

KERSTIN NORWIG / EMRE GÜZEL /

STEFAN HARTMANN / TOBIAS GSCHWENDTNER

„Tools to tap into the content of human minds“¹

Think-Aloud-Interviews und *Cognitive Labs* als zentrale Bausteine zur Identifikation von Barrieren in Fehlerdiagnoseprozessen bei Auszubildenden des Kfz-Handwerks und zur Entwicklung adressatenspezifischer Lehr-/Lernarrangements²

“Tools to tap into the content of human minds”¹

The Use of Think-Aloud and Cognitive Laboratory Interviews for Identifying Cognitive Barriers of Car Mechatronics Apprentices Diagnosing Electronic Car Systems and For Developing Educational Interventions Tailored to the Apprentices' Needs²

ZUSAMMENFASSUNG: Empirische Studien zeigen, dass Auszubildende des Kfz-Handwerks am Ende der Ausbildung häufig nicht in der Lage sind, Ursachen für Fehler in elektrischen und elektronischen Systemen in Kraftfahrzeugen zu diagnostizieren. Eine Kfz-Computersimulation soll daher zu einer multimedialen Lernumgebung erweitert werden, in die zwei anforderungsdifferenzierende Interventionen zur Förderung diagnoserelevanter Rezeptionskompetenz implementiert und auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden. Da keine feindiagnostischen Befunde vorliegen, widmet sich das im Beitrag beschriebene Projekt zunächst der Identifikation häufig auftretender, überindividueller Rezeptionsbarrieren im Fehlerdiagnoseprozess. Methodisch wurde hierfür auf *Think-Aloud-Interviews* in Kombination mit sog. *Cognitive Labs* zurückgegriffen, an welchen 24 ProbandInnen teilnahmen, die über eine Vortestung ihrer diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz ausgewählt wurden. Die aus dieser Untersuchung gewonnenen Daten zu diagnoserelevanten Rezeptionsanforderungen und -barrieren stellen eine erfolgversprechende Basis zur Entwicklung passgenauer Interventionen dar. Ferner liefert die Untersuchung Erkenntnisse über die eigentliche Fragestellung hinaus, welche den Wert der methodischen Verfahren auch für die Interpretation der Befunde zur Kompetenzmessung bzw. -modellierung und die daraus abzuleitenden praktischen Implikationen unterstreichen.

Schlagworte: Kfz-Fehlerdiagnose – diagnoserelevante Rezeptionskompetenz – Rezeptionsbarrieren – *Think-Aloud-Interviews* – *Cognitive Labs*

1 Zitat aus LEIGHTON (2017, S. 13).

2 Diese Veröffentlichung geht aus dem Projekt „DigiDIn-Kfz“ hervor. „DigiDIn-Kfz“ steht für „Digitale Diagnostik und Intervention im Kfz-Wesen“ und ist ein Verbundprojekt der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg, der Technischen Universität Dresden sowie der Universitäten Freiburg und Erfurt (Förderkennzeichen: 21AP004A-C), welches innerhalb der ASCOT+-Initiative vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. ASCOT+ zielt auf die Entwicklung, Erprobung und den Transfer digitaler Lern- und Kompetenzmessinstrumente für Auszubildende ab (mehr dazu siehe <https://www.ascot-vet.net/>).

ABSTRACT: As research has shown, future motor vehicle mechatronic technicians at the end of their vocational training often fail to successfully diagnose electric and electronic car systems. The project presented in this paper aims at integrating an existing simulation of electronic car systems into two interactive multimedia training programs yet to be developed. Both training programs will focus on the apprentices' so-called reception competences on different competence levels, and will be evaluated for effectiveness. In a first step, missing evidence on the apprentices' cognitive barriers in diagnosis-related reception processes was collected. Based on their performance in a pre-test, 24 participants were selected for participation in think-aloud interviews and cognitive labs. The resultant data were analysed and provide a promising basis for developing the training programs. On top of that, our research has yielded valuable findings that shed light on unanswered scientific questions and practical issues, a fact that underlines the power of both interview techniques.

Keywords: Car diagnostics – reception competence – barriers to reception – think-aloud interviews – cognitive labs

Ausgangslage und Forschungsstand

Die Diagnose von Fehlern oder Störungen in Personenkraftwagen stellt einen wichtigen Aufgabenbereich von Kfz-Werkstätten dar. Entsprechend der sich stetig erweiternden Anzahl an mechatronischen Systemen in Kraftfahrzeugen und deren zunehmender Vernetzung wenden große Vertragswerkstätten, häufigste Anlaufstelle für KundInnen mit neueren Pkw, bis zu 50 % der Arbeitszeit für diese Aufgabe auf; in kleineren, freien Werkstätten, die zumeist einen höheren Anteil von KundInnen mit älteren Fahrzeugen betreuen, entfallen immerhin etwa 25 % der Arbeitsstunden auf die Suche nach Fehlern und deren Ursachen (vgl. SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011, S. 34 f.). Folgerichtig wird das „Diagnostizieren von Fehlern und Störungen an Fahrzeugen und Systemen“ (BUNDESGESETZBLATT 2013, S. 1578) in der derzeit gültigen Ausbildungsordnung bereits für die Auszubildenden des Berufs Kfz-MechatronikerIn als eine „berufsprofilgebende Fähigkeit“ (ebd.) hervorgehoben und auch in der Beschreibung der Prüfungsinhalte der Gesellenprüfung als ein zentraler Baustein aufgeführt (a. a. O., S. 1579 f.). Die Basis für die erfolgreiche Bewältigung dieser Aufgabe soll im Rahmen der schulischen Ausbildung sowohl im fachtheoretischen als auch im fachpraktischen Berufsschulunterricht gelegt werden, wobei hier vor allem das Fachwissen zu den einzelnen mechatronischen Systemen (z. B. Bremssystem, Antriebssystem, Komfortsystem) und die elektrotechnischen Grundlagen vermittelt und an Prüfaufbauten wie Schalttafeln oder, sofern verfügbar, an Kraftfahrzeugen eingeübt werden. Laut Rahmenlehrplan ist insgesamt ein Drittel der vorgesehenen Schulstunden über die dreieinhalb Lehrjahre dem Themenfeld der Diagnostik gewidmet, wobei in Anlehnung an BECKER (2009) entsprechend einem „Spiralcurriculum“ im 1. Lehrjahr mit der „Routinediagnose“ begonnen wird und mit ansteigender Schwierigkeit bzw. Komplexität über die weiteren Lehrjahre die sog. „Integrierte Diagnose“, die „Regelbasierte Diagnose“ sowie die „Erfahrungsbasierte Diagnose“ Themen des Theorie- und des Werkstattunterrichts sein

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

sollen (KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013, S. 6).³ In den Ausbildungsbetrieben, in welchen die Auszubildenden im 2. und 3. Lehrjahr die meiste Zeit verbringen, ist laut Ausbildungsordnung ebenfalls etwa ein Drittel der Ausbildungszeit auf diesen Bereich auszurichten. Jedoch ist anzunehmen, dass die Häufigkeit, mit der Auszubildende in die Fehlerdiagnose einbezogen werden, eher gering ist⁴ und zudem zwischen den Betrieben ganz erheblich variiert (zusätzlich sicherlich auch die dabei realisierten Instruktionsqualitäten). Vor dem Hintergrund wirtschaftlicher Abwägungen ist seitens der Betriebe davon auszugehen, dass die Auszubildenden vergleichsweise häufig Routinetätigkeiten geringerer Schwierigkeit wie Service- und Wartungsarbeiten ausführen. Arbeiten wie die Fehlerdiagnose, bei denen im Vornherein aufgrund der schier unbegrenzten Möglichkeiten der Fehlerursachen sowie der Komplexität der technischen Systeme (siehe dazu auch SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011, S. 35 f.) nicht immer abgeschätzt werden kann, welche konkreten Anforderungen an die Auszubildenden damit einhergehen und ob diese in der Lage sein werden, diese schnell und erfolgreich zu bewältigen, werden eher erfahrenen GesellInnen anvertraut. Eine größere Varianz zwischen den Betrieben kann sich bspw. durch die unterschiedlichen betrieblichen Organisationsstrukturen im Kfz-Wesen (Vertragswerkstatt, Niederlassung eines Herstellers, freie Werkstatt einer Unternehmenskette, freie Werkstatt eines Einzelunternehmens) bemerkbar machen. Um die beschriebene Situation zumindest ansatzweise abzumildern, werden im zweiten und dritten Lehrjahr (in Baden-Württemberg bspw. über insgesamt drei Wochen hinweg) daher zusätzlich überbetriebliche Lehrgänge durch die Innungen des Kraftfahrzeuggewerbes bzw. die Handwerkskammern speziell zum Thema Diagnosetechnik durchgeführt.

Die in Schulen, Betrieben und überbetrieblichen Ausbildungsstätten initiierten Lernprozesse sollen schließlich dazu führen, dass die Auszubildenden am Ende ihrer Ausbildung über eine Kfz-Diagnosekompetenz⁵ verfügen, die sowohl die curricularen

- 3 Als „Routinediagnose“ wird nach BECKER u. a. (2002) die standardmäßige Prüfung von Fahrzeugkomponenten und -systemen ohne Vorliegen eines offensichtlichen Defekts im Zuge einer Routineprüfung verstanden; bezogen auf elektrische und elektronische Systeme umfasst diese ein routinemäßiges Auslesen der Fehlerspeicher. Bei der „Integrierten Diagnose“ wird im Bereich elektrischer und elektronischer Systeme ebenfalls auf Fehlerspeichereinträge zurückgegriffen, wobei sich entweder die Entscheidung zu weiteren Diagnoseschritten ergibt oder Möglichkeiten einer automatischen, den Fehlzustand behebenden Adaption genutzt werden (bspw. Anpassung von Kennfeldern). Die „Regelbasierte Diagnose“ umfasst die Auswahl und den Einsatz regelhafter Fehlersuchpläne, wobei auf Basis der Diagnoseresultate weitere Prüfschritte anzuschließen sind. Zum Ende der Ausbildung schließlich erfolgt die Auseinandersetzung mit der „Erfahrungsbasierten Diagnose“ und damit mit unklaren Fehlerbildern, die eine umfassende Berücksichtigung aller verfügbaren Quellen sowie die Erstellung eigener Prüfstrategien einfordern (siehe auch a. a. O., S. 49 f.).
- 4 Diese Aussage trifft vermutlich noch einmal verschärft bei elektrischen/elektronischen/mechatronischen Fahrzeugsystemen zu.
- 5 Wie in allgemeiner Form von HARTIG/KLIEME (2006) beschrieben, kann dabei der Begriff der Kfz-Diagnosekompetenz „sowohl auf Handlungsvollzüge als auch auf die ihnen zugrunde liegenden mentalen Prozesse und Kapazitäten, zu denen Kognition, Motivation und Volition bzw. Wissen und Können gehören“ (a. a. O., S. 13) bezogen werden. In der einschlägigen Literatur finden sich sowohl Arbeiten, die auf einen derartig umfassenden Kompetenzbegriff rekurrieren (siehe z. B. SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011, S. 29) als auch solche, die diesen eng auf die kognitiven Komponenten beschränken (z. B. ABELE/

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

als auch die betrieblichen Erwartungen an die Professionalität der zukünftigen GesellInnen erfüllt. Empirische Befunde weisen darauf hin, dass dieses Ziel jedoch in vielen Fällen nicht erreicht wird. Ein von NICKOLAUS u. a. (2012) vorgelegtes Modell zu den von Kfz-MechatronikerInnen am Ausbildungsende erreichten Kompetenzniveaus im Kfz-spezifischen Problemlösen⁶ platziert etwas mehr als ein Drittel der insgesamt 604 getesteten⁷ Auszubildenden auf dem ersten Niveau, wobei dieses Niveau lediglich ein „routiniertes und computergestütztes Lösen einfacher Kfz-Probleme“ (a. a. O., S. 254) umfasst und damit curricular bestenfalls den Minimalanforderungen entsprechen würde. Ein weiteres Sechstel der Kfz-MechatronikerInnen zeigt sich sogar mit Anforderungen dieses niedrigsten Schwierigkeitsniveaus überfordert (ebd.), so dass diesen Daten folgend insgesamt die Hälfte der gesamten Stichprobe das Ausbildungsziel hinsichtlich der Kfz-Diagnosekompetenz nicht zufriedenstellend erreicht.

Betrachtet man genauer, welche kognitiven Anforderungen der Diagnoseprozess im Allgemeinen an die Auszubildenden stellt, so lassen sich nach ABELE (2018) idealtypisch vier mentale Subprozesse unterscheiden.⁸ Den Ausgang des Diagnoseprozesses bildet (1) eine Phase der Informationsgewinnung und -verarbeitung zum Fehlzustand des Kraftfahrzeugs; darauf aufbauend müssen (2) Hypothesen zur Fehlerursache bzw. zu den Fehlerursachen gebildet werden, (3) Möglichkeiten der Hypothesenprüfung entwickelt, geplant und schließlich durchgeführt werden, sowie (4) die Ergebnisse der Prüfungen einer Bewertung hinsichtlich ihrer Aussagekraft zur Fehlerursache bzw. zu den Fehlerursachen unterzogen werden (a. a. O., S. 136 ff.). Die bereits angedeutete zunehmend hohe Komplexität und Intransparenz der mechatronischen Kraftfahrzeugsysteme hat dazu geführt, dass zur Unterstützung dieser Prozesse im berufspraktischen Alltag standardmäßig computerbasierte Diagnosesysteme eingesetzt werden. Diese Diagnosesysteme liefern auf Basis einer umfassenden Zustandsanalyse bspw. entschei-

WALKER/NICKOLAUS 2014, S. 169). Letzteres gilt ausnahmslos für die vorliegenden empirischen Studien zur Kompetenzmessung bei Kfz-MechatronikerInnen (z. B. GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009; NICKOLAUS u. a. 2012; ABELE/WALKER/NICKOLAUS 2014), die auf dem Einsatz psychometrisch fundierter Testverfahren zur Kompetenzmessung basieren und damit eine präzise Definition des zu messenden Konstrukts erfordern (vgl. dazu HARTIG/KLIEME 2006, S. 24 f.). Inwiefern die vorgenommene Beschränkung auf kognitive Aspekte ggf. in diesen Arbeiten dennoch zu eng gesetzt wurde, wird auf Basis der im vorliegenden Beitrag dargelegten Befunde im Abschnitt der Diskussion nochmals aufgegriffen.

- 6 Wenngleich im Beitrag von NICKOLAUS u. a. (2012) anstelle des Begriffs der Kfz-Diagnosekompetenz der Begriff des „Kfz-spezifischen Problemlösens“ gewählt wird, lassen die Ausführungen ohne Zweifel darauf schließen, dass sich dieses inhaltlich mit der Kfz-Diagnosekompetenz deckt (a. a. O., S. 243). Operationalisiert wird die „Kfz-spezifische Problemlösefähigkeit“ ausschließlich über die Performanz bei der Fehlerdiagnose, die in Übereinstimmung mit anderen Quellen (z. B. SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011) als „zentrale Facette fachspezifischer Problemlösefähigkeit“ beschrieben wird.
- 7 Basis für die Niveaumodellierung bildeten computersimulierte Arbeitsproben, deren Validität im Vergleich zur Realität in einer vorangegangenen Studie der gleichen Forschergruppe bereits ausschnittsweise geprüft und weitestgehend bestätigt wurde (siehe GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009).
- 8 ABELE (2018) greift bei der Beschreibung der Anforderungen auf die in der Kognitionspsychologie gängigen Annahmen zu Prozessen in Problemlösekontexten zurück, bei denen zwischen Prozessen des „Untersuchens und Verstehens“, „Vorstellens und Mutmaßens“, „Planen und Ausführens“ und „Überwachen und Bewertens“ unterschieden wird (siehe dazu die Ausführungen in ABELE/WALKER/NICKOLAUS (2014, S. 168), die sich wiederum auf OECD (2013, S. 125 f.) beziehen).

