spannung an der linken Steckdose usw.

toren⁶, sehr allgemein gehaltene erste Kategorienvorschläge und Hinweise auf deren interne Ausdifferenzierung. Im zweiten Kodiervorgang (extremtypengeleitetes Kodieren) wurden die Operationen von Probanden aus den Leistungsrandbereichen (alle Fehlerfälle gelöst vs. kein Fehlerfall gelöst) kontrastierend kodiert, wodurch eine Schärfung der Kategoriengrenzen erreicht werden konnte. Im dritten Kodiervorgang (abgleichendes Kodieren) erfolgte die weitere Feindifferenzierung von Abstufungen innerhalb der einzelnen Kategorien bis zur weitestgehenden Erschöpfung des Datenmaterials (vgl. Strauss 1998, S. 55).

Zwischen die Kodiervorgänge waren jeweils theoretische Reflexionen geschaltet, die funktional einer Verifikation/Falsifikation der Kategorien und deren Abstufungen sowie einem Abgleich mit der bereits bestehenden Befundlage (vgl. Kap. 1) dienen. Damit folgt der eben beschriebene Kodiervorgang dem Ablaufmodell zur Konstruktion deskriptiver Systeme (Mayring 2002, S. 102) bzw. dem Konzept-Indikator-Modell von Strauss (vgl. Strauss 1998, S. 54).

Die eigentlichen qualitativ-interpretativen Herausforderungen bestanden in der Analyse und Einordnung, der von den Auszubildenden durchgeführten Diagnoseoperationen. Diese wurden auf „charakteristische Operationen“ hin durchforscht, welche als die bestimmende Größe für Hinweise auf Barrieren gesehen wurden. Explizit handelte es sich um „Brüche/Unstimmigkeiten“ im Fehlersuchprozess, d.h. wiederholende Operationen, sinnlose Prüfungen/Messungen, Sprünge im Vorgehen usw. (vgl. auch Sonntag/Schaper 1997, S. 155 ff.). Ausgehend von diesen charakteristischen Operationen konstituierten sich, wie bereits weiter oben angesprochen, die Kategorienschemata, die abstrahierend von den Daten nun allgemein beschrieben werden konnten und als „Schlüsselkategorie“ fungierten (vgl. Strauss 1998, S. 65).

In einem weiteren Auswertungsschritt wurden probandenbezogen die Fehlersuchhandlungen zwischen Simulation und Realität verglichen. Diese Perspektive gab dann Auskunft darüber, ob, und wenn ja, inwieweit sich die individuellen Strategien der Fehlersuche in der Realität von der Simulation sowie den identifizierbaren Barrieren unterscheiden.

6 Empirische Indikatoren sind nach Strauss Ereignisse und Verhaltensweisen, die in den Daten beobachtet werden (vgl. Strauss 1998, S. 54) und in unserem Falle den Operationen (vgl. Fußnote 5) und deren Abfolge entsprechen.

3. Ergebnisse

3.1 Barrieren der Fehlersuche

Ausgehend von den Kodierungen der Fehlersuche an der realen Schaltung, den extrahierten charakteristischen Operationen, sowie den in dem Auswertungsprozess eingewobenen theoretischen Reflektionen konnten fünf Schlüsselkategorien (mit jeweils vier Abstufungen) in den Daten beobachtet werden, die insgesamt einem erfolgreichen diagnostischen Handeln entgegenstehen oder dieses zumindest erschweren: fachliche, methodische, mentale, kausalrelative und emotional-motivationale Barrieren (vgl. Hedrich 2010).

