

# Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen – Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren

**KURZFASSUNG:** Im Mittelpunkt dieses Beitrags stehen die Fragen, (1) wie, bezogen auf die Berufe des Kfz-Mechatronikers und des Elektrikers für Energie- und Gebäudetechnik, die fachspezifische Problemlösefähigkeit modelliert werden kann, (2) welche Problemlöseleistungen von den Auszubildenden erbracht werden, ob (3) auch Auszubildende, die am Ende des ersten Ausbildungsjahres nur untere Leistungsniveaus erreichen, im weiteren Verlauf der Ausbildung höhere Leistungsniveaus erreichen können, (4) welche Barrieren für die Auszubildenden bei der Problembearbeitung besonders schwer zu überwinden sind und (5) welche Einflussfaktoren für die erreichten Problemlöseleistungen relevant sind. Die Ergebnisse beruhen auf zwei aufeinander aufbauenden Längsschnittstudien<sup>1</sup>, die die Möglichkeit eröffnen, die Kompetenzentwicklung über die gesamte Ausbildungszeit zu analysieren. Vorgestellt werden ausgewählte Ergebnisse.

**ABSTRACT:** The central issue of this paper is to answer the following questions: (1) How can subject-specific problem solving skills of car mechatronics and electronic technician be modelled? (2) Which proficiency level do apprentices achieve in subject-specific problem solving at the end of their training? (3) Are low-achieving apprentices able to compensate for their deficits in the course of the training program? (4) Which skills are critical when solving subject-specific problems? (5) Which factors do predict the proficiency level that apprentices achieve in subject-specific problem solving? The selection of findings presented here, are based on data of two consecutive longitudinal studies, which allows to analyse the competence development across the complete period of training.

## 1. Fachspezifische Problemlösefähigkeit, ihre theoretische Modellierung und relevante Prädiktoren – zum Forschungsstand

Innerhalb der Berufs- und Wirtschaftspädagogik, aber auch in der Berufsbildungspolitik und Berufsbildungspraxis ist der hohe Stellenwert der eigenständigen Bewältigung neuer Herausforderungen in den beruflichen Handlungsfeldern unumstritten. In einzelnen Berufen, wie z.B. jenem des Kfz-Mechatronikers, wird der Fehlerdiagnosefähigkeit – einer zentralen Facette fachspezifischer Problemlösefähigkeit – herausragende Relevanz im Tätigkeitsspektrum zugeschrieben (z.B. SPÖTL/BECKER/MUSEKAMP 2011). Andere Tätigkeitsfelder, wie z.B. der Standardservice können zwar quantitativ bedeutender sein, sind jedoch zugleich auch typische Felder von Routinetätigkeiten, die weniger leistungskritisch werden. Welche Tätigkeitsfelder

1 Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: DFG Ni 606/3-1 und DFG Ni 606/6-1) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).

besonders herausfordernd und damit leistungskritisch sind, ist berufsspezifisch bestimmt. Während bei Kfz-Mechatronikern mit der Fehlerdiagnose primär analytische Anforderungskontexte vorzufinden sind, kommen in anderen, wie z.B. in elektrotechnischen Berufen, zusätzlich auch „konstruktive“ problemhaltige Aufgaben, wie z.B. Modifikationen von Steuerungen in den Blick. Dies gilt in ähnlicher Form auch für weitere Berufe und Berufsgruppen. In einem ersten Strukturierungsversuch kann für den gewerblich-technischen Bereich eine Klassifizierung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit in analytische und konstruktive problemhaltige Aufgaben vorgenommen werden kann. Ob diesen Anforderungsklassen auch je eigene Subdimensionen der Fachkompetenz zuordenbar sind, ist eine empirisch zu klärende Frage.

### Fachspezifisches Problemlösen und Transferproblematik

Nach vorliegenden Klassifikationen aus der Problemlöseforschung, wie z.B. jener von DÖRNER (1987), wird in der Regel davon ausgegangen, dass Probleme charakterisierbar sind durch eine Diskrepanz zwischen Ist- und Sollzustand und zur Annäherung an den Sollzustand Barrieren zu überwinden sind. Da das Auftreten einer Barriere nicht nur vom Anforderungszuschnitt, sondern ebenso von der Expertise des Bearbeiters abhängig ist, erweist es sich in beruflichen Handlungsfeldern als schwierig, spezifische Anforderungen eindeutig als Aufgaben (barrierefrei, bewältigbar) oder als Probleme unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades zu klassifizieren. Barrieren können im Anschluss an DÖRNER (1987) einerseits im Hinblick auf die Zielklarheit und andererseits im Hinblick auf den Bekanntheitsgrad der zu ihrer Überwindung notwendigen Operatoren unterschieden werden. Bei Facharbeitern in gewerblich-technischen Domänen unterstellen wir, dass in aller Regel Zielklarheit gegeben ist. Das gilt z.B. bei einem defekten und wieder in einen funktionierenden Zustand zu überführenden System, bei der Installation und Inbetriebnahme technischer Systeme, bei Wartungsarbeiten und bei Optimierungen bestehender Systeme. Selbst wenn zwischen Facharbeiter und Kunde bei konstruktiven Anforderungskontexten Abklärungen hinsichtlich einzulösender Zielvorgaben vorzunehmen sind und dabei neben fachlichen auch ökonomische und ökologische Ansprüche berücksichtigt werden sollten, bewegt sich dies in aller Regel in einem überschaubaren Rahmen, da meist anderenorts ähnlich realisierte Lösungen bereits vorliegen. Auch die Operatoren zur Überwindung der Barrieren dürften in der Regel prinzipiell bekannt sein, aber ihre Kombination/Abfolge ist unklar (Interpolationsbarriere im Sinne DÖRNER (1987)) bzw. die prinzipiell bekannten Operatoren sind dem Bearbeiter aufgrund je individuell verschiedener Defizite unbekannt oder nicht hinreichend vertraut (Synthesebarriere im Sinne DÖRNER). Letzteres ist beispielsweise gegeben, wenn aufgrund von Kompetenzdefiziten im Vorgehen bei messtechnischen Anforderungen erst messtechnische Eingrenzungsstrategien entwickelt werden müssen (KNÖLL 2007, S. 31). Die mangelnde Verfügbarkeit/Anwendungsfähigkeit der für die Überwindung der Barriere notwendigen Operatoren kann gegebenenfalls auch im manuellen Anforderungsbereich auftreten. Inwieweit die manuellen Fertigkeiten bereits während der Ausbildungszeit so weit entwickelt werden können, dass Barrieren bei Arbeitsvollzügen kaum noch auftreten, ist eine bislang ungeklärte Frage. Vermutlich dürfte es sich bei manuellen Fertigkeiten auch in höherem Maße um eine wichtige zeitökonomische Facette handeln, da bestimmte Handgriffe bei Montage- und Demontearbeiten individuell unterschiedlich schnell und mit unterschiedlicher Sicherheit, Präzision und Zielgerichtetheit ausgeführt werden.