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

dende Informationen darüber, in welchem (Sub)System die Fehlerursache zu lokalisieren ist und welche Art von Störung(en) vorliegen könnte(n) (vgl. SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011, S. 36). Je nach System bzw. konkretem Fehlerfall stellen sie zudem plausible Hypothesen zur Verfügung, leiten Prüfungen an und bieten in Form von Erwartungswerten (Sollwerten) Unterstützung für die Bewertung der Ergebnisse.

Trotz der umfassenden Hilfen durch die Diagnosesysteme scheitern nach den Befunden von NICKOLAUS u. a. (2012) offensichtlich viele Auszubildende an den beschriebenen Anforderungen.⁹ Aus den schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen der Aufgaben auf den einzelnen Kompetenzniveaus leiten die Autoren eine Reihe von Barrieren ab (a. a. O., S. 255), die sich in Bezug zur Theorie von ABELE (2018) setzen lassen. Bezogen auf die Anforderung der Informationsgewinnung und -verarbeitung scheinen die Auszubildenden vermehrt dann zu scheitern, wenn es darum geht, eigenständig relevante Informationen aus dem Diagnosesystem erschließen und kohärent verknüpfen zu müssen. Auch die Entwicklung eigenständiger Diagnosestrategien, d. h. plausibler Hypothesen scheint erhebliche Probleme zu bereiten. Bei der Hypothesenprüfung treten vorwiegend dann Schwierigkeiten auf, wenn weniger häufig gebrauchte Messgeräte einzusetzen sind; teils verbunden damit zeigen sich dann auch bei der Interpretation von Messwerten deutliche Schwächen.

Projektziel: Erweiterung der bestehenden Kfz-Computersimulation zu einer Lernplattform

Zusammengefasst weist der derzeitige Stand der Forschung auf einen dringenden Förderbedarf im Bereich der Kfz-Diagnosekompetenz hin und deutet bereits an, welche Anforderungskomplexe im Diagnoseprozess hierbei besonders fokussiert werden sollten. Das diesem Beitrag zugrundeliegende Projekt „Digitale Diagnostik und Intervention im Kfz-Wesen“ (kurz „DigiDIn-Kfz“) hat sich u. a. zum Ziel gesetzt, verschiedene, nach Leistung differenzierende Interventionsansätze zur Förderung erfolgskritischer Facetten der Kfz-Diagnosekompetenz zu entwickeln und zu evaluieren. Hierzu soll eine Kfz-Computersimulation, die bereits zur Erfassung der oben berichteten Kompetenzdaten genutzt und in folgenden Projekten stetig erweitert wurde, in eine Lernplattform zur Kompetenzförderung implementiert werden. Die Simulation bietet die Möglichkeit zur selbständigen Fehlerdiagnose in vier Fahrzeugsystemen (Motormanagement, Beleuchtung, Komfortsysteme, Fahrwerk) eines Golf IV (Baujahr 2004) bzw. Golf VI (Baujahr 2010), wobei aktuell mehr als 60 verschiedene Fehlzustände unterschiedlicher Anforderungscharakteristika hinterlegt sind. Simuliert werden neben den Oberflächen der Fahrzeugsysteme und den darin eingebetteten vielfältigen Prüfmöglichkeiten (Sichtprüfungen, akustische Prüfungen und elektrotechnische Messungen; siehe Screenshot zu einer elektrischen Messung im Motorraum in Abbildung 1) auch ein Di-

9 Nicht zuletzt auch unsere eigenen, weiter unten referierten Befunde legen die Vermutung nahe, dass sich diese Befundlage auch heute nicht wesentlich anders darstellt.

agnosesystem, welches umfangreiche system- und fehlerspezifische Informationen zur Verfügung stellt.¹⁰



Abbildung 1: Screenshot aus der Kfz-Computersimulation, Spannungsmessung an der Steckverbindung des Ladedruckmagnetventils kabelbaumseitig zum Motorsteuergerät (eigene Darstellung).

Aus der Vielzahl verfügbarer Diagnosesysteme wurde mit der Version 2.0 der Software ESI[tronic] (ROBERT BOSCH GMBH 2020) ein herstellerübergreifendes System in die Kfz-Computersimulation eingebettet, welches sowohl in der schulischen und überbetrieblichen Ausbildung als auch in den Gesellenprüfungen zum Einsatz kommt und damit allen Auszubildenden zumindest in den Grundzügen vertraut ist und eine hohe Relevanz für die Ausbildung aufweist. Abbildung 2 zeigt beispielhaft einige für die Fehlerdiagnose wichtige Informationsquellen, die im Zuge des Diagnoseprozesses ausgewählt, rezipiert und mit der aktuellen Problemsituation verknüpft werden müssen.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich wird, stellt das Diagnosesystem die Informationen ausschließlich in textlicher und bildlicher Form zur Verfügung; im Einzelnen handelt es sich meist um kurze Texte mit einer hohen Dichte an Fachbegriffen, Wortlisten (Legenden) sowie zwei- oder dreidimensionale technische Darstellungen, Diagramme und technische Schemazeichnungen (Stromlaufpläne). Ein Nutzen für die Fehlerdiagnose entfaltet sich aus diesen fachspezifischen Texten und Abbildungen erst, wenn die Auszubildenden über die kognitiven Voraussetzungen verfügen, sich mit den Informationen in geeigneter Weise auseinanderzusetzen, diese im Rückgriff auf Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis sachlich korrekt zu verarbeiten, mental zu repräsentieren und im Sinne eines funktionalen Lesens (ZIEGLER u. a. 2012, S. 3) in adäquater Weise zu nutzen. Diese kognitiven Voraussetzungen sollen im Folgenden als „diagnoserelevante

¹⁰ Zur genauen Beschreibung der Kfz-Computersimulation in ihrer ersten Fassung siehe GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS (2009); mit dieser Variante wurden auch die Daten der Niveaumodellierung erhoben. Die im derzeitigen Projekt verwendete, durch zusätzliche Fehlerfälle erweiterte und in der Gestaltung modernisierte Version wird in ABELE/WALKER/NICKOLAUS (2014) beschrieben.

¹¹ Als Synonym zu dem Begriff Stromlaufplan sind in der Praxis auch die Begriffe elektrischer Anschlussplan oder elektrischer Schaltplan gebräuchlich.

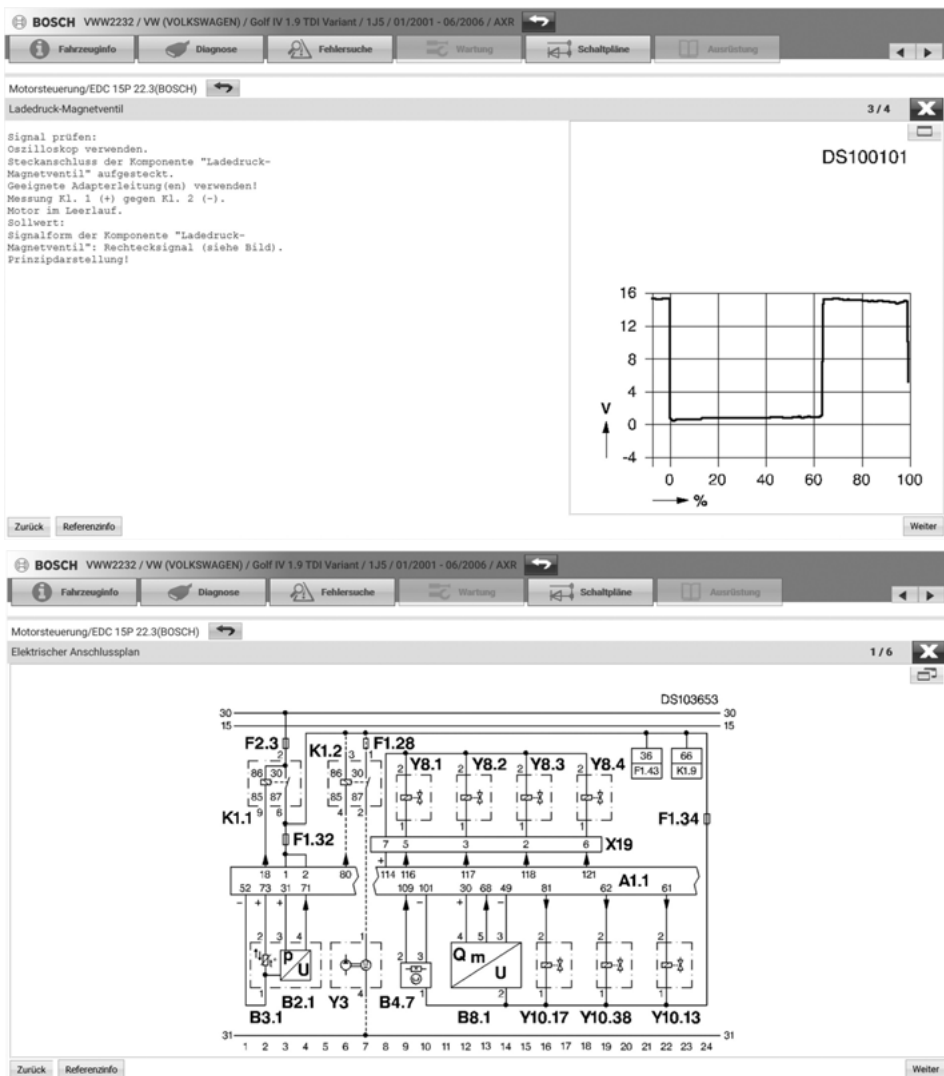


Abbildung 2: Screenshots aus der Kfz-Computersimulation, Fehlersuchanleitung (oben) und Stromlaufplan (unten) aus dem Diagnosesystem der ESI[tronic] (ROBERT BOSCH GMBH 2020).

Rezeptionskompetenz“ bezeichnet werden und stellen – gestützt durch die obigen Darstellungen zu Anforderungen und Barrieren im Diagnoseprozess – aus Sicht der VerfasserInnen einen zentralen Einflussfaktor für das Gelingen bzw. Misslingen der Kfz-Fehlerdiagnose dar. Aus der Beschreibung der Niveaus der Kfz-Diagnosekompetenz von NICKOLAUS u. a. (2012, S. 254) geht hervor, dass sich die Rezeptionsanforderungen der höheren Kompetenzniveaus (ab Niveau 2) von denen des ersten Niveaus hinsichtlich des Typs der zu rezipierenden Unterlagen unterscheiden, so dass feiner abgestuft die Bewältigung der Anforderungen des ersten Kompetenzniveaus primär den Rückgriff

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

auf eine „basale“ diagnoserelevante Rezeptionskompetenz einfordert, Fehlzustände des zweiten oder höherer Niveaus dagegen wahrscheinlich vor allem eine hier als „komplex“ bezeichnete diagnoserelevante Rezeptionskompetenz adressieren (zur genauen Definition siehe Abbildung 3, die auch die beschriebene Zuordnung der basalen und komplexen Rezeptionskompetenz zu den Kompetenzniveaus der Kfz-Diagnosekompetenz veranschaulicht).

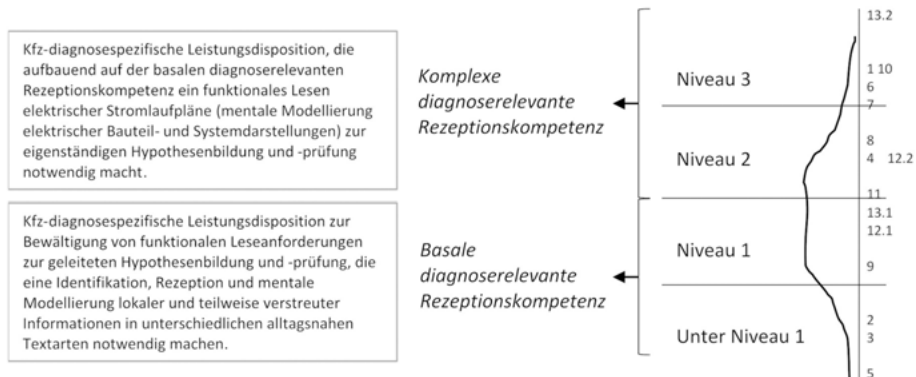


Abbildung 3: Definition basaler bzw. komplexer diagnoserelevanter Rezeptionskompetenz und theoretische Zuordnung zu den von NICKOLAUS u. a. (2012, S. 252 ff.) beschriebenen Kompetenzniveaus der Kfz-Diagnosekompetenz (in der Wright-Map rechts) (eigene Darstellung).

Angesichts der dargelegten hohen Relevanz sowohl der basalen als auch der komplexen diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz und der deutlichen Hinweise auf eine vielfach mangelhafte Ausprägung dieser wichtigen Kompetenzen bei den Auszubildenden wird der Fokus in dem hier beschriebenen Teilprojekt der Forschergruppe der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg auf die Entwicklung und Evaluation von Ansätzen zur Förderung der basalen und der komplexen diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz gelegt.¹²

12 Es ist selbstverständlich zusätzlich zu den basalen und komplexen Rezeptionskompetenzen, die unserem Forschungszugang zugrunde liegen, von weiteren Kompetenzfacetten auszugehen, die die individuelle Ausprägung der übergeordneten Kfz-Diagnosekompetenz ergänzend beschreiben und erklären helfen, so bspw. die metakognitive Steuerung und Kontrolle der Auszubildenden oder die Beherrschung der im Teilprojekt der Technischen Universität Dresden sowie der Universitäten Freiburg und Erfurt fokussierten modellbasierten Diagnosestrategie.