Fachliche Barrieren sind u.a. durch Probleme im Umgang mit elektrotechnischen Messinstrumenten und dem Verstehen der Messergebnisse identifiziert. Methodische Barrieren kennzeichnen Unzulänglichkeiten in der Fehlersuchstrategie. Mentale Barrieren resultieren aus der Hürde, die vermeintlich einfache Topologie einer Wechselschaltung kognitiv nicht repräsentieren und modifizieren zu können.⁷ Eine kausalrelative Barriere liegt vor, wenn der Auszubildende keine systematische Deutung der eigenen Messergebnisse bzw. von aufeinander bezogenen Messwertereihen vornehmen kann. Die permanent anzustellenden Soll-Istwert-Vergleiche im gesamten Diagnoseprozess verlaufen dann ergebnislos und ein negativer Soll-Istwert-Vergleich kann als solcher gar nicht wahrgenommen werden. Schließlich ergaben die Analysen, dass die Diagnosekompetenz permanent mit einer emotional-motivationalen Barriere verbunden und somit die situationale Befindlichkeit des Auszubildenden zu inkludieren ist.

7 Die von mehreren Auszubildenden offerierten Lösungsangebote im Fachwissenstest zeigen, dass bereits die theoretische Reproduktion des Schaltplans einer Wechselschaltung nicht beherrscht wird. Des Weiteren ist zu vermuten, dass ggf. auch bei Vorliegen einer theoretischen Repräsentation der Transfer dieser Repräsentation auf die reale Schaltung eine ernst zu nehmende Hürde darstellt.

Tabelle. 1: Charakteristische Operationen und Barrieren

Charakteristische Operationen (Barrierehinweise)	Kategorien (allgemeine Barrieren)
keine gerätgestützten Prüfungen und Messungen, verlässt sich auf seine Sinne (Gesichtssinn, Tastsinn) anstatt auf Geräte; ...	FACHLICH ... Der Schüler ist nicht in der Lage Prüf- und Messgeräte zu bedienen und ihre Ergebnisse zu verstehen.
Bauteile werden willkürlich und durch Zufall ausgewählt; einzelne Prüf- und Mess-OP werden „springend“ und ohne zielgerichtetes Vorgehen vollzogen; ...	METHODISCH ... Der Schüler lässt keinerlei Systematik und Struktur in seiner Vorgehensweise erkennen.
eine Vielzahl wiederholender OP; Passagen mit langem und angestrengtem Überlegen zwischen den einzelnen OP; Lokalisationsangaben zu Fehlern können nicht gemacht werden; ...	MENTAL ... Der Schüler besitzt keine kognitive Repräsentation des (technischen) Gegenstandes der ihm ein zielorientiertes Vorgehen ermöglicht und ist auch nicht in der Lage sich eine solche zu erarbeiten.
sinnlose Prüfungen und Messungen; die OP werden unter mühsamem Überlegen gegeneinander abgewogen; es kommt zu massiven Brüchen in den OP; ...	KAUSALRELATIV ... Der Schüler hat keinerlei Möglichkeiten Ursache-Folge-Relationen abzuschätzen und die gemachten OP in einen Gesamtzusammenhang zu bringen.
wirkt unsicher; wirkt nervös; zeigt wiederholende Verlegenheitsgesten (z.B. mit der Hand an den Mund fassen); es kommen keine vernünftigen OPs zustande; die „innere Blockade“ ist nach außen hin deutlich zu beobachten; ...	EMOTIONAL-MOTIVATIONAL ... Der Schüler attribuiert ein (mögliches) Versagen internalen Faktoren zu (z.B. Unfähigkeit).

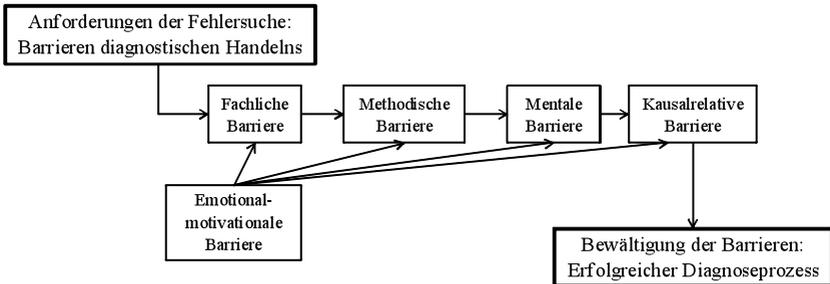
Die Barrieren dürfen nun nicht als vorhanden oder günstiger Weise als nicht vorhanden aufgefasst werden, sondern lassen sich innerhalb einer Kategorie, wie eingangs des Kapitels angesprochen, in vier Abstufungen untergliedern, die entsprechend ihrer Ausprägung, hervorgehend aus charakteristischen Operationen, einen Diagnoseprozess negativ beeinflussen können. Beispielhaft sei an dieser Stelle für jede Kategorie die unterste und somit „kritischste“ Kategorieabstufung dargestellt (vgl. Tab. 1). Aus Raumgründen kann die Deskription der verbleibenden Kategorien hier nicht erfolgen (vgl. ausführlicher Hedrich 2010).