Mit dieser groben Charakterisierung fachspezifischer Problemlösefähigkeit, die auch berufsübergreifend geeignet scheint, das Gegenstandsfeld von Facharbeitern in gewerblich-technischen Berufen zu strukturieren, erscheint es möglich, eine Grundlage für den Zuschnitt weiterer Studien zu gewinnen, in welchen systematisch der Frage nachgegangen wird, inwieweit sich neben der Fehleranalysefähigkeit, die in einer Reihe bisheriger Arbeiten zur Operationalisierung fachspezifischer Problemlösefähigkeit herangezogen wurde, auch andere Subdimensionen der fachspezifischen Problemlösefähigkeit – bspw. der konstruktive Bereich – bestätigen lassen. Die inhaltliche Spezifizierung wäre berufsspezifisch vorzunehmen, wobei insbesondere die Befundlagen zur Transferproblematik (GSCHWENDTNER/GEISSEL/NICKOLAUS 2007; SONNTAG/SCHAPER 1997) erwarten lassen, dass aufgrund der heterogenen Anforderungen innerhalb der Berufe bei unterschiedlichen technischen Systemen und Kontexten weitere strukturelle Ausdifferenzierungen der Subdimension(en) begünstigt werden. Gestützt wird diese Annahme auch durch die inzwischen dokumentierten Ausdifferenzierungsprozesse des Fachwissens im Verlaufe der Ausbildung, die sich entlang der curricularen Schwerpunktsetzungen und den Anforderungen im Tätigkeitsfeld zu vollziehen scheinen (GSCHWENDTNER 2011; NICKOLAUS 2011).

Zur Transferproblematik zeigen sowohl die Interventionsstudien der Forschungsgruppe um SONNTAG (im Überblick SONNTAG/SCHAPER 1997) als auch die Arbeiten der eigenen Forschungsgruppe (GSCHWENDTNER/GEISSEL/NICKOLAUS 2007; KNÖLL 2007; NICKOLAUS/GEISSEL 2009), in welchen durchgängig analytische Problemstellungen zum Einsatz kamen, dass der Transfer von Fehlerdiagnosestrategien in für die Probanden neue technische Systemkontexte häufig nicht gelingt. Auch verschiedene Interventionsvarianten, die im Rückgriff auf die bestehende Erkenntnislage entwickelt wurden, vermochten diesem Problem nicht abzuhelfen (EBD.). Diese Transferproblematik motiviert zur Frage, inwieweit das in der Literatur immer wieder thematisierte Konstrukt der allgemeinen Problemlösefähigkeit in fachlichen Anforderungskontexten relevant wird. Mit dem Einbezug „allgemeiner Problemlösefähigkeit“<sup>2</sup> in die PISA Studien, für die ebenso wie für die in den PISA Studien erhobenen Basiskompetenzen prädiktive Kraft für die fachliche Kompetenzentwicklung unterstellt wird, erhält die Klärung des Verhältnisses zwischen allgemeiner und fachspezifischer Problemlösefähigkeit zusätzlich an Bedeutung.

### Prädiktoren der fachspezifischen Fehleranalysefähigkeit

Deutlich wurde in eigenen Vorarbeiten, dass die Fehleranalysefähigkeit und das Fachwissen erhebliche gemeinsame Varianzen aufweisen (GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009; KNÖLL 2007; NICKOLAUS/HEINZMANN/KNÖLL 2005) und dem fachspezifischen Vorwissen die stärkste prädiktive Kraft für die weitere Fachwissensentwicklung zukommt. Prädiktive Kraft besitzen auch die allgemeine Intelligenz, die Basiskompetenzen (Mathematik, Lesen) (LEHMANN/SEEBER 2007; NICKOLAUS 2011) und das Motivationsgeschehen (NICKOLAUS/HEINZMANN/KNÖLL 2005), wobei die Befundlage zum Einfluss der Motivation z.T. disparat scheint (z.B. NICKOLAUS u.a. 2010), was möglicherweise auch auf Erfassungs- und Modellierungsprobleme zurückzuführen ist.

2 Erfasst wird das Konstrukt der allgemeinen Problemlösefähigkeit in den PISA Studien u.a. im Anschluss an das Konstrukt dynamischer Problemlösefähigkeit (vgl. GREIFF (im Druck); GREIFF/FUNKE 2010), das in Abschnitt 4.3 ausführlicher besprochen wird.

Relativ weit verbreitet ist in Studien zur Berufsbildung der Rückgriff auf das Motivationskonstrukt von Prenzel (PRENZEL u.a. 1996), das v.a. zur Erfassung verschiedener situationsspezifischer Motivationszustände (Statekomponenten der Motivation) entwickelt wurde. Im Zusammenhang von Erklärungsmodellen zur Kompetenzentwicklung kann gefragt werden, ob motivationale Bedingungen dann höhere prädiktive Kraft aufweisen, wenn zeitstabile motivationale Komponenten (Traitkomponenten der Motivation) betrachtet werden. Inwiefern das von PRENZEL u. a. entwickelte Instrument auch dazu geeignet ist, motivationale Traitkomponenten zu erfassen, wurde im berufsbildenden Bereich bislang ebenso wenig untersucht wie die Frage, ob motivationale Traitkomponenten in engerem Verhältnis zur Fachkompetenzentwicklung stehen als motivationale Statekomponenten (zur Problematik siehe auch WINHTER 2006).

### Erkenntnisse zur Modellierung von Kompetenzniveaus der fachspezifischen Fehleranalysefähigkeit

Zur Graduierung fachspezifischer Problemlösefähigkeit kann einerseits auf bestehende Befundlagen im Bereich beruflicher Bildung zurückgegriffen werden (GSCHWENDTNER/GEISSEL/NICKOLAUS 2007; GEISSEL 2008; GEISSEL/HEDRICH 2011; ROSENDAHL/STRAKA 2011; SEEBER 2008; WINTHER/ACHTENHAGEN 2009; im Überblick auch NICKOLAUS 2011), andererseits bieten die Arbeiten zur „allgemeinen“ Problemlösefähigkeit zahlreiche Ansatzpunkte zur Gewinnung potentieller Schwierigkeitsparameter.