Identifikation bestehender diagnoserelevanter Rezeptionsbarrieren durch *Think-Aloud-Interviews* und *Cognitive Labs*¹³

Bislang ausstehend, für die passgenaue Konzeption geeigneter Förderbausteine aus oben dargelegter Sicht jedoch unerlässlich, sind feindiagnostische und differenzierte Befunde zu den genauen Rezeptionsanforderungen, die für die Auszubildenden zu Barrieren werden. Dabei geht es im Kern um die Erfassung handlungsleitender Kognitionen von Auszubildenden bei der Fehlerdiagnose. Da sich diese in hochkomplexen Fahrzeugsystemen mit vielgestaltigen Fehlerfallmöglichkeiten in Kombination mit je individuellen beruflichen Biografien bzw. Lerngelegenheiten in hohem Maße differenziert ausbilden und präsentieren können, vermuten wir höchst unterschiedliche Barrieren zu identifizieren, die wir a priori der Untersuchung nur bedingt abschätzen können. Daraus entspringt als forschungsmethodischer Rahmen zunächst ein eher erkenntnisoffener, qualitativer Zugang. Vor diesem Hintergrund verzichten wir für diesen Untersuchungskern auf alternative Zugänge wie bspw. Eye-Tracking, und bedienen uns aus dem Fundus der teilnehmend-beobachtenden dialogisch-hermeneutischen Verfahren (vgl. SCHEELE/GROEBEN 2020). Durchgeführt wurden schließlich *Think-Aloud-Interviews* in Kombination mit sog. *Cognitive Labs*, die bislang vorwiegend in der Entwicklung psychometrischer Tests eingesetzt wurden (vgl. bspw. ZUCKER/SASSMAN/CASE 2004, DOLAN u. a. 2011 sowie WILLIS 2015). Beide ermöglichen einen Zugang zu den kognitiven Denkprozessen von ProbandInnen und dienen als „tools to tap into the content of human minds“ (LEIGHTON 2017, S. 13). *Cognitive Labs* weisen bedeutsame Ähnlichkeiten zu Methoden des *Think-Aloud-Interviews* auf, wenngleich die Ziele und auch das Vorgehen, welche damit verbunden sind, nicht zuletzt aufgrund ihrer unterschiedlichen Provenienzen voneinander abweichen (a. a. O., S. 10 ff.). Während *Think-Aloud-Interviews* im Allgemeinen vorwiegend auf die Verbalisierung aktueller Denkprozesse, d. h. des Arbeitsgedächtnisses bei der Lösung eines Problems und damit auf die Ergründung von Problemlöseprozessen zielen, werden in *Cognitive Labs* Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis wie Wissens- und Verstehensstrukturen und somit Erklärungen der ProbandInnen zum eigenen Tun erfasst (a. a. O., S. 17 und S. 59 ff.). Dementsprechend werden die verbalen Daten beim *Think Aloud* ausschließlich während des Problemlöseprozesses generiert (*Concurrent Think Aloud*), wohingegen in *Cognitive Labs* zwar auch die simultane, jedoch häufiger die retrospektive Erfassung der Daten üblich ist, da in diesem Fall nicht mit einer Veränderung der Datenbasis, nämlich der Inhalte des Langzeitgedächtnisses zu rechnen ist (LEIGHTON 2017, S. 87 f.).

Da bezogen auf den Untersuchungsgegenstand, nämlich die Identifikation zentraler rezeptionsbezogener Barrieren von Auszubildenden im Fehlerdiagnoseprozess, davon auszugehen ist, dass diese Barrieren je nach ProbandIn und Situation sowohl aus einer unzureichend ausgeprägten Wissensbasis als auch suboptimalen Fehlerdiagnoseroutinen, d. h. fachspezifischen Problemlöseprozessen hervorgehen können, wurde im

13 Die Begrifflichkeiten *Cognitive Laboratory Interview* bzw. *Cognitive Labs* werden im Anschluss an LEIGHTON (2017, S. 1) synonym verwendet.

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

Rahmen der hier beschriebenen Studie eine Kombination beider Ansätze gewählt¹⁴; das Untersuchungssetting selbst wird jedoch der besseren Lesbarkeit wegen im Folgenden als *Cognitive Lab* bezeichnet.

Auswahl der ProbandInnen

Die Durchführung der *Cognitive Labs* und die Auswertung der daraus resultierenden verbalen Daten sind mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Daher wurde die Stichprobengröße für dieses Verfahren von vornherein eher klein gewählt und die Auswahl möglicher ProbandInnen erfolgte über eine Vortestung, in welcher die diagnose-relevante Rezeptionskompetenz mittels eines Paper-Pencil-Tests zu erfassen versucht wurde. Aufbauend auf Vorarbeiten von GSCHWENDTNER/GEISSEL/NICKOLAUS (2010) und ABELE/WALKER/NICKOLAUS (2014) (zusammenfassend dargestellt in GSCHWENDTNER u. a. 2017) sowie eigenen detaillierten Anforderungsanalysen zu den in der Simulation implementierten Fehlerfällen wurden insgesamt 27 Testitems entwickelt, die herausgelöst aus dem Gesamtdiagnoseprozess zentrale basale und komplexe Rezeptionsanforderungen abbilden.¹⁵ Als basale Rezeptionsanforderungen wurden abgebildet (1) das Herauslesen relevanter Komponenten aus dem Textmaterial des Diagnosesystems und das anschließende Auffinden in Legenden und Abbildungen, (2) das Herauslesen und Verknüpfen von Einzelinformationen aus Fehlersuchanleitungen zur mentalen Modellierung von Messaufbauten und deren anschließende Umsetzung in einer Abbildung des Motorraums (siehe Beispielitem in Abbildung 4), (3) das AbleSEN und Interpretieren von Messwerten sowie (4) das Vergleichen gegebener Ist-Werte mit vom Diagnosesystem bereitgestellten Soll-Werten. Bezogen auf komplexe Rezeptionsanforderungen umfassten die Items Anforderungen (1) zur Kenntnis von Symbolen und Darstellungskonventionen eines in der ESI[tronic] eingebetteten Stromlaufplans und (2) zur Analyse und dem Verständnis der in diesem Stromlaufplan dargestellten Funktionszusammenhänge. Die adäquate Modellierung elektrischer und elektronischer Systeme sowie die Bewältigung funktionaler Leseanforderungen wurden (3) über Items zur eigenständigen Entwicklung und Umsetzung von Messaufbauten und (4) mithilfe von Items zur Interpretation von Ist-Werten auf Basis eines Stromlaufplans, d. h. ohne vorgegebene Sollwerte, erfasst.

14 LEIGHTON (2017, S. 63 ff.) verweist darüber hinaus explizit darauf, dass beim Lesen – welches in enger Verwandtschaft zur diagnoserelevanten Rezeption technischer Texte steht – je nach Ausprägung des relevanten Vorwissens die Leseanforderungen vergleichsweise trivial im Sinne eines nahezu ungehinderten, wissensbasierten Verstehensprozesses oder aber als diffizile Problemlösung in Erscheinung treten können und daher sowohl die Wissensbasis als auch der Problemlöseprozess untersucht werden sollten.

15 Eine Untersuchung von ABELE (2014) konnte zeigen, dass die mittels der Computersimulation erfasste Kfz-Diagnosekompetenz einen recht hohen Zusammenhang mit schriftlich erfassten Teilaspekten dieser Kompetenz aufweist (a. a. O., S. 194), was u. E. dafür spricht, die schriftliche Erfassung von Anforderungsausschnitten zu nutzen, um eine erste Abschätzung zur Ausprägung diagnoserelevanter Rezeptionskompetenzen der Auszubildenden zu treffen und damit für die Probendenauswahl zwischen Auszubildenden geringerer und höherer Kompetenzausprägung zu differenzieren.

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022



Abbildung 4: Beispielitem aus dem Test zur Erfassung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz (Anforderung „basal“) (links ROBERT BOSCH GMBH 2020, rechts eigene Darstellung).

Insgesamt 191 Auszubildende aus dem 3. Lehrjahr des Ausbildungsberufs Kfz-MechatronikerIn nahmen an der Testung teil, die im Winter des Schuljahres 2019/20 in insgesamt 11 Klassen an vier verschiedenen Schulstandorten in Baden-Württemberg durchgeführt wurde. Um die zur Verfügung stehende Testzeit von 60 Minuten nicht zu überschreiten, wurden die 27 Einzelitems bezogen auf die Anforderungen gleichmäßig auf zwei randomisiert ausgegebene parallele Testheftformen verteilt, wobei acht Ankeritems in beiden Testheften platziert wurden.

Die interne Konsistenz der Fähigkeitsskala und die Trennschärfen der Items sind in beiden Parallelformen insgesamt zufriedenstellend.¹⁶ Die mittleren Punktzahlen der für beide Testhefte gleichen Ankeritems sind sowohl hinsichtlich der Varianzen als auch der Mittelwerte nahezu identisch¹⁷, d. h. die über die Randomisierung gebildeten Gruppen können in Bezug auf ihre Kompetenzausprägungen als aus einer Grundgesamtheit stammend betrachtet werden. Auf alle Items gerechnet unterscheiden sich die von den Auszubildenden erreichten mittleren Lösungsquoten jedoch zwischen beiden Testheften deutlich. Während bezogen auf das erste Testheft im Mittel 57 Prozent der Items korrekt gelöst wurden, liegt diese Quote für Testheft 2 nur bei 45 Prozent. Diese Differenz kommt durch die für die jeweiligen Testhefte spezifischen Items zustande. Deren Itemschwierigkeiten sind über beide Testhefte nicht gleichmäßig verteilt und einzelne Items müssten bei einem weiteren Einsatz des Instruments neu zugeordnet werden (Abbildung 5).

16 Cronbachs α liegt für Testheft 1 bei ,74 und für Testheft 2 bei ,73; der für Skalen mit ungleichen Faktorladungen der Items angemessenere Koeffizient Guttman's Lambda 6 ist etwas höher und beträgt ,80 für das erste und ,78 für das zweite Testheft.

17 Der Bartlett-Test auf Varianzgleichheit ergibt keinen signifikanten Unterschied der Varianzen ($K^2 = 1,04$; $p = ,307$) und der t -Test nach Welch ergibt keinen signifikanten Unterschied der Mittelwerte ($t = 0,48$; $p = ,630$).

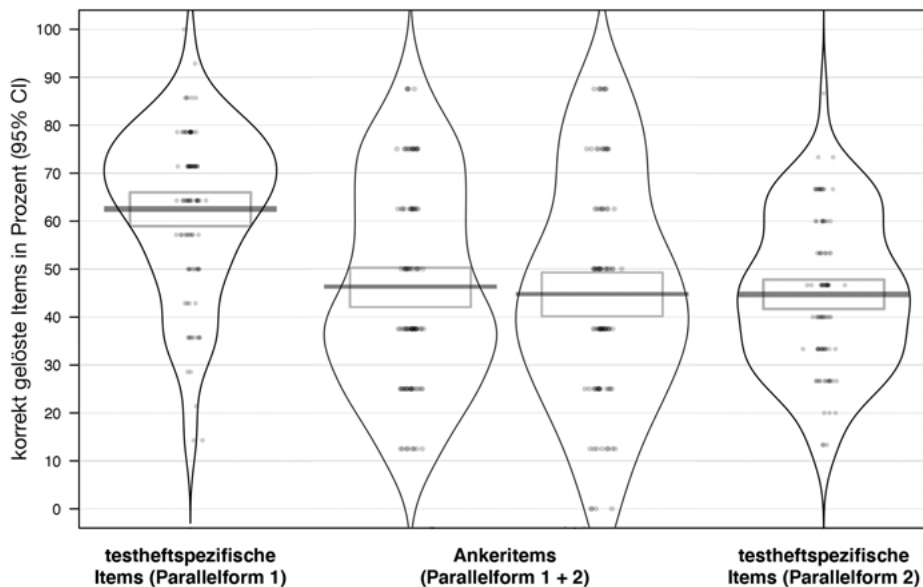


Abbildung 5: Verteilung der erreichten Lösungsquoten der Auszubildenden (graue Punkte) in den beiden Testheft-Parallelformen zur diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz (individuelle Lösungsquote, Dichtefunktionen, Mittelwerte und 95-Prozent-Konfidenzintervalle) (eigene Darstellung).

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen mittleren Schwierigkeiten der Items beider Testhefte wurden für die Einladung zu den *Cognitive Labs* dann solche Auszubildende ausgewählt, bei welchen aufgrund ihrer Testergebnisse einerseits von einer Vielzahl von basalen und/oder komplexen diagnoserelevanten Rezeptionsbarrieren auszugehen war, andererseits jedoch die Ausprägung der Kompetenz eine komplette Überforderung mit der Fehlerdiagnose eher unwahrscheinlich erscheinen ließ.¹⁸ Unter der zusätzlichen Prämisse, dass die Auszubildenden nur für unsere Studie relevante Ausbildungsschwerpunkte (Pkw-Technik, System- und Hochvolttechnik) gewählt hatten, verblieb aus der Stichprobe ein ProbandInnenpool von 106 Auszubildenden, von denen 69 ihre prinzipielle Bereitschaft zur Teilnahme erklärten und schließlich 24 an den *Cognitive Labs* teilnahmen.

¹⁸ Unter den ProbandInnen, die das etwas leichtere Testheft 1 bearbeiteten, wurden ausgehend von detaillierten Analysen der Ergebnisse jene mit Lösungsquoten zwischen 35 % und 60 % ausgewählt, in der anderen Gruppe wurden die Schwellenwerte mit 25 % und 50 % entsprechend der höheren Testschwierigkeit niedriger angesetzt.

Tabelle 1: Häufigkeitswerte personen- und ausbildungsbezogener Merkmale der an den Cognitive Labs teilnehmenden Auszubildenden im Vergleich zum ProbandInnenpool und zur Gesamtheit der Teilnehmenden am Test zur diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz.

Merkmal		ProbandInnen <i>Cognitive Labs</i> <i>n=24</i>		ProbandIn- nenpool <i>Cogni- tive Labs</i> <i>n=106</i>	ProbandIn- nen Test zur DRK <i>n=191</i>
		Häufigkeit	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %
Allgemeiner Schulabschluss	Keiner	-	-	-	0,6
	Hauptschule	2	8,3	18,9	24,0
	Mittlere Reife	16	66,7	70,8	64,6
	(Fach)Hoch- schulreife	5	20,8	9,4	8,9
Sprache im Elternhaus	Deutsch	14	58,3	51,9	52,1
	Deutsch und andere	8	33,3	38,7	38,5
	Nur andere	2	8,3	9,4	8,3
Art des Ausbil- dungsbetriebs	Vertragswerk- statt	21	87,5	69,8	65,1
	Freie Werkstatt	2	8,3	20,8	25,0
	Andere	1	4,2	9,4	8,9

DRK = diagnoserelevante Rezeptionskompetenz

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, unterscheidet sich der Pool möglicher ProbandInnen hinsichtlich der erfassten persönlichen und ausbildungsbezogenen Merkmale – bezogen auf die prozentuale Verteilung – nur in geringem Maße von der Gesamtgruppe der getesteten Auszubildenden, d. h. die Auszubildenden, die im Test eher schwach abgeschnitten haben, unterscheiden sich in ihrem erreichten allgemeinen Schulabschluss, der im Elternhaus gesprochenen Sprache und der Art des Ausbildungsbetriebs augenscheinlich nicht systematisch von der Gesamtgruppe. Die Subgruppe der Auszubildenden, die schließlich an den *Cognitive Labs* teilnahmen, weist demgegenüber einen mehr als doppelt so hohen Anteil an Auszubildenden mit (Fach)Hochschulreife auf, was eine höhere Bereitschaft der Auszubildenden mit vergleichsweise hoher Schulbildung andeuten könnte, sich außerhalb des Unterrichts zusätzlich in eine ausbildungsbezogene Leistungssituation zu begeben. Der signifikante Zusammenhang zwischen dem höchsten allgemeinbildenden Schulabschluss und der Art des Ausbildungsbetriebs auf der Ebene der Gesamtstichprobe ($\chi^2(6) = 30,127$; $p < ,001^{19}$; Cramer's $V = ,284$; der Anteil

19 Insgesamt 6 Zellen weisen erwartete Zellohäufigkeiten kleiner 5 auf; unter Verwendung der Monte-Carlo-Methode (Konfidenzniveau 99 %, 500 Stichproben) ermittelte Signifikanzwerte stützen jedoch die Ergebnisse.

an AbsolventInnen mit mittlerer Reife / Realschulabschluss oder (Fach-)Abitur ist in Vertragswerkstätten insgesamt höher) legt nahe, dass dieser mutmaßlich motivationale Selektionseffekt auch den vergleichsweise höheren Anteil an Auszubildenden aus Vertragswerkstätten unter den TeilnehmerInnen an den *Cognitive Labs* erklärt. Aussagen der Teilnehmenden aus den *Cognitive Labs* geben allerdings auch Hinweise darauf, dass es gerade in den Vertragswerkstätten im Vergleich zu freien Werkstätten wenige Gelegenheiten gibt, sich selbstständig mit der Fehlerdiagnose in mechatronischen Systemen zu beschäftigen, so dass hierin durchaus ein zusätzlicher motivierender Faktor für die Teilnahme bestehen dürfte.