Wir gehen davon aus, dass die Barrieren in einem geordneten Verhältnis zueinander stehen, also relationierbar sind. Das Auftreten und die Verteilung von charakteristischen Operationen legen nämlich nahe, dass, sofern z.B. fachliche Barrieren bestehen, nachrangige Barrieren (methodisch, mental, kausalrelativ) quasi nicht auftreten (können). Der Auszubildende dringt gewissermaßen nicht bis zu dieser Hürde eines Diagnoseprozesses vor. Die fachliche Barriere dominiert dann das beobachtbare Verhalten zu stark.

Permanent wirkend muss eine emotional-motivationale Barriere angeordnet werden, die parallel zu den ggf. bestehenden weiteren Barrieren eingreift und negativ wirksam werden kann. Es konnte beobachtet werden, dass Verhaltensweisen, die als nervös und unsicher aufgefasst werden können, sowie negative Einflüsse des klassenkollegialen Umfeldes, z.B. provozierende Anmerkungen/Verhaltensweisen, zu einer erheblichen Störung des Fehler-suchprozesses geführt haben. Bei darauffolgenden Reparaturaufträgen kon-

nten betreffende Auszubildende negative psychische Blockaden überwinden und ein erfolgreicher Diagnoseprozess aufgenommen werden.⁸

Abbildung 3: Barrieren diagnostischen Handelns



In Abb. 3 sind als Zusammenfassung der qualitativ gewonnen Befunde die Barrieren über eine Folgekette relationiert. Diese Darstellung beansprucht nicht, für sämtliche Diagnosehandlungen abschließend die einzige hierarchische Möglichkeit abzubilden, sowie überhaupt alle Barrieren identifiziert zu haben. In der Einleitung (vgl. Kap. 1) wurden weitere schwierigkeiterzeugende Merkmale von Fehlersuchen erwähnt, die in dieser Untersuchung, welche ausschließlich auf *ein* technisches System, jenes der Wechselschaltung, rekurriert, leider nicht einbezogen werden konnten.

Zur Förderung der Diagnosekompetenz sollte in einer didaktischen Perspektive mit binnendifferenzierenden Maßnahmen gesondert auf die je individuell verschieden Barrieren im Unterricht reagiert werden. Daran geknüpft ist allerdings die Entwicklung von Instrumenten zur Diagnostik der Barrieren, die zudem über die Vielzahl technischer Systeme hinweg variieren können.

Wie die Berücksichtigung dieser Bedingungen im beruflichen Unterricht konkret ausgestaltet und umgesetzt werden kann und wann sie von Erfolg gekennzeichnet ist, muss in einer empirisch-quantitativ ausgerichteten Folgeuntersuchung zur Evaluation spezifisch ausgerichteter Lehr-Lernarrangements geprüft werden.

8 Inwieweit dies ggf. auch Folge der Erhebungssituation mit Kamera war, muss offen bleiben. Die Erhebungssituation kann letztlich auch als eine besondere Belastungssituation gedeutet werden, die ebenfalls auf der Baustelle, beim Kunden vor Ort oder in einer Prüfung in dieser Weise auftritt und durch den Auszubildenden beherrscht werden sollte.

3.2 Vergleich der Darbietungsformen

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich ausschließlich auf die Auswertungen der Kodierungen von Fehlersuchen an der realen Wechselschaltung. Im Weiteren wird in vergleichender Perspektive auf Merkmale der Fehlersuchprozesse zwischen realer und simulierter Darbietungsform fokussiert.