SPÖTTL, BECKER und MUSEKAMP (2011) unterstellen im Kfz-Bereich die Existenz von vier Kompetenzniveaus der Fehleranalysefähigkeit (Routinediagnose, integrierte Diagnose, regelbasierte Diagnose und nicht geführte Diagnose), die sie im Anschluss an Arbeitsprozessstudien als plausibel erachten. GSCHWENDTNER, GEISSEL und NICKOLAUS (2007) hatten im Anschluss an Anforderungsanalysen die These vertreten, dass bezogen auf analytische Problemstellungen, wie sie bei Facharbeitern im Kfz- oder Elektrobereich auftreten, folgende Anforderungen schwierigkeitsrelevant werden:

1. die Systemkomplexität, beschreibbar durch die Anzahl der relevanten Elemente und deren Vernetzungsgrad,
2. die Notwendigkeit eigenständiger Modellierungsleistungen im Sinne der (Re) Konstruktion systemischer Funktionszusammenhänge,
3. die Transparenz der Fehlersituation,
4. die in der Fehlerbeschreibung implizit und/oder explizit enthaltenen Lösungshinweise, die im Kfz-Bereich ergänzt werden können durch das bei der Fehleranalyse (optional) einsetzbare Expertensystem, und
4. die messtechnischen Anforderungen (Umgang mit Messinstrumenten und Interpretationsnotwendigkeit der Messergebnisse).

Im Unterschied zu SPÖTTL, BECKER und MUSEKAMP (2011) kommen hier stärker die Merkmale der Anforderungssituation in den Blick als eine übergreifende Typenbildung, zugleich wird ein höherer Konkretisierungsgrad erreicht. Die Parallelen dieser aus Anforderungsanalysen gewonnenen Merkmale zu den beispielsweise von DÖRNER (1987) zur Beschreibung komplexer Problemstellungen herangezogenen Merkmalen sind unübersehbar. Das gilt für die Komplexität der Situation, die Transparenz der Fehlersituation bzw. die Notwendigkeit eigenständiger Informationserschließung und die Zusammenhänge zwischen den relevanten Variablen, die gegebenenfalls eigenständig modelliert werden müssen. DÖRNER (1987) verweist

darüber hinaus auf Eigendynamiken bestehender Systeme und die Polytelie als Problemmerkmale, wovon letztere u.E. in den fachlichen Anforderungskontexten der Facharbeiter in vielen Fällen nicht bzw. nur begrenzt bedeutsam sein dürfte. Aufgrund der systembedingten Heterogenität der Anforderungen ist allerdings auch bezogen auf andere Merkmale die Wahrscheinlichkeit relativ hoch, dass nicht alle Merkmale bei jeder Problemstellung relevant werden.

Erste Ergebnisse zu den erreichten Problemlöseleistungen in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen (Gschwendtner/Abele/Nickolaus 2009) lassen vermuten, dass auch in dieser Kompetenzdimension, ähnlich wie beim Fachwissen (Gschwendtner 2008; Geißel 2008), curriculare Zielsetzungen von einem erheblichen Anteil der Auszubildenden unterschritten werden. Bisher liegen allerdings für die fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Berufen noch keine Niveaumodellierungen vor, die eine verlässliche Abschätzung der Ausprägung dieser Kompetenzdimension zulassen.

## 2. Forschungsfragen, Hypothesen und Forschungsdesign

### 2.1 Forschungsfragen

Wie oben angedeutet, dokumentieren die vorliegenden Studien in gewerblich-technischen Domänen durchgängig – allerdings überwiegend bezogen auf die Entwicklung des Fachwissens – deutliche Diskrepanzen zwischen curricularen Ansprüchen und den tatsächlich erreichten Niveaus (LEHMANN/SEEBER 2007; GSCHWENDTNER 2008; GEISSEL 2008). Im Bereich der fachspezifischen Problemlösefähigkeit liegen, im gewerblich-technischen Bereich bisher keine Struktur- und Niveaumodellierungen vor. Eine im Kfz-Bereich vorgelegte Validierungsstudie (GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009) deutet darauf hin, dass Diskrepanzen zwischen curricularen Anforderungen und den erreichten Niveaus auch bezogen auf diese Kompetenzdimension auftreten, wobei die fehlende Niveaumodellierung die Aussagemöglichkeiten in dieser Hinsicht begrenzt. Eher unbefriedigend ist, wie oben skizziert, auch der Forschungsstand zur Erklärung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit und zu deren Fördermöglichkeiten.

In dem hier im Folgenden näher dargestellten Projekt stand daran anschließend u.a. die Frage im Mittelpunkt, welche Kompetenzniveaus in der Subdimension „fachspezifische Problemlösefähigkeit“ erreicht werden und welche prädiktive Kraft dem Fachwissen, fluider Intelligenz, allgemeinen Problemlösefähigkeiten und ausgewählten Qualitätsmerkmalen der Ausbildung zukommt. Des Weiteren sollte vor dem Hintergrund der hohen prädiktiven Kraft des einschlägigen fachspezifischen Vorwissens auf die weitere Kompetenzentwicklung in der Berufsgrundbildung der Frage nachgegangen werden, ob es jenen Auszubildenden, die zu Beginn bzw. am Ende des ersten Ausbildungsjahres deutliche Leistungsschwächen zeigten gelingt, im Verlauf der Ausbildung höhere Kompetenzniveaus zu erreichen. Als unbefriedigend erwies sich in den vorausgegangenen Studien z.T. auch die Integration motivationaler Merkmale in die Erklärungsmodelle der Fachkompetenzentwicklung, weshalb der Frage nachgegangen werden soll, ob sich bei elaborierteren Modellbildungen eher erwartungskonforme Ergebnisse erzielen lassen.

## 2.2 Forschungsdesign und für die fachspezifische Problemlösefähigkeit relevante Hypothesen

Die Gesamtstudie ist im Längsschnitt angelegt und deckt die gesamte Ausbildungszeit in zwei Berufen (Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik; Kfz-Mechatroniker) ab, wofür zwei aufeinander aufbauende DFG-Projekte (NI 606/3-1; NI 606/6-1) die Basis bilden. Im Mittelpunkt des Gesamtprojektes standen die Fragen,

- (1) wie sich fachliche Kompetenzen in beiden Berufen modellieren lassen und ob sich über die Ausbildungszeit Entwicklungen der Kompetenzstruktur ergeben,
- (2) welche Kompetenzniveaus in den verschiedenen Subdimensionen erreicht werden und
- (3) welche Prädiktoren für die Kompetenzentwicklung einflussreich sind.

Unter (3) wurde in ausdifferenzierender Absicht auch den Fragen nachgegangen, welche Zusammenhänge zwischen allgemeinen Problemlösefähigkeiten, wie sie z.B. im Rahmen von PISA erhoben werden (GREIFF/FUNKE 2010) und fachspezifischer Problemlösefähigkeit bestehen und welche Rolle hierzu im Vergleich dem Fachwissen für die Erbringung fachspezifischer Problemlösefähigkeit zukommt (vgl. dazu ausführlicher ABELE u.a. 2012; NICKOLAUS u.a. 2011). Eingeschlossen werden kann in diese Auswertung auch die Frage, inwieweit sich der Einfluss der Basiskompetenzen und fluider Intelligenz, welchen zumindest zu Beginn der Ausbildung substantielle prädiktive Kraft zukommt (NICKOLAUS/GSCHWENDTNER/GEISSEL 2008), im Verlauf der Ausbildung abschwächt und schließlich, wie sich die Motivation bzw. das Ausbildungsinteresse in Abhängigkeit relevanter motivationaler Bedingungsfaktoren im Ausbildungsverlauf entwickeln.