Durchführung der *Cognitive Labs*

Um trotz der begrenzten Zahl von TeilnehmerInnen möglichst umfassende und gleichzeitig belastbare Erkenntnisse zu den diagnoserelevanten Rezeptionsbarrieren zu gewinnen, wurden aus dem Pool an in der Kfz-Simulation implementierten Fehlerszenarios acht vergleichsweise anspruchsvolle Fehlerfälle ausgewählt, deren Schwierigkeit nach den teilweise vorliegenden Erkenntnissen aus dem Niveaumodell mindestens auf Niveau 2 und damit eher über dem Kompetenzniveau der Testpersonen zu vermuten war. Entsprechend der für die Realität anzunehmenden Relevanz fiel die Wahl auf vier Fehlzustände aus dem Bereich des Motormanagements und jeweils zwei aus den Bereichen Beleuchtung bzw. Komfortsysteme. Weiter unterscheiden sich die Fehlerfälle u. a. hinsichtlich der Unterstützung durch das Diagnosesystem, welches für die Fehlzustände im Bereich der Beleuchtungsanlage grundsätzlich keine genaue Fehlerlokalisierung oder Fehlersuchanleitung bereitstellt, sowie bezogen auf die Fehlerursache, bei der es sich in sechs der acht Fälle um eine Leitungsunterbrechung und in zwei weiteren Fällen um eine defekte Komponente handelt. Allen Fehlerfällen gemein ist jedoch die Notwendigkeit, sich ab einem bestimmten Punkt im Fehlersuchprozess genauer mit dem jeweiligen elektrischen bzw. elektronischen System und damit mit dem spezifischen Stromlaufplan auseinanderzusetzen, um auf Basis der kognitiven Modellierung des Systems eigene Prüf- und Suchstrategien zu entwickeln und umzusetzen. Da die gewählten schwierigen Fehlerfälle jeweils auch die Anforderungen von Aufgaben auf den unteren Schwierigkeitsniveaus enthalten, wird sichergestellt, dass prinzipiell sowohl basale als auch komplexe diagnoserelevante Rezeptionsbarrieren aufgedeckt werden können und zudem alle ProbandInnen zumindest Teile des Fehlersuchprozesses durchlaufen können, ohne frühzeitig überfordert zu werden (zur Bedeutsamkeit des Anforderungsniveaus der gewählten Aufgaben für die Aussagekraft von *Think-Aloud-Interviews* oder *Cognitive Labs* siehe auch LEIGHTON 2017, S. 52 ff.).

Für die Durchführung eines *Cognitive Labs* wurden je Testperson drei Zeitstunden veranschlagt; die Erhebungsphase erstreckte sich über die Monate Februar bis einschließlich September 2020. Die Teilnahme an den *Cognitive Labs* erfolgte freiwillig; anders als geplant gelang es aufgrund zum Teil längerer Anfahrtswege nicht, eine gleich-

mäßige Verteilung nach Berufsschulen zu verwirklichen.²⁰ Der Ablauf erfolgte standardisiert; einer Begrüßung und kurzen Vorstellung der Ziele und des Zeitplans des *Cognitive Labs* sowie Informationen zum Datenschutz folgte eine ca. 30-minütige Einführung in die Kfz-Computersimulation. Hier wurden die ProbandInnen zunächst durch einzelne Videosequenzen mit den Oberflächen und Funktionalitäten der Simulation bzw. der implementierten Systeme vertraut gemacht und konnten die grundlegende Bedienung anhand kleinschrittiger Arbeitsaufträge einüben. Anschließend bearbeitete jede Testperson zwei Fehlerfälle; eine Zeitbegrenzung war hier ausdrücklich nicht vorgesehen, es wurde allerdings darauf geachtet, dass eine Gesamtbearbeitungszeit von zwei Stunden (inklusive einer Pause von etwa fünf Minuten) nicht deutlich überschritten wurde. Die Zuweisung und Reihenfolge der Fehlerfälle wurde systematisch variiert, um Positionseffekte auszuschließen.

Tabelle 2: Ablauf der Bearbeitung eines Fehlerfalls.

Phasen	ProbandIn	WissenschaftlerIn	Technik
Phase 1	Selbständige Fehlerdiagnose (<i>Think Aloud</i>)	Beobachtung	Tonaufnahme Bildschirmaufnahme
Phase 2	Gemeinsame Betrachtung (<i>Cognitive Lab</i>)		
Phase 3 (bei Bedarf)	Fortführung der Fehlerdiagnose (<i>Think Aloud</i>)	Beobachtung und Unterstützung	
Phase 4 (bei Bedarf)	Weitere gemeinsame Betrachtung (<i>Cognitive Lab</i>)		

Die Bearbeitung der Fehlerfälle verlief jeweils nach dem in Tabelle 2 dargestellten Schema. In einer ersten Phase beschäftigten sich die Auszubildenden vollkommen selbstständig mit der Fehlerdiagnose in der Kfz-Computersimulation und verbalisierten ihre kognitiven Prozesse dabei entsprechend der *Think-Aloud-Methode* laut denkend.²¹ Ausgenommen auftretender Schwierigkeiten bei der Bedienung der Kfz-

20 Es nahmen nur Auszubildende von drei der vier Standorte teil; auf eine Berufsschule entfielen insgesamt 12 ProbandInnen, auf die beiden anderen Standorte acht bzw. vier. Zumindest den die *Cognitive Labs* begleitenden WissenschaftlerInnen fielen jedoch keine Unterschiede zwischen den Auszubildenden auf, die einzig auf den jeweiligen Berufsschulstandort zurückzuführen wären. Auch entstammten die ProbandInnen verschiedenen Berufsschulklassen, so dass bezüglich dieses Merkmals eine größere Varianz gegeben ist.

21 Anders als in der einschlägigen Literatur zur Methode des Lauten Denkens empfohlen (vgl. z. B. LEIGHTON 2017, S. 48 f. und VAN SOMEREN/BARNARD/SANDBERG 1994, S. 43), wurde aufgrund von zeitlichen Restriktionen auf eine spezielle Übungsphase zum Lauten Denken verzichtet. Die Einbettung einer solchen Übungsmöglichkeit bspw. in die Einführungsphase zur Kfz-Simulation hätte u. E. die Erreichung des damit verbundenen Ziels, nämlich die weitestgehend problemlose Bedienung der Simulationsoberfläche, gefährdet und wurde daher nicht vorgesehen. Die Auszubildenden erhielten jedoch eine kurze Instruktion, in welcher in Anlehnung an VAN SOMEREN/BARNARD/SANDBERG (1994, S. 43) betont wurde, lediglich die eigenen Gedanken laut auszusprechen. Um zu verhindern, dass das laute Denken der ProbandInnen durch einen gefühlten Leistungsdruck beeinflusst wird, wurde zudem explizit darauf hingewiesen,

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

Computersimulation erhielten die Testpersonen in dieser Phase keine Unterstützung, sondern wurden von den zwei anwesenden WissenschaftlerInnen lediglich beobachtet und durch standardisierte Prompts (bspw. „Sprechen Sie weiter“, vgl. VAN SOMEREN/BARNARD/SANDBERG 1994, S. 44) an das laute Denken erinnert, um einen möglichst unverzerrten Einblick in die Fehlerdiagnoseprozesse der ProbandInnen zu erhalten. Auffällige Handlungen bzw. Äußerungen der ProbandInnen, d.h. Anzeichen möglicher (rezeptionsbezogener) Barrieren, wurden von beiden BeobachterInnen zudem auf einem Beobachtungsbogen protokolliert. Zur Sicherung der Daten wurden von dieser Phase (sowie aller folgenden Phasen) Audioaufnahmen sowie eine Aufzeichnung des Bildschirms der ProbandInnen angefertigt. Beendet wurde die erste Phase immer dann, wenn der Fehler korrekt diagnostiziert wurde oder der Proband bzw. die Probandin signalisierte, dass er oder sie keine weiteren Lösungsideen mehr generieren konnte oder wollte. In der anschließenden zweiten Bearbeitungsphase wurden dann auf Basis der Beobachtungsprotokolle relevante Ausschnitte der Bildschirmaufnahme nochmals gemeinsam betrachtet. Der Zielsetzung und dem empfohlenen Vorgehen von *Cognitive Labs* folgend wurden die Auszubildenden in dieser Phase durch gezieltes Nachfragen seitens der WissenschaftlerInnen gebeten, ihr Vorgehen zu erläutern und auf der Basis des eigenen Wissens Erklärungen und Begründungen für ihre Handlungen im Fehlersuchprozess zu explizieren. Anders als in der Phase des *Think Alouds* wurde hier bspw. durch „Warum“-Fragen nach Erklärungen gefragt oder die ProbandInnen wurden gebeten, ihr Verständnis eines Sachverhaltes im Kontext des Fehlerfalls darzulegen (zum Vorgehen siehe auch LEIGHTON (2017, S. 79 ff.)). Auch wurde seitens der WissenschaftlerInnen mehrfach nachgefragt, wenn weiterhin Unklarheiten bestanden bzw. wurden die Auszubildenden durch weitere Fragen gebeten, tiefer zu elaborieren.

Gelang es den ProbandInnen in der ersten Phase nicht, die Fehlerursache zu lokalisieren, erhielten sie nach dieser Phase der Reflexion die Möglichkeit, die Fehlerdiagnose in Phase 3 nochmals aufzunehmen. Um die Auszubildenden trotz dann weiter auftretender Barrieren möglichst weit im Fehlersuchprozess beobachten zu können, wurden sie in dieser Phase bei der Überwindung von für sie ansonsten unüberwindlichen Barrieren durch kleine Hinweise seitens der WissenschaftlerInnen unterstützt, dann jedoch ohne weitere Hilfen oder Eingriffe wie in der ersten Phase – abgesehen von Erinnerungen an das laute Denken – passiv beobachtet. Wurden seitens der WissenschaftlerInnen in dieser abermaligen Phase des *Think Alouds* Hinweise auf weitere, bislang nicht aufgedeckte Barrieren erkannt, schloss sich wiederum eine vierte Phase mit der gemeinsamen Betrachtung der Aufzeichnungen in Form eines *Cognitive Labs* an.

Nach der Bearbeitung von jeweils 2 Fehlerfällen wurden den ProbandInnen dann abschließend noch kurze Aufgabenstellungen zu den in den Fehlerszenarien abgebildeten (oder verwandten) Fahrzeugsystemen vorgelegt. Adressiert wurden hier Teilanforderungen aus möglichen weiteren Fehlersituationen wie z. B. Analysen des

dass seitens der WissenschaftlerInnen keine Leistungsbewertungen durchgeführt werden, sondern lediglich die individuellen Problemlöseprozesse und dabei auftretende Barrieren erfasst werden sollen (vgl. zur Bedeutsamkeit dieses Aspekts LEIGHTON 2017, S. 43 ff.).

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

Stromlaufplans zur Rekonstruktion des abgebildeten Systems, Prüfstrategien und die Interpretation von Messaufbauten und Messwerten. Ziel dieser zusätzlichen Aufgabenstellungen war, zeitökonomisch weitere Barrieren aufzuspüren und gleichzeitig die im Rahmen der komplexen Fehlerszenarien identifizierten Barrieren mit weiterer Evidenz zu untermauern.

Auswertung und Ergebnisse

Entsprechend des von ERICSSON und SIMON (1993, S. 309) beschriebenen Vorgehens für die Auswertung von Daten aus *Think-Aloud-Interviews*, welches auch im Zusammenhang mit der Durchführung von *Cognitive Labs* grundsätzlich als sinnvoll erachtet wird (LEIGHTON 2017, S. 69 f.), erfolgte die Auswertung der Video- und Audiodaten in drei übergeordneten Schritten, die im Folgenden näher beschrieben werden. Eine weitere Analyse, die abschließend vorgestellt wird, widmet sich explorativ der Frage, inwiefern die Leistungen der ProbandInnen im Test zur diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz geeignet sind, den Lösungserfolg der in den *Cognitive Labs* bearbeiteten Fehlerszenarien vorherzusagen, d. h. welche ersten Aussagen sich zur prognostischen Validität der Testwerte des Paper-Pencil-Tests treffen lassen.

Schritt 1: Iterative Ausdifferenzierung eines Kategorienschemas auf Basis der Beobachtungsdaten und verbalen Protokolle

Noch vor der Datenerhebung wurde eine gründliche Aufgabenanalyse für die eingesetzten Fehlerfälle durchgeführt, auf deren Basis dann ein erstes, fehlerfallspezifisches Modell notwendigen Vorwissens sowie mindestens zu erwartender Lösungsschritte entwickelt wurde. Aus dieser analytischen Sicht wurden zunächst Anforderungen aus dem Bereich „Rezeption/Lesen“ und „Fach- und Handlungswissen“ unterschieden, die zum Ausgangspunkt genommen wurden, erste Kategorien von Barrieretypen zu bilden, die im Verlauf der Auswertung dann datenbasiert verfeinert und erweitert wurden.

Aus zeitökonomischen Gründen wurde nicht das gesamte Video- und Audiomaterial transkribiert, sondern über eine genaue Sichtung sämtlicher Aufnahmen lediglich die Sequenzen herausgesucht, die hinsichtlich der Zielstellung, nämlich Barrieren im Diagnoseprozess der ProbandInnen aufzudecken, als relevant erachtet wurden.²² Zusätzlich zur wörtlichen Transkription wurde für jede dieser Sequenzen eine genaue Beschreibung des am Bildschirm beobachteten Verhaltens angefertigt bzw. für die Phase der *Cognitive Labs* die jeweils von den Beobachtern gestellten Fragen festgehalten. Im

22 Dieses Vorgehen deckt sich mit dem bei CHI (1997) und LEIGHTON (2017) empfohlenen Umgang mit verbalen Daten, nach welchem diese vor der Kodierung zunächst auf die zu fokussierenden Sequenzen reduziert und segmentiert werden sollten (CHI 1997, S. 278; LEIGHTON 2017, S. 163).

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

nächsten Schritt wurden dann die daraus abzuleitenden, individuellen Barrieren ausführlich beschrieben und erste, kurze übergreifendere Beschreibungen im Sinne vorläufiger Kategorien abgeleitet (siehe Beispiel in Tabelle 3).

Tabelle 3: Erfassung und Beschreibung der probandInnenspezifischen Barrieren sowie erste Kategorisierungsansätze.