Die vergleichende Analyse der Fehlersuchprozesse machte deutlich, dass der in der Realität dargebotene Schaltungsaufbau prinzipiell variantenreichere, aber auch den Diagnoseprozess vereinfachende Operationen (Eingriffs, Kontrollmöglichkeiten usw.) ermöglichte als die Simulation. Namentlich bezieht sich dies auf den direkten, unmittelbar sichtbaren Nachvollzug des Leitungsverlaufs auf der Schalttafel.⁹ Dies stellte eine deutliche Verringerung der Barriere mentaler Repräsentationsaufwände dar. Die Effektrelevanz dieses Unterscheidungsmerkmals wird dadurch gestützt, dass es insbesondere für jene Auszubildende¹⁰ schwieriger war, in der Simulation Fehler zu bestimmen, deren charakteristische Operationen auf Barrieren in der mentalen Repräsentation hindeuteten, was sich in der Simulation durch den höheren kognitiven Aufwand einer mentalen Modifikation gravierender auswirkte. Des Weiteren standen durch Umklemmen, Überbrücken usw. Operationen zur Verfügung, die in Verwendung einfachster Provisorien eine (eindeutige) Funktionskontrolle des entsprechenden Bauteils zulassen – eine Möglichkeit, die die verwendete Simulation nicht anbietet. Eine derartige Funktionskontrolle kann die Unsicherheit des Auszubildenden in seiner getroffenen Diagnose drastisch reduzieren und einen eindeutigen Endpunkt des Fehlersuchprozesses markieren. Unsere Analysen ergaben weitere Einschränkungen in der verwendeten Simulation, die sich auf die vordefinierte Sichtprüfung der Bauteile, die eingeschränkte Möglichkeit des Ausbaus von Bauteilen, die fehlende Möglichkeit des Umklemmens oder Überbrückens von Schaltungsbestandteilen, einer begrenzten Bildschirmfläche (nicht alle Elemente können gleichzeitig dargestellt werden), sowie das automatisch richtig durchgeführte Ab- und Anklemmen der Adern beziehen.

Diese Abweichungen begrenzen die direkte Vergleichbarkeit des Fehlersuchprozesses. Die Simulation der Wechselschaltung muss daher in den Folgeversionen weitere Funktionalitäten erhalten, um sich an die realen Operationen der Auszubildenden weiter anzunähern.¹¹ Die dokumentierten realen Handlungen der Auszubildenden sind als zu implementierende Handlungs-

9 Für Folgeuntersuchungen sollten die Leitungen so montiert werden, dass diese hinter der Tafel, also „unter Putz“ wie in der Simulation umgesetzt, verlaufen, und nicht mehr sichtbar sind.

10 Dies konnte bei vier Auszubildenden beobachtet werden, die in der Realität nur einen der drei Reparaturaufträge richtig lösten. Keinem dieser vier Auszubildenden gelang es dann, in der Simulation einen Fehler korrekt zu bestimmen.

11 Z.T. flossen bestimmte Erfordernisse in neuere Simulationsentwicklungen bereits mit ein.

wünsche für die Simulation aufzufassen. Dies führt auch an zunächst weniger beachtete Funktionsumfänge der Simulation heran, die aus Expertensicht nicht unmittelbar mit einer potentiellen Fehlerquelle in Verbindung stehen, dennoch von einem Teil der Auszubildenden als Fehlerquelle in Erwägung gezogen werden und daher anzubieten sind.

Für erste vergleichende Prozessanalysen der Fehlersuche in Abhängigkeit der Darbietungsform müssen nun jene Operationen der Auszubildenden ausgeklammert werden, die in der Simulation nicht vorkommen können. Zwar laufen die Auswertungen der Prozessanalysen noch, jedoch liegen die aufbereiteten Daten für drei Auszubildende inzwischen vor. Einer konnte in beiden Darbietungsformen alle Aufträge und die beiden anderen jeweils keinen der Aufträge korrekt lösen (Extremtypen).