Zur Annäherung an eine Klärung dieser Fragen dienen neben den beiden oben bereits erwähnten aufeinander aufbauenden Längsschnittstudien mit gleichbleibender Stichprobe zwei Ergänzungsquerschnitte der gleichen Berufe am Ende der Ausbildung, mit welchen eine breitere Basis für die Kompetenzmodellierung gewonnen wurde.

### Instrumente/Datengewinnung

In den beiden Längsschnitten wurden folgende Daten erfasst: (1) der Entwicklungsstand des Fachwissens zu drei Messzeitpunkten (Ausbildungsbeginn, Ende der Grundstufe, Ende der Ausbildung; Eigenentwicklungen (ausführlicher siehe GSCHWENDTNER 2011; NICKOLAUS u.a. 2011)); (2) die fachspezifische Problemlösefähigkeit zu zwei Messzeitpunkten (Ende der Grundstufe, Ende der Ausbildung; Eigenentwicklungen, ausführlicher siehe Abschnitt 3); (3) die motivationale Entwicklung im schulischen Unterricht im Anschluss an PRENZEL u.a. (1996) zu sechs Messzeitpunkten (fünf im ersten Ausbildungsjahr und einer am Ende der Ausbildung); (4) das Ausbildungsinteresse im Anschluss an SCHIEFELE u.a. (1993) zu drei Messzeitpunkten (Ausbildungsbeginn, Ende der Grundstufe, Ende der Ausbildung); (5) die wahrgenommene betriebliche bzw. schulpraktische (Schulwerkstatt) Ausbildungsqualität in Anlehnung an das Mannheimer Inventar zur Erfassung betrieblicher Ausbildungssituationen (ZIMMERMANN/WILD/MÜLLER 1999; WOSNITZA/EUGSTER 2001) zu fünf Messzeitpunkten (Ausbildungsbeginn, zwei Messzeitpunkte im Verlauf der Grundstufe, Ende der Grundstufe, Ende der Ausbildung); (6) die Basiskompetenzen (Mathematik, Lesen) zu zwei Messzeitpunkten und (7) Fluide Intelligenz (CFT 3 und CFT 20-R (WEISS 1999; WEISS 2008) zu Beginn der Ausbildung.

Die Ergänzungsstichproben wurden mit den Tests zur Erfassung des Fachwissens, der fachspezifischen Fehleranalysefähigkeit, allgemeiner Problemlösefähigkeiten, genauer der allgemeinen bzw. dynamischen Problemlösefähigkeit im Anschluss an GREIFF und FUNKE (Teile der Stichprobe; ausführlicher zum Testzuschnitt siehe Abschnitt 4.3), und dem Test zur Erfassung fluider Intelligenz (CFT 20-R) konfrontiert. Mit dem Einbezug der allgemeinen Problemlösefähigkeit sensu Greif/Funke, die auch in den neuen PISA-Erhebungen Berücksichtigung findet und der fluiden Intelligenz sollte insbesondere auch der Frage nachgegangen werden, welche Erklärungskraft solch allgemeinen kognitiven Fähigkeiten für die fachspezifische Problemlösefähigkeit zukommt, sofern auch das fachspezifische Wissen erfasst wird.

An der Untersuchung waren innerhalb des Längsschnitts 9 Kfz-Mechatronikerklassen mit 77 Auszubildenden und 8 Elektronikerklassen mit 96 Auszubildenden beteiligt. Die Stichprobengrößen je Klasse sind wegen Abbrechern (insbesondere aus den vormaligen Vollzeitklassen) und Frühauslernern abgeschmolzen. An dem Ergänzungsquerschnitt nahmen 14 Kfz-Mechatronikerklassen mit 335 Auszubildenden und 11 Elektronikerklassen mit 306 Auszubildenden teil.

In diesem Beitrag stellen wir primär die Ergebnisse zur Modellierung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit, die reduziert auf die Fehleranalysefähigkeit erhoben wurde sowie die Ergebnisse zu den relevanten Prädiktoren vor.<sup>3</sup>

Geprüft werden in diesem Beitrag folgende Hypothesen:

- H1: Auszubildende, die am Ende des ersten Ausbildungsjahres lediglich rudimentäre bzw. basale Grundkenntnisse<sup>4</sup> erworben haben, erreichen auch gegen Ende der Ausbildung in der Kompetenzdimension fachspezifische Problemlösefähigkeit lediglich untere Leistungsniveaus.
- H2: Das Fachwissen erweist sich, auch bei Einbezug „allgemeiner Problemlösefähigkeit“, als zentraler Prädiktor der fachspezifischen Problemlösefähigkeit.
- H3: Die Basiskompetenzen (mathematische Kompetenz, Leseverständnis), fluide Intelligenz und das fachspezifische Vorwissen verlieren im Verlauf der Ausbildung an prädiktiver Kraft, bleiben jedoch auch für die Entwicklung fachspezifischer Problemlösefähigkeit bedeutsam.

Geprüft wird darüber hinaus, ob das von PRENZEL u.a. vorgelegte Instrument zur Motivationsdiagnostik auch zur Modellierung motivationaler Traitkomponenten geeignet ist und ob Motivation bei einer Berücksichtigung von Traitkomponenten einen substantiellen Einfluss auf die Fachkompetenzentwicklung hat.

Der Hypothesenprüfung wird die Niveaumodellierung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit vorausgestellt. Zu Zusammenhängen zwischen allgemeiner bzw. dynamischer Problemlösefähigkeit und zu Strukturmodellierungen wurde bereits an anderer Stelle publiziert, so dass hierzu lediglich einige zentrale Ergebnisse kurz angeführt werden. Ein zentrales Ergebnis war, dass sich zwei Subdimensionen fachlicher Kompetenz ausdifferenzieren lassen: das Fachwissen und die Fähigkeit, dieses Wissen in problemhaltigen Anforderungskontexten anzuwenden (im Überblick NICKOLAUS 2011; detaillierter siehe auch GEISSEL 2008; GSCHWENDTNER 2008; 2011; NICKOLAUS u.a. 2011). Für das Fachwissen ergaben sich am Ende der Ausbildung

3 Zu den anderen Fragestellungen siehe auch ABELE u.a. 2012; GSCHWENDTNER 2011; NICKOLAUS u.a. 2011; weitere Beiträge sind in Vorbereitung.