PB	Phase Zeit [Min.]	Beobachtung	Wörtliches Transkript	Beschreibung der Barriere	Kategorie
1	Phase 1 23:40 – 24:14	Klickt zwischen Oszilloskopmessanzeige und der Abbildung in der Fehlersuchanleitung hin und her	„Spannung ist ja unter ..., d. h. ist nicht in Ordnung.“	Mangelndes Verständnis des abgebildeten Soll-Bildes aus Fehlersuchanleitung	Lesen: Verstehen des Schema-Bildes in der Fehlersuchanleitung
	Phase 2 10:18 – 10:22	<i>Frage der Beobachter: „Was hat das für Sie... was hat dieser Wert bedeutet?“</i>	„ja, weil ich wusste nicht, weil hier geht es ja über 2,5“ [zeigt auf die kleine Spitze in der Sinuskurve, die leicht über den Skalenwert 2,5 hinausgeht]		
3	Phase 1 9:12–9:33	misst Spannung mit Zündung ein von Kl. 1 gg. Kl. 103 (Ergebnis „0 V“)	„dann würde ich die Masseleitung vielleicht noch überprüfen, ob da vielleicht doch ein Fehler liegt,... die Masseleitung war Pin 1 auf 103,... [misst Spannung] da hab ich jetzt meinen Wert von 0 Volt, was soweit in Ordnung ist ...“	Aussage bezogen auf Spannungsfallmessung korrekt; Messaufbau für Spannungsfallmessung jedoch nicht geeignet (kein geschlossener Stromkreis)	Fachwissen: Voraussetzungen einer Spannungsfallmessung

PB = ProbandIn

Im Verlauf der Sichtung, Beschreibung und Einordnung weiterer Sequenzen (auch von weiteren ProbandInnen) wurden die Kategorien dann iterativ so verallgemeinert, dass diese sowohl als stellvertretend für alle dort zugeordneten Sequenzen als auch von weiteren Kategorien deutlich unterscheidbar betrachtet werden konnten (vgl. dazu auch GREENE/DAVID 1984, S. 77 sowie LEIGHTON 2017, S. 153). Die auf diese Weise gebildeten Kategorien wurden in ein tabellarisches Kodierungsschema zusammengefasst, wobei zu Strukturierungszwecken und nach inhaltlichen Gesichtspunkten weitere übergeordnete Kategorien auf insgesamt zwei Ebenen formuliert wurden (vgl. auch LEIGHTON 2017, S. 175 ff.). Die Übersicht zu diesen übergreifenden Kategorisierungsebenen (siehe

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

Tabelle 4) zeigt, dass auf der ersten Ebene vier Kategorien unterschieden werden. Zu den aus den analytischen Vorarbeiten bereits antizipierten Kategorien „Rezeption/Lesen“ (der vom Diagnosesystem bereitgestellten Informationsquellen) sowie „Fach- und Handlungswissen“ (zu fachwissenschaftlichen Konzepten, den Komponenten und notwendigen Messheuristiken) wurden nach Sichtung der Sequenzen noch die Kategorien „Umgang mit Informationsquellen“ sowie „Metakognitive Strategien“ aufgenommen.

Tabelle 4: Kategorienbezeichnungen auf der ersten und zweiten Ebene des Kategorienschemas.

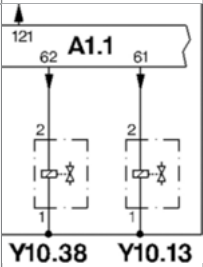
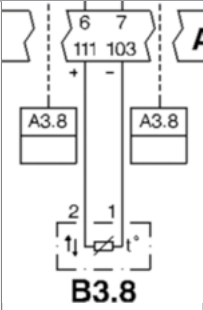
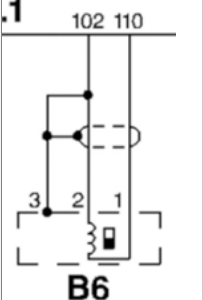
Kategorien Ebene 1	Fach- und Handlungswissen	Umgang mit Informationsquellen (IQ)	Rezeption/Lesen	Metakognitive Strategien
Kategorien Ebene 2	• Fachwiss. Konzepte • Systemelemente • Messheuristiken • Messmittel • Soll-/Ist-Werte	• Bedienung der ESI[tronic] • IQ kennen • IQ finden • IQ wählen	• Skimming • Scanning • Genaues Lesen • Verstehendes Lesen	• Planen • Durchführen/Überwachen • Bewerten/Interpretieren

In Anlehnung an CHI (1997) wurden jeder der identifizierten Kategorien ausführliche Datenbeispiele verschiedener ProbandInnen und jeweils unterschiedlicher Fehlerfälle zugeordnet, welche es erlauben, die inhaltliche Bedeutung der einzelnen Kategorien präzise nachzuvollziehen (ein Beispiel dafür zeigt Tabelle 5).²³

Nachdem sich bezogen auf die einzelnen Fehlerfälle jeweils nach der Hälfte der ProbandInnen – fehlerfallübergreifend dementsprechend nach etwa der Hälfte der Stichprobe – eine Sättigung des Schemas einstellte, d. h. nur sehr vereinzelt neue Kategorien aufgenommen werden mussten, erfolgte die Kodierung der Daten aller weiteren Testpersonen basierend auf dem in dieser Weise identifizierten Kategorienschema, welches auf der untersten Ebene 3 insgesamt 48 Einzelkategorien umfasst.

23 Die daraus resultierende niedrig-inferente Kodierung ermöglichte es den beiden RaterInnen, die Daten aller 24 ProbandInnen sehr gut nachvollziehbar und in hoher Übereinstimmung, abgesichert über eine fortwährende kommunikative Validierung, den gebildeten Kategorien zuzuweisen.

Tabelle 5: Finales Kategorienschema (Ausschnitt).

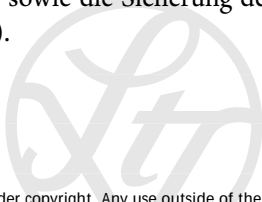
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 2	Kategorie Ebene 3	Beispiele (Beschreibung und verbales Protokoll)	Korrespondierende Abbildung aus dem SLP
Fachwissen	Messheuristiken	Widerstandsmessung	<i>[misst Widerstand zwischen Kl. 62 und Kl. 2 mit Zündung „ein“]</i> „Zündung müsste eingeschaltet sein...“	
		Spannungsfallmessung	„dann würde ich die Masseleitung vielleicht noch überprüfen, ob da vielleicht doch ein Fehler liegt,... die Masseleitung war Pin 1 auf 103,... <i>[misst Spannung bei offenem Steckerende]</i> da hab ich jetzt meinen Wert von 0 Volt, was soweit in Ordnung ist...“	
			<i>[misst Spannung kabelbaumseitig Kl. 2 gg. Pluspol der Batterie]</i> „gut, dann kann ich das schon mal ausschließen..., dass wir eben eine Leitungsunterbrechung haben,... das kann ich jetzt eben ausschließen, da wir [...] 0 Volt anliegen haben“	
		...	...	...
	Interpretation von Soll-/Ist-Werten	Widerstandswerte	„wenn es nur die Leitung wär, wäre 1 Ohm zu viel, aber da das Bauteil dazwischen ist, würde ich sagen ist OK“ <i>[vorherige Messungen haben gezeigt, dass die Komponente einen Widerstand von 5,8 kΩ hat]</i>	
...	...	...	...	...

Schritt 2: Iterative Entwicklung einer graphischen Darstellung der Barrieren im Diagnoseprozess auf Basis der Ergebnisse aus Schritt 1

Bevor im Sinne einer quantitativen Analyse untersucht wurde, welche der Barrieren im Diagnoseprozess sich als besonders häufig und damit für die Entwicklung der Förderbausteine als inhaltlich besonders bedeutsam abbildeten, wurden die Daten bzw. das Kategorienschema zunächst genutzt, um die bislang bestehenden Annahmen zum Diagnoseprozess (siehe Abschnitt oben) weiter zu verfeinern. Sowohl CHI (1997, S. 288) als auch LEIGHTON (2017, S. 156 ff.) verweisen in diesem Zusammenhang auf die Eignung grafischer Darstellungen, um die Erkenntnisse aus den ProbandInnenanalysen zu veranschaulichen. Besonders Befunde zu Problemlöseprozessen – und dies gilt aus unserer Sicht auch für die im Fehlerdiagnoseprozess auftretenden Barrieren – sollten dabei so dargestellt werden, dass die logische Abfolge der einzelnen Prozesssequenzen nachvollziehbar bleibt (CHI 1997, S. 288).

Die Grundstruktur für die graphische Darstellung bildeten die in ABELE (2018, S. 141) abgebildeten Phasen des Diagnoseprozesses, in welche die jeweiligen Barrieren der Auszubildenden dann ebenfalls in graphischer Form eingefügt wurden. Analog zum beschriebenen Vorgehen bei der Entwicklung des Kategorienschemas wurde auch hier ein iteratives Vorgehen gewählt, d. h. es wurde zunächst für einzelne Testpersonen je eine separate graphische Darstellung mit den spezifischen Barrieren (der Ebene 3 im Kategorienschema) erstellt. Ausgehend von diesen einzelnen Darstellungen wurde, nachdem auch hier eine gewisse Sättigung im Sinne gleichartiger Strukturen zu erkennen war, ein übergreifendes graphisches Schema eines höheren Abstraktionsgrades abgeleitet, welches dann mit den Daten der weiteren ProbandInnen abgeglichen und ggf. verändert oder ergänzt wurde. Im Ergebnis bildet dieses Schema zum einen die im Rahmen der Untersuchung aufgedeckten Barrieren probandInnenübergreifend und zurückgeführt auf den Fehlerdiagnoseprozess ab, zum anderen bietet es eine datengestützte Differenzierung und Konkretisierung der bei ABELE (2018) beschriebenen möglichen Anforderungen im Diagnoseprozess (siehe Abbildung 6).

Entsprechend des Untersuchungsinteresses der *Cognitive Labs* stehen bezogen auf jede der vier Diagnosephasen solche Anforderungen im Zentrum, die die Auswahl möglicher Informationsquellen und vor allem die Rezeption der darin enthaltenen textlichen, bildlichen und piktografischen Informationen umfassen. Sowohl die Auswahl der Informationsquellen als auch die Rezeption der Informationen erfolgen jeweils im Rückgriff auf das Vorwissen der Auszubildenden, wobei je nach Phase unterschiedliche Wissensbereiche aktiviert werden müssen. Gerahmt werden die Prozesse in jeder Phase durch den Einsatz metakognitiver Strategien, die jeweils die Planung und die Überwachung der anstehenden Schritte, sowie die Sicherung der (Teil-)Ergebnisse umfassen (Details dazu siehe Abbildung 6).



Informationsgewinnung						Hypothesengenerierung	Hypothesenprüfung	Hypothesenevaluation
Planvolles Vorgehen	1a. Ort der Fehlerursache eingrenzen	1b. Elektrisches System analysieren und modellieren	2. Messstrategie nachvollziehen/überlegen Messaufbau modellieren	3. Messstellen im Fahrzeug suchen und Messung umsetzen	4. Messergebnis bewerten und mit anderen Messungen in Beziehung setzen			
Vorwissen aktivieren	Wissen über Informationsquellen	Wissen über Informationsquellen	Wissen zu Fehlerursachen Wissen zu Messheuristiken und komponentenspez. Prüfstrategien/Messmitteln	Wissen über Informationsquellen	Wissen zu Informationsquellen Wissen zu Messwerten			
Informationsquellen wählen	Informationsquellen wählen • Kundenbeurteilung • Ergebnis der Fehlerspeicheranalyse	Informationsquellen wählen • Stromlaufplan (Systemdarstellung) • Meshinweise (ggf. Systeminfos) • Funktionsbeschreibung, Ist-Werte, Einbaulagen	Informationsquellen wählen • Meshinweise (Fehlersuchanleitung)	Informationsquellen wählen • Einbaulagen • Sicherungsübersicht (Fusecard)	Informationsquellen wählen • Meshinweise (Sollwerte)			
Rezeption	• Genau lesen und verstehen • Behalten	• Scannen (SLP), genau lesen und verstehen (SLP/MHW) • Kohärenzbildung (Verknüpfung) • Behalten	• Genau lesen und verstehen • Behalten	• Scannen, genau lesen und verstehen (Fusecard)	• Genau lesen und verstehen			
Vorwissen aktivieren	Oberflächliches Wissen über Komponenten und Systeme	Tiefes/differenziertes Wissen über Komponenten und Systeme Wissen über Darstellungs-konventionen und Symbole des SLP	Wissen über Begriffe und Darstellungskonventionen	Wissen über Darstellungs-konventionen (und Symbole)	Wissen über Darstellungs-konventionen, Diagramme			
Metakognitive Überwachung	Prüfen, ob Fehlerursache korrekt notiert wurde	Prüfen, ob keine Widersprüche/leerstellen in Annahmen zum System	Prüfen, ob Messstrategie/ Messaufbau stimmig	Prüfen, ob Messaufbau korrekt umgesetzt wurde	Prüfen, ob Ergebnis stimmig (und ggf. passend zu weiteren Ergebnissen)			
Ergebnis-sicherung	Komponente notieren	Informationen zu System notieren/visualisieren	Geplante Messung notieren	Ggf. durchgeführte Messung notieren	Messergebnis und Bewertung notieren			
Messung umsetzen								

SLP = Stromlaufplan, MHW = Messhinweis.

Abbildung 6: Graphische Darstellung der über die Think-Aloud-Interviews und Cognitive Labs ermittelten rezeptionsbezogenen Anforderungen im Diagnoseprozess (eigene Darstellung).

Nicht jeder Fehlzustand erfordert jedoch die Bewältigung aller dargestellten Anforderungen. Diagnoseaufgaben, wie sie im Niveaumodell mit Niveau 1 assoziiert sind, werden stark durch das Diagnosesystem unterstützt. D. h. nachdem der Ort des Fehlers – meist mit Hilfe des Systems – eingegrenzt wurde, umfasst das Vorgehen in den Phasen der Hypothesengenerierung, -prüfung und -evaluation vor allem die Identifikation relevanter, überwiegend relativ einfach aufzufindender Informationen sowie das genaue und verstehende Lesen fachspezifischer, jedoch vergleichsweise alltagsnaher Textarten und somit genau jene Anforderungen, die mit der anfangs definierten basalen diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz korrespondieren. Die systematische Auseinandersetzung mit den durch das Diagnosesystem bereitgestellten Dokumenten (exklusive des Stromlaufplans) zeigt sich zur Lösung der hier als „basal“ benannten Diagnoseaufgaben als ein adäquater und meist effizienter Weg.

Nicht zwingend notwendig wird in diesen Diagnoseaufgaben die tiefe Auseinandersetzung und kognitive Durchdringung bzw. Modellierung des elektrischen Systems (in Abbildung 6 in der Phase der Informationsgewinnung und -verarbeitung als „1b. Elektrisches System analysieren und modellieren“ beschrieben). Diese sehr anspruchsvolle und in hohem Maße erfolgskritische Anforderung kennzeichnet durchgängig diejenigen Diagnoseaufgaben, die im Niveaumodell auf dem zweiten oder dritten Niveau verortet sind und tritt immer dann auf, wenn (a) die Abarbeitung der durch das Diagnosesystem vorgeschlagenen Schritte noch nicht zur Identifikation der Fehlerursache geführt hat oder (b) von Anfang an keine direkten Hilfen durch das System zur Verfügung gestellt wurden. Die kognitive Durchdringung und Modellierung des elektrischen Systems wiederum erfordert zwingend das genaue und funktionale Lesen elektrischer Stromlaufpläne und gelingt nach obiger Definition nur bei entsprechend ausgeprägter komplexer diagnoserelevanter Rezeptionskompetenz. Die für die „basalen“ Diagnoseaufgaben maßgeblichen Hilfestellungen besitzen dagegen für diese Aufgaben keine oder nur geringe Relevanz, d. h. eine vergleichsweise hohe Ausprägung der basalen diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz allein kann hier nur wenig zum Erfolg beitragen. Diagnoseaufgaben dieses Typs sollen daher als „komplex“ bezeichnet werden.