Die Operationen des starken Auszubildenden bei der Simulationsbearbeitung deuten darauf hin, dass aufgrund der verdeckt liegenden Leitungen zunächst die mentale Repräsentation modifiziert werden musste, um die Schaltungstopologie zu erschließen. Nach dieser messtechnisch-prüfenden Erarbeitung dessen, erfolgte in der Simulation ein methodisches Vorgehen entlang einer vorwärtsgerichteten Strategie mit messtechnischen Prüfhandlungen, die – geschickt gewählt – gleich eine ganze Reihe von möglichen Fehlerquellen ausschlossen oder, sofern der Soll-Istwert-Vergleich negativ ausfiel, die Fehlerquelle eingrenzte.¹²

Bezogen auf die schwachen Auszubildenden waren ebenfalls charakteristische Operationen in vergleichbarer Weise zu beobachten. Deutlich drückte sich dies in beiden Fällen u.a. rein quantitativ in einer Anhäufung von Operationen aus, die durch blinden Aktionismus gekennzeichnet waren, wie es auch schon die Forschungsarbeiten um Sonntag und Schaper (1997) ergaben. Sowohl in der Realität als auch in der Simulation wurden permanent Mess- und Prüfoperationen vorgenommen und wiederholt, solange die emotional-motivationale Barriere weitere Operationen (noch) nicht behinderte. Verstärkt trat dieser Effekt jedoch bei der Simulation zu Tage. Einzelne Operationen können hier ungemein schnell mit wenigen Mausklicks abgehandelt werden, ohne dass aufgrund der hohen Geschwindigkeit eine kognitive Verarbeitung der Messergebnisse erfolgen kann.

Damit liegen nach diesen ersten Befunden zumindest an den Randbereichen des Kompetenzspektrums Hinweise auf mögliche Übereinstimmungen in den Prozessqualitäten vor. Zur weiteren Absicherung dieser ersten Aussagen sind jedoch zwingend Prozessvergleiche aus dem mittleren Leistungsspektrums abzuwarten. Diese Vergleiche stehen noch aus, sind jedoch in Vorbereitung.

12 Da die Simulation aufgrund der eingeschränkten Freiheitsgrade in der gleichzeitigen Darstellung von Bauelementen auf dem Bildschirm nicht alle Prüfhandlungen zuließ, musste der Auszubildende sein Vorgehen in der Simulation etwas kleinschrittiger wählen, blieb insgesamt jedoch mit dem Vorgehen in der Realität vergleichbar.

In einer didaktischen Perspektive ergeben sich aus diesem Befund weitere Anhaltspunkte dafür, gerade mit schwächeren Auszubildenden die Förderung der Diagnosekompetenz mittels Computersimulation zwingend in eine geleitete Struktur einzubetten, um eine Anhäufung von Operationen und ineffektive Lernzeiten zu vermeiden. Häufig werden gerade Simulationen als Selbstlernmedien im Unterricht eingesetzt, die ungestützt zur eigenständigen Bearbeitung Lernenden vorgegeben werden. Dies führt nachweislich zu vergleichsweise schlechteren Ergebnissen im Kompetenzzuwachs (vgl. Stark u.a. 1996).

4. Ausblick

In weiteren Forschungsarbeiten soll der Frage nachgegangen werden, in welcher Quantität die identifizierten Barrieren über größere Auszubildenden-gruppen auftreten und auf welcher Kategorienabstufung sich diese befinden. Hierzu sind weitere Datenerhebungen mit erhöhter Fallzahl notwendig. Durch Ausweitung der Datenbasis kann damit parallel der Frage nach der Struktur bzw. der Dimensionalität von Diagnosekompetenz nachgegangen werden. Es ist durchaus denkbar, dass sich die analytisch generierten Barrieren auch als empirisch eigenständige Dimensionen eines Modells von Diagnosekompetenz differenzieren lassen. Hierzu müssten vergleichend entgegen mehrdimensionale Raschmodelle gerechnet werden.