4 Diese Begriffe finden im Anschluss an die Befunde bei GEISSEL (2008) und GSCHWENDTNER (2008) Verwendung.

zugleich weitere Ausdifferenzierungen, im Falle der Elektroniker in drei, im Falle der Kfz-Mechatroniker in 5 bzw. 6 Subdimensionen (vgl. Gschwendtner 2011; Nickolaus u.a. 2011), während am Ende des ersten Ausbildungsjahres eindimensionale Skalierungen noch einen besseren Modellfit aufwiesen (Gschwendtner/Geissel/Nickolaus 2010). Eine Niveaumodellierung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit konnte zum ersten Messzeitpunkt noch nicht erfolgen, da dafür die Anzahl der Items noch nicht hinreichend war. Die im Folgenden vorgenommenen Modellierungen erfolgen mit den Daten, die am Ende der Ausbildung erhoben wurden.

### 3. Kompetenzniveaumodelle der fachspezifischen Problemlösefähigkeit

*Instrumente zur Erfassung fachspezifischer Problemlösefähigkeit:* Die Erfassung des fachspezifischen Problemlösens erfolgte in beiden Domänen primär anhand computersimulierter Arbeitsproben (inklusive begleitender Reparaturaufträge), die z.T. bereits in Vorstudien entwickelt und in diesem Projekt erweitert wurden.

Die Arbeitsprobe wird den Probanden als simuliertes defektes technisches System präsentiert, der Reparaturauftrag erfolgt ergänzend in schriftlicher Form. Durch Aufruf des entsprechenden Reparaturauftrags in der Simulation wird das jeweilige technische System im fehlerbehafteten Zustand für Analysen des Probanden zugänglich. Die Analysen beziehen sich auf Sichtkontrollen (Anschlussbelegungen, Suche nach offensichtlichen Bauteilbeschädigungen usw.) sowie insbesondere auf messgerätegestützte Prüfungen (Digitalmultimeter, Oszilloskop und Strommesszange (nur Kfz); DUSPOL und Drehfeldmessgerät (nur Elektroniker)). An definierten Punkten können die Messgeräte zu Prüfzwecken eingesetzt werden und aus den Messergebnissen Rückschlüsse auf den Zustand des untersuchten Elements bzw. die Funktionalität einer Systemeinheit getroffen werden (Soll-Istwert-Vergleich). Zur Veranschaulichung sind in Abb. 1 zwei Screenshots, einer für die Kfz- und einer für die Elektroniker-Simulation, wiedergegeben (vgl. Abb. 1). Im Falle der Kfz-Mechatroniker wurde auch das zur Fehleranalyse nutzbare Expertensystem simuliert. Ausführlichere Beschreibungen der Instrumente finden sich in Abele u.a. (2012); Nickolaus, Gschwendtner und Abele (2009) sowie Nitzschke, Geissel und Nickolaus (2011).

Begleitend wurden ergänzende Aufgaben zur technischen Fehleranalyse im Paper-Pencil-Format zur Bearbeitung vorgegeben (Nickolaus/Gschwendtner/Abele 2009;

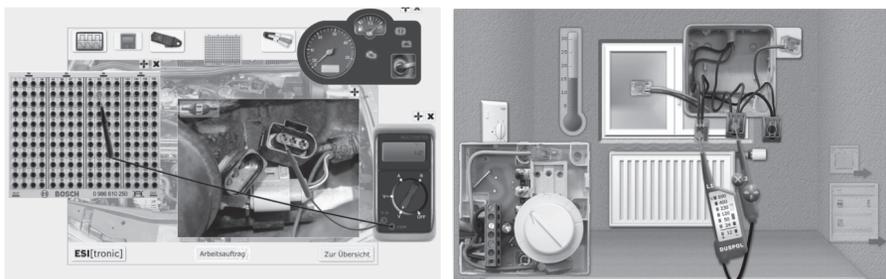


Abb. 1: Screenshots der Simulation für Kfz-Mechatroniker (links, Spannungsprüfung im Motormanagement) und Elektroniker (rechts, Spannungsprüfung in der Verteilerdose einer Zwei-Punkt-Heizungsregelung)

NICKOLAUS u. a. 2011). Für die computersimulierten Arbeitsproben sprechen insbesondere die oben bereits erwähnten Ergebnisse der Validierungsstudie, in der gezeigt werden konnte, dass dieser Zugang kriterienbezogen eine valide Erfassung ermöglicht (GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009). Für den Einbezug ergänzender Aufgaben sprachen insbesondere die notwendigen Testzeiten, die für die Bearbeitung der authentischen computersimulierten Arbeitsproben notwendig werden und das damit verbundene Problem, in einer akzeptablen Testzeit reliable Daten zu gewinnen. Die Paper-Pencil Aufgaben waren in beiden Fällen eng auf Teilleistungen bezogen, die im Fehleranalyseprozess zu erbringen sind, allerdings in einem domänenspezifisch variierenden Komplexitätsgrad.

### 3.1 Kompetenzniveaumodell für die fachspezifische Fehleranalysefähigkeit bei Kraftfahrzeugmechatrikern, Aufgabenentwicklung, Item- und Skalenqualität sowie Scoring

Die Erfassung Kfz-spezifischen Problemlösens erfolgte, wie oben bereits angemerkt, anhand computersimulierter Arbeitsproben, die in Vorstudien entwickelt und in diesem Projekt erweitert wurden und Aufgaben zur technischen Fehleranalyse (NICKOLAUS, GSCHWENDTNER & ABELE 2009), die *einer* latenten Dimension angehören (NICKOLAUS, ABELE & GSCHWENDTNER im Druck). Im vorliegenden Projekt wurden sieben weitere Aufgaben entwickelt, sodass insgesamt 15 Aufgaben zur Verfügung standen, die allesamt den Inhaltsbereichen *Motormanagement* und *Beleuchtungsanlage* entstammen. Da sich zu Beginn des Projekts zeigte, dass angesichts des gegenwärtigen Forschungsstands eine vollständig theoriegeleitete Itementwicklung auf Basis einer *construct map* (WILSON 2005) noch nicht möglich war und durch das Problem, in authentischen Anforderungskontexten systematische Variationen der Anforderungsmerkmale vorzunehmen erheblich erschwert wird, wurde bei der Itemkonstruktion auch auf Experteneinschätzungen und Erfahrungen aus Vorgängerstudien zurückgegriffen, in denen sich u. a. die Systemkomplexität und die Notwendigkeit, eigenständige Funktionszusammenhänge zu modellieren, als schwierighkeitsrelevant erwiesen (GSCHWENDTNER/GEISSEL/NICKOLAUS 2010). Abb. 2 zeigt die Verteilung der Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten entlang des Kompetenzkontinuums. Deutlich wird einerseits, dass die meisten Probanden eine mittlere Personenfähigkeit erreichen (Personen, deren Fähigkeit um den Logitbereich (Messeinheit) Null liegt) und andererseits, dass sich die Items relativ gleichmäßig entlang des Schwierigkeitskontinuums verteilen, wobei bei Item 14 und 15 Deckeneffekte zu beobachten sind. Hervorgehoben sind in der Abbildung drei Arbeitsaufträge verschiedener Schwierigkeit: Item 3 (Lösungsquote: ca. 80 %) markiert einen Arbeitsauftrag, bei dem die Probanden den Defekt eines Sensors identifizieren müssen. Beim schwierigeren Item 13 (Lösungsquote: ca. 43 %) ist ein Kabelbruch zu identifizieren, der die Spannungsversorgung des Motorsteuergeräts verhindert. Item 8 (Lösungsquote: ca. 25 %) repräsentiert schließlich eine Aufgabe, bei der die Ansteuerung eines Injektors aufgrund eines Kabelbruchs nicht erfolgen kann. Die Items erweisen sich als skalierbar (kein signifikant schlechter Fit einzelner Items, *weighted mean square* > .85 bzw. < 1.15; Trennschärfen  $r_{tt}$  > .28). Weitere statistische Gütemaße machen allerdings auch deutlich, dass die Diagnostik der Problemlösekompetenz von einem ernstzunehmenden Messfehleranteil überlagert wird (EAP/PV-Reliabilität = .55). Dies dürfte ein Resultat der Anforderungshetero-