Schritt 3: Ermittlung personenübergreifend bedeutsamer Barrieren im Diagnoseprozess

Neben der weiteren Ausdifferenzierung und Beschreibung der rezeptionsbezogenen Anforderungen lag das Interesse der Untersuchung darauf, individuenübergreifend Erkenntnisse zu den Barrieren der Auszubildenden zu generieren, um die Förderbausteine der zu entwickelnden Lernplattform schließlich auf die Problembereiche ausrichten zu können, die zumindest nach den Befunden dieser nicht repräsentativen Stichprobe als zentral zu erachten sind. Die Daten aller 24 Testpersonen wurden daher in einem dritten Schritt genutzt, um zu untersuchen, welche der identifizierten Kategorien bzw. Barrieren sich auf überindividueller Ebene als anteilmäßig bedeutsam abzeichnen. Da die einzelnen Fehlerszenarios teilweise unterschiedliche Anforderungen bezüglich des

Fachwissens, der notwendigen Informationsquellen und deren Rezeption sowie der einzusetzenden Messheuristiken aufweisen, wurden zunächst fehlerfallspezifisch, d. h. nur auf Basis von jeweils 6 ProbandInnen, Häufigkeitsanalysen durchgeführt und diejenigen Barrieren identifiziert, die bei mindestens der Hälfte der Testpersonen mindestens einmal im Fehlerdiagnoseprozess sichtbar wurden. Angesichts der darüber hinaus bestehenden großen inhaltlichen und strukturellen Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Fehlerszenarien wurden anschließend zusätzlich die Häufigkeiten auf Ebene der Gesamtstichprobe von 24 ProbandInnen betrachtet und hier zudem die Kategorien ausgewählt, welche sich mindestens für 25 % der Testpersonen als Barriere zeigten.²⁴ Die getroffene Auswahl wurde schließlich von drei FachexpertInnen nochmals begutachtet, um sicherzustellen, dass keine aus ExpertInnensicht inhaltlich bedeutsamen Barrieren vernachlässigt wurden.

Im Ergebnis deuten sich bezogen auf die basalen Diagnoseaufgaben als Barrieren vor allem mangelndes Wissen zu den im Diagnosesystem verfügbaren Informationsquellen und den dort üblichen Darstellungskonventionen und Diagrammdarstellungen sowie erhebliche Schwächen bei der Anwendung zentraler Lesestile, genauer dem selektiven (Scanning) bzw. detaillierten Lesen (zur Unterscheidung der Lesestile siehe LEISEN 2007, S. 190 f.) an, was teilweise in Kombination dazu führt, dass das Gelesene nicht adäquat kognitiv modelliert, d. h. verstanden wird und infolgedessen Messungen falsch umgesetzt oder Messergebnisse falsch interpretiert werden. Die Anwendung metakognitiver Strategien wird bei den basalen Diagnoseaufgaben nur punktuell tatsächlich notwendig; so werden bspw. das planvolle Vorgehen und die Überwachung der einzelnen Handlungsschritte bereits stark durch die Hinweise des Diagnosesystems gesteuert. Einzig der konkrete Messaufbau erfordert eine vorab eigenständig durchgeführte bewusste kognitive Modellierung, die jedoch tatsächlich bei vielen Auszubildenden nicht gründlich erfolgt und schließlich in fehlerhaft oder unvollständig ausgeführten Messungen mündet, wodurch schließlich falsche Messwerte abgelesen werden und der weitere Fehlersuchprozess evtl. als abgeschlossen interpretiert oder falsch weitergeführt wird. Ähnlich folgenschwer wirkt sich die häufig ausbleibende Sicherung bereitgestellter Informationen oder selbst generierter (Teil-)Ergebnisse aus, was sich in allen Phasen des Diagnoseprozesses als erhebliche Barriere erweisen kann.

Auch bezogen auf die Diagnoseaufgaben des komplexen Typs lässt sich gehäuft ein mangelndes Wissen zu den relevanten Informationsquellen feststellen, wobei hier gerade in der Phase der Informationsgewinnung zum elektrischen und elektronischen System (in Abbildung 6 als „1b“ bezeichnet) das Problem auftritt, dass es den Auszubildenden schwerfällt, aus der Fülle der verfügbaren Dokumente die in der jeweiligen Si-

24 Da bei dieser übergreifenden Häufigkeitsanalyse berücksichtigt werden muss, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit der Barrieren bezogen auf die einzelnen Fehlerszenarien systematisch variiert, d. h. bestimmte Barrieren bei bestimmten Fehlerszenarien gar nicht auftreten konnten, wurde hier der Cut-Off-Wert deutlich niedriger angesetzt als für die fehlerfallspezifische Auswertung. Der Wert von 25 % wurde gewählt unter der Annahme, dass auf diese Weise einerseits keine fehlerfallübergreifend bedeutsamen Barrieren übersehen werden und andererseits der Fokus der Lernplattform nicht zu stark auf singuläre Förderbedarfe gerichtet wird.

tuation relevanten auszuwählen und die darin enthaltenen Informationen miteinander kohärent zu verknüpfen. Als erhebliche Barriere zeigt sich in dieser Phase zudem das nicht in ausreichender Tiefe und Differenziertheit vorhandene Wissen zu Fachkonzepten, den verschiedenen Komponenten und Systemen, welches gepaart mit der meist geringen Kenntnis der Darstellungskonventionen und Symbolik der hersteller- bzw. diagnosesystemspezifischen elektrischen Schaltpläne in fast allen Fällen dazu führt, dass die jeweiligen elektrischen und elektronischen Systeme nicht korrekt modelliert werden können. Diese Problematik wird weiter verschärft durch die auch hier zu beobachtenden Schwächen beim Scanning und detaillierten Lesen, die das Auffinden und Verstehen der relevanten Systemzusammenhänge in Summe nahezu unmöglich werden lassen. Neben dem Scheitern an der kognitiven Modellierung des Systems zeigt sich als weiterer Befund, dass ein nicht geringer Teil der Auszubildenden diesen zentralen Schritt komplett überspringt, d. h. gar keine Anstrengungen unternimmt, das vorliegende System gründlich zu analysieren oder aber erfahrungsbasierte Annahmen trifft, ohne diese anhand der Informationsquellen (wie bspw. des Stromlaufplans) für das vorliegende System auf ihre Korrektheit hin zu überprüfen. Ein derartig mangelhafter Einsatz metakognitiver Strategien zeigt sich auch in der anschließenden Phase der Hypothesengenerierung, wo wiederum häufig zu wenig Augenmerk auf das bewusste Überlegen einer geeigneten Messstrategie und die sorgfältige kognitive Modellierung des passenden Messaufbaus gelegt wird. Stattdessen werden immer wieder scheinbar wahllos die aus dem Unterricht und der Praxis bekannten, jedoch aufgrund des vielfach nicht ausreichend elaborierten elektrotechnischen Grundlagenwissens fehlerhaft abgespeicherten Messheuristiken eingesetzt, die dann jedoch häufig nicht geeignet sind, die von den Auszubildenden generierten Hypothesen zu den Fehlerursachen zu prüfen. In der Phase der Hypothesenevaluation zeigen sich nahezu alle Auszubildenden in unserer Untersuchung überfordert damit, die Vielzahl der gewonnenen Messergebnisse eigenständig zu interpretieren, wobei sich auch hier die mangelnde Ergebnissicherung sowie eine häufige Unkenntnis plausibler Sollwerte als weitere Barrieren erweisen.

Validitätsevidenz

Neben der Identifikation zentraler rezeptionsbezogener Barrieren der Auszubildenden ermöglichen die in der vorliegenden Studie durchgeführten Datenerhebungen auch eine Untersuchung der Validität des eingesetzten Paper-Pencil-Tests zur Beurteilung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz. Validierung wird hierbei als das Sammeln von Evidenz zur Beantwortung der Frage verstanden, inwieweit die auf den Testwerten basierten Interpretationen und Schlussfolgerungen gültig und angemessen sind (RUPP/PANT 2006; AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION / AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION / NATIONAL COUNCIL ON MEASUREMENT IN EDUCATION [AERA, APA, & NCME] 2014). Als Testwerte wurden hierbei sogenannte Weighted Likelihood Estimates (WLE-Personenschätzer) mit Methoden der probabilistischen Testtheorie herangezogen, um den unterschiedlichen Itemschwierig-

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

keiten in den Testheften und den durch die Parallelförmigkeiten bedingten fehlenden Werten in der Datenmatrix Rechnung zu tragen (vgl. WU 2005). Zur Berechnung der Personenfähigkeiten wurde ein zweiparametrisches logistisches Modell spezifiziert, in dem die unterschiedlichen Trennschärfen der Testitems berücksichtigt sind.²⁵

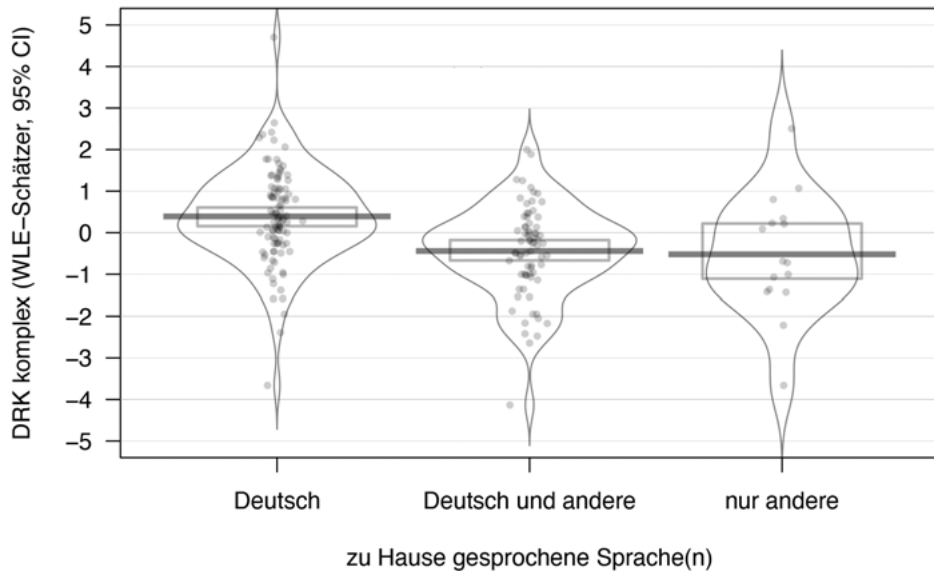


Abbildung 7: Testwertverteilungen getrennt nach den im Haushalt gesprochenen Sprachen (Rohwerte, Dichtefunktionen, Mittelwerte und 95-Prozent-Konfidenzintervalle) (eigene Darstellung).

Mit dem Ziel einer Beurteilung, inwieweit der Paper-Pencil-Test Fähigkeiten misst, die in der Kfz-Ausbildung generell relevant sind, wurde der Zusammenhang der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz (WLE-Personenschätzer) mit der von den Versuchspersonen im ersten Teil der Gesellenprüfung erreichten Punktzahl berechnet. Erwartungskonform zeigt sich zwischen den Variablen eine substantielle positive Korrelation, die signifikant von Null verschieden ist ($r = ,40$; $p < ,001$). Neben diesem erwünschten Zusammenhang wurden auch Hinweise auf eine mögliche Konfundierung der Testergebnisse mit sprachlichen Fähigkeiten geprüft. Hierzu wurde zum einen eine Korrelation zwischen den Testergebnissen und der Deutschnote berechnet; diese fällt wegen der absteigenden Notenmetrik erwartungskonform negativ aus und ist mit $\rho = -,27$ ($p < ,001$) nominell niedriger als der Zusammenhang mit dem Ergebnis der Gesellenprüfung.²⁶ Zum anderen wurden Zusammenhänge der Testleistungen mit den im

²⁵ In einer Reihe von Modellvergleichen wurden diverse ein- und zweiparametrische Modelle mit ein- und mehrdimensionaler Struktur miteinander verglichen. Das für die hier präsentierten Analysen verwendete 2PL-Modell wies sowohl in Bezug auf globale Fitparameter als auch auf gängige Informationskriterien die beste Passung zur Struktur der Daten auf.

²⁶ Ein direkter Vergleich der beiden Korrelationen ist nicht möglich, da für den Zusammenhang mit der Prüfungspunktzahl Pearsons r berechnet wurde, wohingegen der Zusammenhang mit der ordinalskalierten Deutschnote mithilfe des biparametrischen Ankoeffizienten von Spearman berechnet wurde.

Haushalt der Auszubildenden gesprochenen Sprachen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass Personen, in deren Haushalten ausschließlich Deutsch gesprochen wird, im Paper-Pencil-Test signifikant besser abschnitten als Personen aus gemischt- oder fremdsprachigen Haushalten ($F_{[2, 39,99]} = 12,56$; $p < ,001$; siehe auch Abbildung 7).

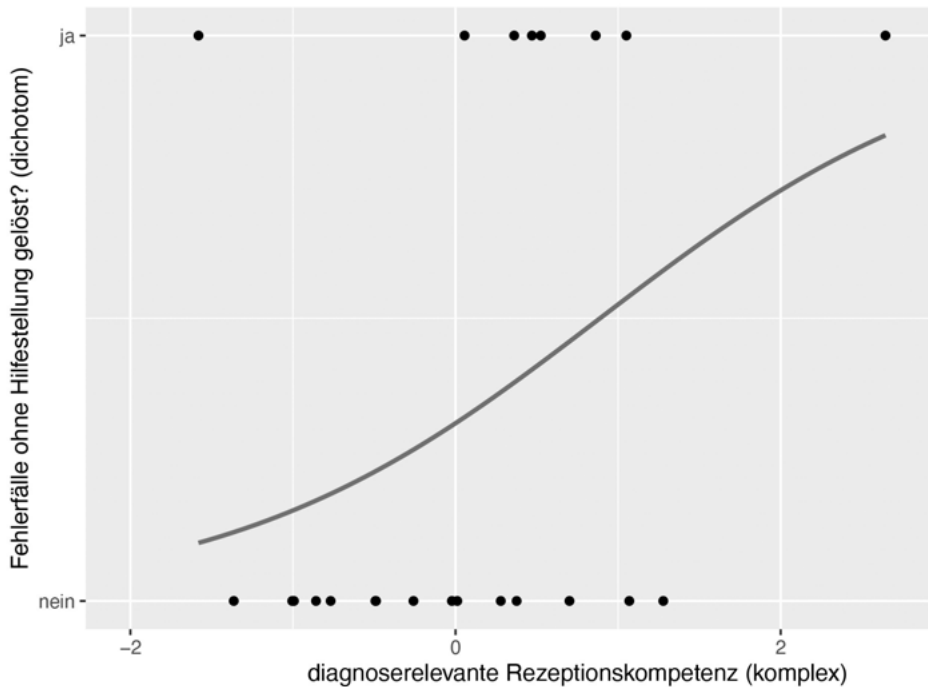
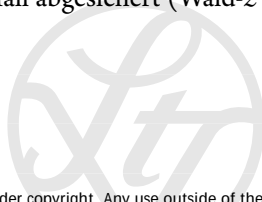


Abbildung 8: Logistische Regression der vollständig gelösten Fehlerfälle auf die komplexe diagnoserelevante Rezeptionskompetenz (eigene Darstellung).