Ein Teil der Befunde ist unter dem Aspekt zu betrachten, dass die Simulation der Wechselschaltung noch nicht im vollen Umfang den Handlungsbedürfnissen von Auszubildenden entsprach. Folglich muss in den nächsten Schritten der Funktionsumfang der Simulation entsprechend erweitert werden. Im Anschluss können erneut vergleichende Prozessanalysen zwischen den Darbietungsformen angestellt werden, um mehr über die differenziellen Effekte der mittlerweile nicht mehr ganz so neuen Medien zu erfahren.

Bezogen auf die Lösungsquoten von Fehlersuchen bei Kfz-Mechatronikern wiesen Gschwendtner, Abele und Nickolaus (2009) nach, dass diese weitgehend unabhängig von der Darbietungsform sind und zu vergleichbaren personenbezogenen Leistungsdaten führten. Dass sich jeweils eindimensionale Modellbildungen der Fachkompetenz in dieser Untersuchung ergaben, kann zumindest ein weiteres Indiz für ähnliche Prozessmerkmale zwischen den Darbietungsformen sein, sofern eine Simulation gegenüber der Realität ein vergleichbares Spektrum an Handlungsmöglichkeiten anbietet.

Literatur

- Gschwendtner, T./Abele, S./Nickolaus, R. (2009): Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von Kfz-Mechatronikern. In: ZBW, 105. Bd., H. 4
- Gschwendtner, T./Geißel, B./Nickolaus, R. (2007): Förderung und Entwicklung der Fehleranalysefähigkeit in der Grundstufe der elektrotechnischen Ausbildung. In: bwp@, Nr. 13 (<http://www.bwpat.de/ausgabe13>)
- Hedrich, M. (2010): Qualitative Analyse zur Diagnosekompetenz von Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im zweiten Ausbildungsjahr. Ludwigsburg, Masterarbeit
- KMK (2003): Bildungsplan für die Berufsschule. Elektroniker/in. (http://www.lsbw.de/beruf/lp/BS_Lernfelder/BS_Elektroniker_07_3508.pdf; Datum: 5.11.09)
- Knöll, B. (2007): Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung. Aachen: Shaker, Stuttgart, Univ., Diss.
- Schiefele, U./Krapp, A./Wild, K. -P./Winteler, A. (1993): Der "Fragebogen zum Studieninteresse" (FSI). In: Diagnostica, 39. Jg., H. 4, S. 335-351
- Leontjew, A. (1982): Tätigkeit, Bewußtsein, Persönlichkeit. Köln: Pahl-Rugenstein
- Mayring, P. (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken. Weinheim, Basel: Beltz, 5. Aufl. (Beltz Studium)
- Nickolaus, R./Geißel, B. (2009): Förderung schwächerer Auszubildender in der schulischen Berufsbildung. Teilprojekt II: Förderung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit in der elektrotechnischen Grundbildung. In: Abschlussveranstaltung Programm Bildungsforschung. Tagungsband. Stuttgart, S. 87-96
- Nickolaus, R./Gschwendtner, T./Geißel, B. (2008): Entwicklung und Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Erstausbildung. In: ZBW, 104. Bd., H. 1, S. 48-73
- Rasmussen, J. (1986): Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering. New York: Elsevier Science Publisher
- Rouse, W./Rouse, S./Pellegriano S. (1980): A rule-based model of human problem solving performance in fault diagnosis tasks. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-10, S. 366-376
- Sonntag, K./Schaper, N. (Hrsg.) (1997): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: vdf Hochschulverlag (Mensch Technik Organisation; Bd. 13)
- Stark u.a. (1996): Komplexes Lernen in der kaufmännischen Erstausbildung. In: Beck, K./Heid, H. (Hrsg.): Lehr-Lern-Prozesse in der kaufmännischen Erstausbildung. Beiheft 13 der ZBW. Stuttgart: Steiner, S. 23-36
- Strauss, A. L. (1998): Grundlagen qualitativer Sozialforschung. München: UTB