genität komplexer Aufgabenstellungen, d.h. der Heterogenität des erfassten Konstrukts sein (z.B. KANE 2010, ABELE 2011). Ein weiterer Grund für die geringeren Reliabilitäten ist in der geringen Anzahl bearbeiteter Items zu sehen: Aufgrund der Komplexität und Realitätsnähe der Aufgabenstellungen waren lange Bearbeitungszeiten (bis zu 30 min. je Item) nötig und die Probanden konnten nur 4 bis 5 Items im Simulationskontext bearbeiten. Die Zusatzaufgaben erwiesen sich z.T. als nicht hinreichend bzw. auf andere Weise komplex, so dass sie – bezogen auf den Test der Kfz-Mechatroniker – eher mit dem Fachwissen als der fachspezifischen Fehleranalysefähigkeit modellierbar waren. Im Rahmen von Folgeprojekten wird untersucht, inwieweit die Anzahl bearbeitbarer Items und damit die Reliabilität bei gleichzeitiger Wahrung der ökologischen Validität durch Aufgabenmodifikationen gesteigert werden kann.

Das *Scoring* erfolgte auf Basis schriftlich erstellter Arbeitsdokumentationen. Für die Korrektur wurde zunächst ein Leitfaden erarbeitet. Anschließend fand ein von zwei Ratern unabhängig voneinander durchgeführtes Rating der dichotomen Aufgabe statt. In den sehr seltenen Fällen abweichender Ratings wurde anschließend über Diskussionen im Konsens geratet.

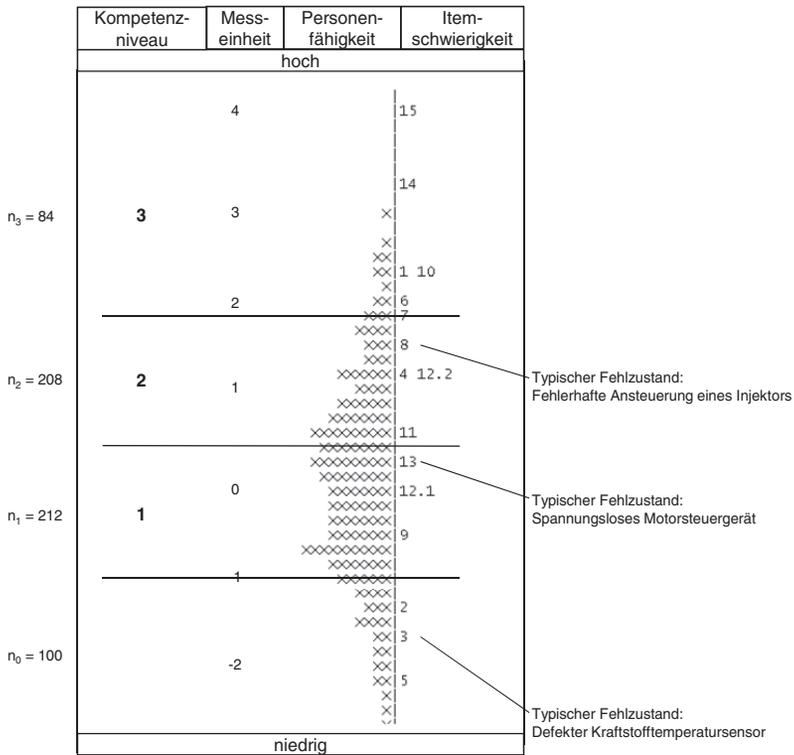


Abb. 2: Personenfähigkeiten, Itemschwierigkeiten, Probanden und Kompetenzniveaus Kfz-spezifischen Problemlösens

Kompetenzniveaumodell und schwierigkeitsbestimmende Merkmale

Leitend für die in diesem Abschnitt dargestellte Beschreibung der Kompetenzniveaus waren die folgenden, teils vorigen Studien entnommenen (z.B. Gschwendtner/Geißel/Nickolaus 2010), teils post-hoc entwickelten schwierigkeitsbestimmenden Merkmale: (1) Aufgabenkomplexität, (2) Art des Messgeräts, (3) Art der Informationsbeschaffung, (4) Diagnoseart, (5) Modellierungsumfang und schließlich (6) die Fehlerart. Um den Wert dieser Merkmale besser einschätzen zu können, wurden bivariate Korrelationen zwischen den merkmalsbezogenen Ratings und den Itemschwierigkeiten berechnet (vgl. Abb. 3).

	Item-schwierigkeit	Komplexität	Art des Messgeräts	Art der Informationsbeschaffung	Diagnoseart	Modellierungsumfang
Komplexität Korrelation nach Pearson	0,896**	1				
Messgerät Korrelation nach Pearson	0,254	0,174	1			
Informationsbeschaffung Korrelation nach Pearson	0,747**	0,827**	0,392	1		
Diagnoseart Korrelation nach Pearson	0,811**	0,861**	0,258	0,788**	1	
Modellierung Korrelation nach Pearson	0,765**	0,753**	0,231	0,654**	0,841**	1
Fehlerart Korrelation nach Pearson	0,568*	0,594**	0,354	0,381	0,658**	0,707**

n = 16; \*\* p < .01; \*p < .05

Abb. 3: Korrelationen der schwierigkeitsbestimmenden Merkmale und der Itemschwierigkeiten