Zur Einschätzung der prognostischen Validität der Testwerte in Bezug auf das korrekte Diagnostizieren von Fehlern am Kfz wurde eine logistische Regression vollständig gelöster Fehlerfälle in der *Cognitive-Lab*-Studie auf die komplexe Rezeptionskompetenz berechnet. Hierzu lagen für 23 der 24 ProbandInnen verwertbare Informationen über die Lösung der Fehlerfälle vor. Es deutet sich ein Effekt in der zu erwartenden Richtung an – je höher die diagnoserelevante Rezeptionskompetenz, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler in der Computersimulation ohne Hilfestellung korrekt diagnostiziert werden –, jedoch ist dieser bedingt durch die relativ kleine Stichprobengröße nicht hinreichend gegen den Zufall abgesichert (Wald- $z = 1,58$; $p = ,115$; siehe auch Abbildung 8).



Diskussion

Auf methodischer Ebene kann resümiert werden, dass sich die hier realisierte Kombination von *Think-Aloud-Interviews* und *Cognitive Labs* aus gleich mehreren Perspektiven als äußerst gewinnbringend erwiesen hat. Zum einen geben die bei den 24 ProbandInnen gesammelten Daten erstmalig überhaupt systematisch und differenziert Aufschluss darüber, welche Anforderungen im Diagnoseprozess sich als konkrete Barrieren darstellen. Die Probleme, vom Diagnosesystem bereitgestellte Informationen aufzufinden bzw. zu nutzen sowie der mangelhafte Einsatz metakognitiver Strategien konnten dabei erst durch die Beobachtung und Befragung der Auszubildenden sicher als Barrieren identifiziert werden. Die detaillierten Befunde auf mehreren Ebenen des Kategorisierungsschemas liefern damit eine fundierte Basis für die Entwicklung der Interventionen zur Förderung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz. Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, lassen sich für die beiden hier unterschiedenen Anforderungstypen „basal“ und „komplex“ jeweils spezifische Barrieren unterscheiden, was Forschende und Lehrende in die Lage versetzt, adressatenspezifische Förderbausteine zur Überwindung dieser Barrieren evidenzbasiert zu entwickeln.

Ebenfalls aufschlussreich sind die Ergebnisse der *Cognitive Labs* für eine erste Bewertung der Validität des eigens entwickelten und in dieser Untersuchung erstmals eingesetzten Tests zur Erfassung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz. Wie erwartet zeigte sich ein substantieller Zusammenhang der Testergebnisse mit der Punktzahl des ersten Teils der Gesellenprüfung, der zumindest nominell größer war als eine Korrelation mit der Note im Fach Deutsch. Wenngleich die potentiellen Ursachen für die gefundenen Zusammenhänge mit Deutschnoten und auch mit den im Haushalt gesprochenen Sprachen mannigfaltig sind und sowohl von Effekten beim Kompetenzerwerb als auch durch eine Konfundierung bei der Aufgabenbearbeitung selbst verursacht sein können (s. hierzu HARTMANN 2013), lässt sich aus den Befunden vorsichtig schließen, dass für das Lösen der Items des Paper-Pencil-Tests fachliche Kompetenzen aus dem Kfz-Bereich eine größere Rolle spielen als bildungssprachliche Fähigkeiten. Dies ist im Sinne der Validität ein erfreulicher und keineswegs selbstverständlicher Befund.²⁷ Die Evidenzlage zur prognostischen Validität ist noch uneindeutig. Da hierfür nur die Daten jener Personen genutzt werden konnten, die an der *Cognitive-Lab*-Studie teilgenommen hatten, war die verfügbare Stichprobe zu klein, um den sich andeutenden Effekt hinreichend gegen den Zufall abzusichern. Hinzu kommt, dass die Varianz der Ergebnisse sowohl des Paper-Pencil-Tests als auch des Diagnoseerfolges in der Kfz-Simulation durch die vorherige ProbandInnenselektion künstlich beschnitten war, sodass der tatsächliche Zusammenhang vermutlich nur eingeschränkt abgebildet wird. Um die Frage nach der prognostischen Validität abschließend zu klären, ist eine Untersuchung in einer größeren Stichprobe erforderlich, bei der zudem Personen des gesamten Fähigkeitsspektrums

27 Dass die Ergebnisse der Gesellenprüfung ihrerseits mit Sprachkompetenzen konfundiert sein können, fand bei den hier durchgeführten Analysen keine Berücksichtigung und müsste in einer eigenen Studie genauer untersucht werden.

einzu beziehen sind. Einzelne korrelative Befunde und die prognostische Validität sind für sich genommen noch keine Beweise dafür, dass die aus den Ergebnissen des Paper-Pencil-Tests abgeleiteten Interpretationen und Schlussfolgerungen valide sind. Sie bilden aber eine erste Grundlage für eine Reihe zukünftiger Untersuchungen von Validität und können auch wertvolle Hinweise für eine Revision des Instruments bilden. Hierbei sollte dann, falls weiterhin Paralleltests eingesetzt werden sollten, auch der gefundene Schwierigkeitsunterschied zwischen den Parallelformen durch eine Neuordnung von Items zu den beiden Testheften beseitigt werden.

Die *Cognitive Labs* stützen prinzipiell auch die eingangs referierten Befunde der Studie von NICKOLAUS u. a. 2012 zur Schwierigkeit der für die Untersuchung gewählten Fehlerszenarien der Niveaus 2 und 3 bzw. den deutlichen Kompetenzdefiziten der Auszubildenden. So liegt der prozentuale Anteil erfolgreicher Fehlerdiagnosen über alle Teilnehmer hinweg bei nur 17 %; drei Fehlerursachen konnten sogar von keinem der jeweils sechs Auszubildenden selbständig ermittelt werden. Gestützt werden zudem die Annahmen zu den schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen aus der gleichen Studie, wobei die systematisch ermittelten Anforderungen nun wesentlich differenziertere Betrachtungen und damit neue Analysen der einzelnen Aufgaben ermöglichen. Deutlich wurde im Laufe unserer Untersuchung auch, dass die Bewertung der Diagnosekompetenz mit Hilfe der Kfz-Computersimulation auf Basis einer globalen Erfolgsbewertung (nicht gelöst, teilweise richtig, vollständig richtig) als suboptimal einzuschätzen ist, da viele Informationen zur Kompetenzausprägung der Auszubildenden und damit auch statistische Varianz verloren gehen, was allenfalls über die Bearbeitung möglichst vieler Fehlerszenarien – jedoch mit dem Nachteil ausufernder Testzeiten – teilweise zu kompensieren wäre. Der von ABELE (2018) verfolgte Ansatz, einzelne Lösungsschritte über computergenerierte Log-Dateien nachzuvollziehen und einer Bewertung zu unterziehen, bietet diesbezüglich großes Potenzial, wobei die Erkenntnisse aus den *Cognitive Labs* es nicht nur ermöglichen, (weitere) korrekte Lösungswege zu identifizieren, sondern auch völlig ungeeignete von sinnvollen, jedoch fehlerhaften Lösungsansätzen zu unterscheiden. Eine solche differenzierte Bewertung würde zudem neue und vielversprechende Möglichkeiten für eine zukünftige Validierung des Tests zur Erfassung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz eröffnen. Aus der Beobachtung der ProbandInnen resultieren des Weiteren wichtige Hinweise auf Barrieren, die auf die Kfz-Computersimulation selbst zurückzuführen sind und auf bestehende Optimierungspotenziale bspw. hinsichtlich weiterer möglicher Messaufbauten und zu ergänzender Messwerte verweisen. Projektintern werden diese in einer derzeitigen Neuprogrammierung unter Federführung der Kollegen der Technischen Universität Dresden adressiert und sollten zu einer weiteren Verbesserung der Validität der Simulation führen.

Interessant sind die Befunde auch aus der Perspektive der Definition der Kfz-Diagnosekompetenz. Etliche der festgestellten Barrieren im Diagnoseprozess waren auf die mangelhafte metakognitive Steuerung und Kontrolle der Auszubildenden zurückzuführen und zeigten sich über die Bearbeitung beider Fehlerfälle trotz der im Detail wechselnden Anforderungen als recht stabil. Sie verweisen somit eher auf ein Personenmerkmal als auf situativ wechselnde Zustände (zur Unterscheidung zwischen zeitlich

stabilen bzw. instabilen Merkmalen siehe die *Latent-State-Trait-Theorie*, z. B. KELAVA/SCHERMELLEH-ENGEL 2008). Dies würde entweder der gängigen Annahme widersprechen, wonach exekutive Metakognitionen stark situativ angepasst werden (vgl. HASSELHORN 1992, S. 41) oder aber nahelegen, dass Fehlerdiagnosen im Kfz einen besonderen Typ von Situationen darstellen, welcher ein immer ähnliches metakognitives Verhalten hervorruft. Auch wenn eine derartige Schlussfolgerung einer weiteren Klärung bedarf, scheint es aus Sicht der VerfasserInnen diskussionswürdig, die bislang in den Arbeiten zur psychometrischen Kompetenzmessung vorgenommene Beschränkung auf kognitive Komponenten um die genannten metakognitiven Aspekte zu erweitern.

Nicht zuletzt für die curriculare und didaktische Gestaltung der Ausbildung in Berufsschulen und Betrieben liefert die gezielte Beobachtung und Befragung der Auszubildenden wertvolle Hinweise. Die in der Untersuchung häufig beobachteten Barrieren verweisen auf eine Reihe von Ausbildungsinhalten, deren Vermittlung und sichere Beherrschung in (zu) vielen Fällen nicht in wünschenswerter Weise gelingt. Neben gezielten Interventionen, wie sie im vorliegenden Forschungsprojekt entwickelt werden, bieten sich auf Ebene der Ordnungsmittel (d. h. des Rahmenlehrplans und der Ausbildungsordnung) sowie unmittelbar auf schulischer und betrieblicher Ebene weitere Stellschrauben, um hier langfristig positive Veränderungen anzustoßen. So ist aus den Beobachtungen abzuleiten, dass nicht wenige Auszubildende damit überfordert sind, die im Lernfeldunterricht über mehrere Lehrjahre gestreckt und eher abstrakt vermittelten elektrotechnischen Inhalte und Messheuristiken in einer Tiefe zu durchdringen, dass sie diese dann auch in den wenigen Übungssituationen im fachpraktischen Unterricht, den überbetrieblichen Lehrgängen sowie im jeweiligen Ausbildungsbetrieb mit hinreichender Sicherheit anwenden können. Inhaltlich teilweise widersprüchliche Vorgaben der mit der Ausbildung betrauten Fachkräfte (d. h. Lehrkräfte an beruflichen Schulen, Ausbilder in überbetrieblichen und betrieblichen Ausbildungsstätten) scheinen die bestehenden Unsicherheiten und Fehlkonzepte zudem zu begünstigen. Eine kritische Reflexion der bestehenden zeitlichen Gliederung des Lehrplanes und der Ausbildungsordnung sowie der derzeit eingesetzten didaktischen Konzepte und Lehr-Lernarrangements scheint hier ebenso notwendig wie eine intensivere und detailliertere zeitliche und inhaltliche Abstimmung der Angebote der verschiedenen Lernorte.

Zu betonen sind abschließend die Einschränkungen hinsichtlich der generellen Aussagekraft der Untersuchung. Hier ist vorrangig die Stichprobengröße zu nennen. Besonderheiten einzelner Auszubildender oder auch einzelner Schulstandorte fallen infolge der vergleichsweise kleinen Zahl untersuchter Individuen stärker ins Gewicht und könnten deutliche Verzerrungen zur Folge haben. Dies wird in Abbildung 8 besonders deutlich, wo der sich andeutende Regressionseffekt auf wenige Individuen zurückführbar scheint und sich mit hinzukommenden Versuchspersonen noch erheblich verändern könnte.

Es ist zudem nicht sicher, in welchem Umfang die in der Studie eher selten beobachteten Barrieren in der Gesamtpopulation aller Auszubildenden vorkommen. Häufig beobachtete Barrieren, zumal jene, die sich auch intraindividuell mehrfach im Diagno-

seprozess zeigten und insofern umso mehr nicht lediglich als situative Fehler, sondern eher als Fehlkonzepte bzw. *misconceptions* (OHRNDORF 2016) gedeutet werden können, dürften für viele Kfz-MechatronikerInnen im dritten Lehrjahr eine Rolle beim Scheitern im Diagnoseprozess spielen. Erfreulicherweise machen derartige Barrieren (die bei der Hälfte der Probanden oder mehr vorliegen) sowohl bezogen auf die basalen als auch die komplexen diagnoserelevanten Rezeptionsanforderungen jeweils 46 % der als zahlenmäßig relevant erachteten Barrieren aus, so dass die Untersuchung sehr wahrscheinlich eine Vielzahl belastbarer Erkenntnisse liefert. Inwiefern sich innerhalb der Barriertypen allerdings tatsächlich sog. *threshold concepts* (MEYER/LAND 2003) verbergen, die, sofern sie einmal verstanden wurden (bspw. das Konzept der Spannungsfallmessung innerhalb eines intakten Stromkreises), die Auszubildenden auf ein nächsthöheres Kompetenzniveau befördern können, kann an dieser Stelle nur vermutet werden; wir erhoffen uns von einer sich direkt anschließenden Projektphase (siehe weiter unten), in der gezielt barriere-/konzeptspezifisch interveniert wird, auf diese bedeutsame Frage weitere Einblicke zu erhalten. Weiterhin ist nicht außer Acht zu lassen, dass die Studie nur Aussagen zu den Barrieren für die von uns betrachtete Gruppe der Auszubildenden mit eher schwachen bis mittleren diagnoserelevanten Rezeptionskompetenzen liefert. Angesichts der Vielzahl weiterer Anforderungen (u. a. andere fahrzeugtechnische Systeme) ist zu erwarten, dass häufig auftretende Barrieren von hinsichtlich dieses Merkmals sehr leistungsschwachen oder sehr leistungsstarken Auszubildenden von den hier beschriebenen Befunden zum Teil deutlich abweichen und daher in weiteren *Cognitive Labs* untersucht werden müssten (siehe dazu auch LEIGHTON 2017, S. 34).

Insgesamt ist die Vielzahl an neuen Erkenntnissen, die das hier gewählte methodische Vorgehen erbracht hat, trotz der beschriebenen Einschränkungen unseres Erachtens ein deutlicher Hinweis darauf, dass die bislang wenig übliche Kombination der zwei beschriebenen Ansätze ein hohes Potenzial zur Gewinnung von Evidenz zu kognitiven Prozessen im Bereich des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses birgt. Dementsprechend kritisch ist die Tatsache einzuschätzen, dass in der Forschungsliteratur die Begriffe *Think-Aloud-Interviews* und *Cognitive Labs* nicht selten synonym verwendet werden und damit meist nur das in der Literatur auch deutlich differenzierter diskutierte *Think-Aloud-Interview* im Vordergrund steht. Dies dürfte auch der Tatsache geschuldet sein, dass *Cognitive Labs* im Prinzip aus den *Think-Aloud-Interviews* hervorgegangen sind und damit auch eine etwas jüngere Vergangenheit haben (vgl. LEIGHTON 2017, S. 2f.). Wünschenswert wäre angesichts dessen eine breitere Diskussion und kritische Auseinandersetzung mit den bislang nur von LEIGHTON (2017) genauer beschriebenen Merkmalen und Analyse- bzw. Auswertungsmethoden der *Cognitive Labs*, was der Methode einen bedeutsameren Platz im forschungsmethodischen Repertoire verschaffen könnte, jedoch ausdrücklich nicht Gegenstand unserer Untersuchung war.



Ausblick

Aufbauend auf den hier beschriebenen Erkenntnissen der ersten Projektphase wird im weiteren Verlauf des Ludwigsburger Teilprojekts von „DigiDIn-Kfz“ eine internet-basierte, multimediale Lernumgebung entwickelt. Entsprechend des übergeordneten Projektziels, an die Kompetenzstände der Auszubildenden angepasste Fördermöglichkeiten bereitzustellen, wird die Lernumgebung zwei weitgehend strukturgleiche Lernmodule bereitstellen, von welchen eines den Anforderungsbereich der basalen und das andere den der komplexen diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz adressiert.

Die didaktische Konzeption der Lernmodule erfolgt u. a. in Anlehnung an Elemente aus dem 4C/ID-Modell und dem *Cognitive-Apprenticeship*-Ansatz, welche sich in anderen Bereichen zur Förderung der Problemlösekompetenz bereits bewährt haben (van MERRIËNBOER/KIRSCHNER 2007; COLLINS/BROWN/NEWMAN, 1989; HASSELHORN 1992, CLARK/MAYER 2011).²⁸ Konkret wird, dem 4C/ID-Modell folgend, die Diagnosekompetenz zunächst in Teilkompetenzen zerlegt,²⁹ welche sachlogisch aufeinander aufbauen. Demnach kann ein komplexerer Fehler erst dann systematisch mit Hilfe des Stromlaufplans eingegrenzt werden, wenn der Stromlaufplan gelesen und verstanden wird. Voraussetzung für das Lesen und Verstehen des Stromlaufplans ist wiederum, dass das Diagnosesystem effizient genutzt werden kann, die Person also in der Lage ist, den passenden Stromlaufplan darin aufzufinden. Die genannten Teilkompetenzen werden zunächst in isolierter Form gefördert, um einen ausreichenden Grad an Routine aufzubauen und nachfolgende Teilkompetenzen einfacher erlernen zu können. Auf diese Weise wird der Umfang der Anforderungen sukzessive bis hin zur komplexen, vollständigen Diagnose gesteigert.

Die im Rahmen der *Cognitive-Lab*-Studie ermittelten personenübergreifend bedeutsamen Barrieren im Diagnoseprozess bilden dabei das inhaltliche Fundament für die Förderung der Teilkompetenzen. Für das Lernmodul „Komplex“ bedeutet dies, dass bspw. alle Barrieren, welche im Zusammenhang mit dem „Lesen und Verstehen des Stromlaufplans“ besonders häufig beobachtet wurden, im Rahmen der Lerneinheit behandelt werden. Als didaktische Elemente werden Erklärvideos, Lern- und Übungsaufgaben mit zunehmender Komplexität, unmittelbare Feedbacks zum Lösungserfolg sowie bedarfsgerechte Unterstützungsangebote eingesetzt. Der Lernprozess für die Lerneinheit „Lesen und Verstehen des Stromlaufplans“ ist bspw. folgendermaßen strukturiert: (1) Zunächst werden Erklärvideos eingesetzt, um häufig beobachtete Fehlkonzpte in Form fachlich richtiger Konzepte zu korrigieren und diagnoserelevantes Fachwissen zu vermitteln bzw. Vorwissen, dessen Vermittlung ggf. mehrere Jahre zurückliegt, zu reaktivieren. Dabei wird stets die Relevanz der Lerninhalte für den Diagnoseprozess hervorge-

28 Über die Entwicklung der Interventionen und die dabei berücksichtigten Lehr-/Lerntheorien soll im Rahmen eines separaten Beitrags berichtet werden.

29 Die für die Intervention „Komplex“ gebildeten Teilkompetenzen sind der „Sichere Umgang mit dem Diagnosesystem“, das „Lesen und Verstehen von Stromlaufplänen“ sowie das „Nutzen von Stromlaufplänen zum systematischen Vorgehen bei der Fehlereingrenzung sowie Auswahl und Anwendung damit verbundener Messheuristiken“.

hoben, um die Lernmotivation zu steigern. (2) Dieses Wissen kann im Anschluss durch Lernaufgaben weiter vertieft und/oder im Rahmen von Übungsaufgaben angewendet werden. Hierfür wird auch die Kfz-Computersimulation genutzt, welche in die Lernplattform eingebunden ist (siehe als Beispiel dazu Abbildung 9) und ein realitätsnahes und zerstörungsfreies Durchführen von Diagnosehandlungen ermöglicht. (3) Nach der Aufgabenbearbeitung erhalten die Auszubildende ein unmittelbares Feedback zum Lösungserfolg. Bei einer erfolgreichen Aufgabenbearbeitung folgt das nächste Erklärvideo bzw. eine Aufgabe mit höherem Anforderungsniveau des gleichen Lerninhalts oder eine Aufgabe zu einem anderen Lerninhalt des vorausgegangenen Erklärvideos. (4) Bei Misserfolgen wird eine abgestufte adaptive Hilfestellung gegeben,³⁰ wobei im Anschluss die Aufgabe jeweils erneut bearbeitet werden kann. (5) Wird die Aufgabe trotz mehrmaliger Hilfestellungen nicht korrekt bearbeitet, erfolgt eine abschließende Rückmeldung mit Informationen zum korrekten Lösungsweg bzw. der Musterlösung. (6) Phasen der Aktivität werden immer wieder durch Phasen der Reflexion abgewechselt.



Abbildung 9: Screenshot einer Aufgabe aus der Lernumgebung. Links im Bild die Kfz-Computersimulation, auf der rechten Seite die Aufgabenstellung sowie das Thumbnail eines Stromlaufplans, welches im Rahmen der Aufgabenbearbeitung genutzt werden muss (eigene Darstellung).

Anschließend an eine Pilotierungsphase zur Prüfung technischer und inhaltlicher, aber auch medialer Anpassungsbedarfe wird die angenommene Wirksamkeit der entwickelten Interventionen über längsschnittliche Experimental-Kontrollgruppenvergleiche untersucht, wobei neben dem übergeordneten Kriterium des Diagnoseerfolgs auch die Entwicklung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz³¹ herangezogen wird.

30 Die Bewertung des Lösungserfolgs der NutzerInnen wird technisch ermöglicht durch den Abgleich eines Istzustands aus den Logfiles der Simulation und einem vordefinierten Zielzustand.

31 Hierfür werden die im Abschnitt „Auswahl der ProbandInnen“ beschriebenen Testitems zur Erfassung der diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz genutzt bzw. weiterentwickelt.

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries

of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming
as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2022

Literatur

- ABELE, S. (2018). 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*, 11, 133–159. Online-Dokument: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12186-017-9183-x> (Zugriff am 29.09.2020).
- ABELE, S. / WALKER, F. / NICKOLAUS, R. (2014). Zeitökonomische und reliable Diagnostik beruflicher Problemlösekompetenzen bei Auszubildenden zum Kfz-Mechatroniker. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28 (4), 167–179.
- AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION / AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION / NATIONAL COUNCIL ON MEASUREMENT IN EDUCATION [AERA, APA, & NCME] (2014). *Standards for Educational and Psychological Testing*. Washington, DC: American Educational Research Association.
- BECKER, M. (2009). Kompetenzmodell zur Erfassung beruflicher Kompetenz im Berufsfeld Fahrzeugtechnik. In: C. FENZL / G. SPÖTTL / F. HOWE / M. BECKER (Hg.). *Berufsarbeit von morgen in gewerblich-technischen Domänen*. Bielefeld: W. Bertelsmann, 239–245.
- BECKER, M. / SPÖTTL, G. / HITZ, H. / RAUNER, F. (2002). *Aufgabenanalyse für die Neuordnung der Berufe im Kfz-Sektor. Abschlussbericht*. Bremen, Flensburg. Online-Dokument: <https://www.uni-flensburg.de/fileadmin/content/institute/biat/dokumente/projekte/neuordnung-kfz-berufe/abschlussbericht.pdf> (Zugriff am 29.09.2020)
- BUNDESGESETZBLATT (2013). Verordnung über die Berufsausbildung zum Kraftfahrzeugmechatroniker und zur Kraftfahrzeugmechatronikerin. BGBl. I, 29, 1578–1595. Online-Dokument: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl113s1578.pdf%27%5D__1601361310368 (Zugriff am 29.09.2020)
- CLARK, R. C. / MAYER, R. E. (2011). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. 3rd ed. San Francisco, CA: John Wiley & Sons.
- COLLINS, A. / BROWN, J. S. / NEWMAN, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing and Mathematics. In L. B. RESNICK (Hg.). *Knowing, Learning and Instruction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 453–494.
- DOLAN, R. P. / GOODMAN, J. / STRAIN-SEYMOUR, E. / ADAMS, J. / SETHURAMAN, S. (2011). *Cognitive Lab Evaluation of Innovative Items in Mathematics and English Language Arts Assessment of Elementary, Middle, and High School Students. Research Report*. Pearson Assessments. Online-Dokument: https://images.pearsonassessments.com/images/tmrs/Cognitive_Lab_Evaluation_of_Innovative_Items.pdf (Zugriff am 29.09.2020).
- ERICSSON, K. A. / SIMON, H. A. (1993). *Protocol Analysis. Verbal Reports as Data*. 1st rev. ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- GSCHWENDTNER, T. / ABELE, S. / SCHMIDT, T. / NICKOLAUS, R. (2017). Multidimensional Competency Assessments and Structures in VET. In: D. LEUTNER / J. FLEISCHER / J. GRÜNKORN / E. KLIEME (Hg.). *Competence Assessment in Education. Research, Models and Instruments*. Berlin u. a.: Springer, 183–202.
- GSCHWENDTNER, T. / GEISSEL, B. / NICKOLAUS, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In: E. KLIEME / D. LEUTNER / M. KENK (Hg.). *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes*. 56. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik. Weinheim u. a.: Beltz, 258–269.
- 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.
- HARTIG, J. / KLIEME, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In: K. SCHWEIZER (Hg.). *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Heidelberg: Springer, 127–143.

- HARTMANN, S. (2013). *Die Rolle von Leseverständnis und Lesegeschwindigkeit beim Zustandekommen der Leistungen in schriftlichen Tests zur Erfassung naturwissenschaftlicher Kompetenz* (Dissertation, Universität Duisburg-Essen). Online-Dokument: https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00031398 (Zugriff am 05.03.2021).
- HASSELHORN, M. (1992). Metakognition und Lernen. In: G. NOLD (Hg.). *Lernbedingungen und Lernstrategien: Welche Rolle spielen kognitive Verstandsstrukturen*. Tübingen: Narr, 35–63.
- KELAVA A. / SCHERMELLEH-ENGEL K. (2008). Latent-State-Trait-Theorie (LST-Theorie). In: H. MOOSBRUGGER / A. KELAVA (Hg.). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer. Online-Dokument: https://doi.org/10.1007/978-3-540-71635-8_15 (Zugriff am 03.01.2021).
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013). *Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Kraftfahrzeugmechatroniker und Kraftfahrzeugmechatronikerin, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 25.04.2013*. Online-Dokument: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rkp/KFZ-Mechatroniker13-04-25-E.pdf> (Zugriff am 29.09.2020).
- LEIGHTON, J. P. (2017). *Using Think-Aloud Interviews and Cognitive Labs in Educational Research*. New York, NY: Oxford University Press.
- LEISEN, J. (2007). Lesen in allen Fächern. In: A. BERTSCHI-KAUFMANN (Hg.). *Lesekompetenz, Leseleitung, Leseförderung. Grundlagen, Modelle, Materialien*. Seelze-Velber: Friedrich Verlag, 189–197.
- MEYER, J. H. F. / LAND, R. (2003). Threshold concepts and troublesome knowledge: linkages to ways of thinking and practising. In: C. RUST (Hg.). *Improving Student Learning – Theory and Practice Ten Years On*. Oxford: Oxford Centre for Staff and Learning Development (OCSLD), 412–424.
- NICKOLAUS, R. / ABELE, S. / GSCHWENDTNER, T. / NITZSCHKE, A. / GREIFF, S. (2012). Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen – Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 108 (2), 243–272.
- OECD (2013). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework. Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. Paris: OECD. Online-Dokument: https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/PISA%202012%20framework%20e-book_final.pdf (Zugriff am 29.09.2020).
- OHRNDORF, L. (2016). *Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Messung des Wissens über Fehlvorstellungen in der Informatik*. Univ. Paderborn: Dissertation. Online-Dokument: <https://d-nb.info/1124894810/34> (Zugriff am 08.10.2021).
- ROBERT BOSCH GMBH (2020). *ESI[tronic]* [Computer software]. Online-Dokument: <https://www.boschaftermarket.com/de/de/werkstattausruestung/steuergeraetediagnose/esitronic-diagnose-software/esi-2-o-online/> (Zugriff am 15.01.2021).
- RUPP, A. A. / PANT, H. A. (2006). Validity theory. In: N. J. SALKIND (Hg.). *Encyclopedia of measurement and statistics*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, S. 1032–1035.
- SCHEELE, B. / GROEBEN, N. (2020). Dialog-Konsens-Methoden. Psychologische Verfahren zur Erhebung der Innensicht von Handelnden. In: G. MEY / K. MRUCK (Hg.). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: Springer, 337–355.
- SPÖTTL, G. / BECKER, M. / MUSEKAMP, F. (2011). Anforderungen an Kfz-Mechatroniker und Implikationen für die Kompetenzerfassung. In: R. NICKOLAUS / G. PÄTZOLD (Hg.). *Lehr-Lernprozesse in der gewerblich-technischen Berufsbildung*. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, Beiheft 25, 37–53.
- VAN MERRIËNBOER, J. / KIRSCHNER, P. A. (2007). *Ten Steps to Complex Learning – A Systematic Approach to Four-Component Instructional Design*. Lawrence Associates Publishers.
- VAN SOMEREN, M. W. / BARNARD, Y. F. / SANDBERG, J. A. C. (1994). *The Think Aloud Method. A Practical Guide to Modelling Cognitive Processes*. London: Academic Press. Online-Dokument: https://pure.uva.nl/ws/files/716505/149552_Think_aloud_method.pdf (Zugriff am 29.09.2020).

- WILLIS, G. B. (2015). *Analysis of the Cognitive Interview in Questionnaire Design*. New York, NY: Oxford University Press.
- WU, M. (2005). The role of plausible values in large-scale surveys. *Studies in Educational Evaluation*, 31, 114–128. doi:10.1016/j.stueduc.2005.05.005
- ZIEGLER, B. / BALKENHOL, A. / KEIMES, C. / REXING, V. (2012). Diagnostik „funktionaler Lesekompetenz“. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*, 22, 1–19. Online-Dokument: http://www.bwpat.de/ausgabe22/ziegler_etal_bwpat22.pdf (Zugriff am 29.09.2020).
- ZUCKER, S. / SASSMAN, C. / CASE, B. J. (2004). *Cognitive Labs. Technical Report*. Pearson Assessments. Online-Dokument: http://images.pearsonassessments.com/images/tmrs/tmrs_rg/CognitiveLabs.pdf (Zugriff am 29.09.2020).

KERSTIN NORWIG

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Chemie, Physik und Technik,
Abteilung Technik und ihre Didaktik, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, Deutschland,
kerstin.norwig@ph-ludwigsburg.de

EMRE GÜZEL

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Chemie, Physik und Technik,
Abteilung Technik und ihre Didaktik, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, Deutschland,
emre.guezel@ph-ludwigsburg.de

DR. STEFAN HARTMANN

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Chemie, Physik und Technik,
Abteilung Technik und ihre Didaktik, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, Deutschland,
stefan.hartmann@ph-ludwigsburg.de

PROF. DR. TOBIAS GSCHWENDTNER

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Chemie, Physik und Technik,
Abteilung Technik und ihre Didaktik, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, Deutschland,
gschwendtner@ph-ludwigsburg.de