Obwohl diese Korrelationen angesichts der geringen Itemanzahl vorsichtig zu interpretieren sind, geben sie eine wichtige Orientierung für die Entwicklung einer *construct map*, auf deren Basis in künftigen Studien eine theoriegeleitete Konstruktion von Items bestimmter Schwierigkeiten vorgenommen werden kann. Abgesehen von der Art des eingesetzten Messgeräts korrelieren alle Merkmale hochsignifikant mit der Itemschwierigkeit, wobei sich insbesondere die Komplexität ( $r = .90$ ) und die Art der Diagnose ( $r = .81$ ) als äußerst prädiktionskräftig erweisen. Die Art der Diagnose wird abhängig davon bestimmt, ob es sich um eine Routinediagnose, computergestützte Diagnose oder nicht geführte Fehlersuche handelt (siehe auch SPÖTTL/BECKER/MUSEKAMP 2011). Mit Komplexität ist hier die Anzahl der Informationseinheiten gemeint, die für die Lösung zwingend nötig sind und die bewusst verknüpft werden müssen. Informationseinheiten, über die mit hoher Wahrscheinlichkeit jeder Proband verfügt und die in bekannten Schemata (vernetzte Informationen) bereits vorliegen, beeinflussen die Aufgabenkomplexität dagegen nicht. Inwieweit Informationseinheiten den Testpersonen bekannt sind und durch Übung bereits Schemata ausgebildet sind, kann vor dem Hintergrund curricularer Vorgaben, Arbeitsprozessanalysen und der Einschätzung erfahrener Ausbildungsakteure abgeschätzt werden. Deutlich gemacht haben die Analysen – darauf deuten auch die meist sehr hohen Interkorrelationen zwischen Komplexität und den anderen schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen hin –, dass die Aufgabenkomplexität ein Resultat der inhaltlichen Anforderungen und zugleich der anderen schwierigkeitsbestimmenden Merkmale darstellt: Soll die

Komplexität einer Aufgabe gesteigert werden, gelingt dies nur, wenn bspw. anstatt einer Routinediagnose eine regelbasierte Diagnose durchgeführt werden muss, in der z. B. zugleich mehrere Messwerte aufgenommen werden müssen etc. Relevant ist dies v.a. deswegen, weil das Merkmal *Komplexität* damit nicht direkt für den Itemkonstruktionsprozess genutzt werden kann. Liegen allerdings die fertigen Items vor, kann deren Komplexität geratet und damit deren Schwierigkeit relativ gut *a priori* abgeschätzt werden. Im Falle einer Häufung zu einfacher oder zu schwerer Items könnte dies bspw. die Konstruktion weiterer Items anregen.

Die Kompetenzniveaus Kfz-spezifischen Problemlösens wurden in Anlehnung an BEATON und ALLEN (1992) bestimmt. Anhand der dort dargestellten Kriterien wurden 3 Kompetenzniveaus festgelegt, deren Grenzen bei -1.0 (Niveau 1), .4 (Niveau 2) bzw. 1.8 (Niveau 3) Logits liegen. Wie Abb. 2 zeigt, erreichen 212 Auszubildende Niveau 1, 208 Niveau 2 und 84 Niveau 3, 100 Auszubildende liegen unterhalb von Niveau 1. Die inhaltliche Beschreibung der Niveaus erfolgte anhand der kritischen Items (Niveau 1: Item 5, 3, 2; Niveau 2: 9, 12.1, 13; Niveau 3: 11, 4, 12.2, 8) und mündete in die folgenden fähigkeitsbezogenen Kompetenzniveaus:

**Niveau 1: *Routiniertes und computergestütztes Lösen einfacher Kfz-Probleme (35,1%)***

Personen dieses Niveaus können die Informationen des Arbeitsauftrags erfassen und für die Diagnosearbeit nutzen. Zudem sind sie in der Lage, vertraute Fehlzustände zu diagnostizieren (Routinediagnose) und bei Aufgaben geringer Komplexität eine computergestützte Diagnose erfolgreich durchzuführen. Es wird also der standardmäßige Umgang mit dem Expertensystem (lineares Vorgehen, typischerweise bestehend aus: Fehlerspeicher auslesen, Eigendiagnose, computergestütztes Aufsuchen von Fahrzeugkomponenten, regelbasierte Diagnose) und der Umgang mit dem Multimeter (für Spannungs- und Widerstandsmessungen) beherrscht.

**Niveau 2: *Computergestütztes und nicht geführtes Lösen mittelkomplexer Kfz-Probleme (34,4%)***

Personen dieses Niveaus weisen zusätzlich zu den Fähigkeiten von Niveau 1 die Fähigkeit auf, Fehlzustände mittlerer Komplexität entweder anhand einer computergestützten Diagnose oder einer nicht geführten Diagnose zu identifizieren. Außerdem sind sie in der Lage, Stromlaufpläne und auf Niveau 1 nicht benötigte Funktionen des Expertensystems (z. B. geführte Fehlersuche, Aufrufen von Stromlaufplänen) für die Diagnosearbeiten zu nutzen. Personen des Kompetenzniveaus 2 können eigenständig einfachere Diagnosestrategien entwickeln und einfachere technische Systeme mental modellieren.

**Niveau 3: *Eigenständiges Lösen komplexer Kfz-Probleme (13,9%)***

Im Gegensatz zu Niveau 1 und 2 können Personen des Niveaus 3 Aufgaben hoher Komplexität anhand einer nicht geführten Diagnose erfolgreich bearbeiten. Gegenüber Niveau 2 beherrschen sie außerdem den Umgang mit weniger häufig verwendeten elektronischen Messgeräten (Oszilloskop und Strommesszange). Zudem sind sie in der Lage, komplexere technische Systeme eigenständig kognitiv zu modellieren.

Festzuhalten bleibt, dass etwa 16.5% der Auszubildenden – also jener Anteil an Auszubildenden, der das Niveau 1 nicht erreichte – auch mit vollständig durch das Expertensystem geführten Diagnosen noch überfordert sind und etwa 35% lediglich Fehler diagnostizieren können, für die das Expertensystem die notwendigen

Hinweise vollständig zur Verfügung stellt. Eigenständige Modellierung, Informationsererschließung und Strategieentwicklung einfordernde Fehlerfälle überfordern diese Auszubildenden am Ende der Ausbildung.

In einer didaktischen Perspektive ist über diese Beschreibung der erzielten Kompetenzniveaus hinaus von Interesse, was den Auszubildenden besondere Schwierigkeiten bereitet. Zum Teil klingt das bereits in den qualitativen Niveaubeschreibungen an. Probleme bereiten insbesondere:

1. Die Entwicklung einer eigenständigen Strategie der Fehlereingrenzung, sofern die Abarbeitung der von Seiten des Expertensystems bereitgestellten Hinweise nicht zum Ziel führt.
2. Die damit verbundene eigenständige und gezielte Erschließung relevanter Informationen im Rückgriff auf die i.d.R. durch das Expertensystem bereit gestellten Informationsgrundlagen wie Schaltpläne etc.
3. Die Identifikation von Verbindungs- und Kontaktproblemen, die sich als schwieriger erweist als jene von defekten Elementen.
4. Die Nutzung etwas anspruchsvollerer messtechnischer Verfahren, wie der Einsatz eines Oszilloskops, gegebenenfalls in Verbindung mit einer Strommesszange, während der Einsatz des Multimeters weniger Probleme bereitet.
5. Bei einem kleineren Anteil die Interpretation von Messwerten.

Generell steigt der Schwierigkeitsgrad mit der Anzahl der zwingend notwendigen Diagnoseschritte an, wobei mit jedem Schritt auch wieder zusätzliche inhaltliche Anforderungen verbunden sind. Insbesondere bei den Auszubildenden mit einem schwächeren Leistungsprofil entsteht auch der Eindruck, dass trotz der im dualen System anzutreffenden Lernortkombination die Möglichkeiten, eigene Diagnoseerfahrungen zu sammeln, begrenzt sind oder aber größere Zeitkontingente notwendig wären, um sich der komplexen Materie erfolgreicher anzunähern. Zu berücksichtigen bleibt sicherlich auch, dass sich – wie die späteren Erklärungsmodelle belegen – ein gutes Fachwissen als zentraler Erklärungsfaktor für die erzielten Diagnoseleistungen erweist (GSCHWENDTNER/ABELE/NICKOLAUS 2009) und ohne ein solches Wissen eigenständige Strategieentwicklungen zur Fehlereingrenzung nicht möglich sein dürften.

### 3.2 Kompetenzniveaumodell für die fachspezifische Fehleranalysefähigkeit bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik, Aufgabenentwicklung, Item- und Skalenqualität sowie Scoring

Der Test zur Erfassung der Fehleranalysefähigkeit bestand in diesem Fall aus einem neu entwickelten Computerprogramm, das eine Stern-Dreieck-Wendeschutzschaltung, eine Treppenhausbeleuchtung mit Zeitverhalten sowie eine Zweipunkt-Heizungsregelung mit jeweils mehreren Fehlerfällen simuliert. In die Programmoberfläche wurden auch die aus dem DFG-Projekt NI606/3-1 stammende Simulationen der Einfeld-Kochplatte und der Wechselschaltung in modifizierten Varianten integriert. Insgesamt standen durch die Computersimulationen 11 komplexe Items zur Verfügung, die durch 19 Items im Paper-Pencil-Format mit direktem Bezug zur Fehleranalyse innerhalb der verschiedenen Systeme ergänzt wurden. Eine gemeinsame Skalierung der Items erbrachte jedoch auch hier einige Probleme in der Itemgüte, so dass letztlich 24 Items in die Auswertung mit eingingen. Problematisch wirkten sich wie in Vorgängerstudien die als *partial-credits* konzipierten Items aus, sowohl



Die Niveaumodellierung erfolgte hier im Anschluss an HARTIG (2007), was allerdings damit erkaufte wird, dass die Schwierigkeitsmerkmale relativ abstrakt gehalten werden müssen<sup>5</sup>, jedoch den Vorteil hat, dass die prädiktive Kraft der Schwierigkeitsparameter besser abgeschätzt werden kann.

Die einzelnen Niveaus lassen sich wie folgt beschreiben:

<b>Niveau 4:</b>	Die Auszubildenden verfügen über hinreichend sicher ausgeprägte Fähigkeiten in der Fehleranalyse, um Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit nicht-trivialen Ursache-Wirkungs-Analysen</li> <li>• in dynamischen technischen Systemen zu bewältigen.</li> </ul>
<b>Niveau 3:</b>	Die Auszubildenden verfügen über hinreichend sicher ausgeprägte Fähigkeiten in der Fehleranalyse, um Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit nicht-trivialen Ursache-Wirkungs-Analysen</li> <li>• in statischen technischen Systemen zu bewältigen.</li> </ul>
<b>Niveau 2:</b>	Die Auszubildenden verfügen über hinreichend sicher ausgeprägte Fähigkeiten in der Fehleranalyse; um Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit einfachen Ursache-Wirkungs-Analysen</li> <li>• in statischen technischen Systemen zu bewältigen</li> </ul>
<b>Niveau 1:</b>	Die Auszubildenden verfügen <i>nicht</i> über hinreichend sicher ausgeprägte Fähigkeiten in der Fehleranalyse, um Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit einfachen Ursache-Wirkungs-Analysen</li> <li>• in statischen technischen Systemen zu bewältigen</li> </ul>

Abb. 5: Elektroniker: Personenfähigkeiten, Itemschwierigkeiten, Probandenverteilung, Kompetenzniveaus und deren qualitative Beschreibung in der Fehleranalysefähigkeit

Als relevante Schwierigkeitsmerkmale des Fehleranalysefähigkeitstests konnten bei den Elektronikern die analytischen Anforderungen der Ursache-Wirkungsmechanismen bzw. der Ursache-Wirkungs-Analysen und Soll-/Istwert-Vergleiche (Funktionsanalyse) sowie die Systemdynamik der Anforderungssituation identifiziert werden, die ihrerseits hoch mit anderen Merkmalen wie der Systemkomplexität, der Anzahl der Messmöglichkeiten und der Transparenz der Fehlersituation korrelieren.

Der Deskriptor einfache Ursache-Wirkungsanalysen fasst Anforderungen zusammen, die im Falle der begleitend zur Bearbeitung vorgegebenen Paper-Pencil-Items primär Teilleistungen der Fehleranalyse umschreiben, wie z.B. Bauteile identifizieren, die in einem technischen System für bestimmte Funktionen verantwortlich sind, oder vorgegebene Messergebnisse an einer Fehlerstelle auf eine Ursache zurückführen (z.B. Drahtbruch, defekter Schalter, Durchgangsprüfung usw.). Im Falle der simulationsbasierten Items sind die Fehlerursachen bereits durch optische Begutachtung (z.B. offensichtlich falsch belegte Klemmleiste), durch akustische Wahrnehmungen (unrunder, geräuschvoller Lauf des Drehstrom-Asynchronmotors) oder typisches Schaltungsverhalten bei fehlenden Verbindungen erkennbar. Systematische Soll-/Istwert-Vergleiche unter Verwendung von anspruchsvolleren messtechnischen Stra-

5 Bei höheren Konkretisierungsgraden würde sich die Chance auf eine durchgängig in der Schwierigkeit ansteigende Bewertung der Items im Ratingprozess verringern.

tegien der Fehlereingrenzung und -lokalisierung sind hier in der Störungsdiagnose noch nicht notwendig, weshalb diese Anforderungen für Auszubildende eines Elektronikerberufs als eher trivial bezeichnet werden. Werden hingegen systematische Eingrenzungsstrategien nötig, sprechen wir von nicht-trivialen Anforderungen. Der Deskriptor statisch/dynamische Systeme bezieht sich auf die Klassifikation der einbezogenen technischen Systeme. Als dynamisch werden jene Systeme klassifiziert, die ohne den Eingriff von außen (z. B. Betätigung eines Schalters durch den Probanden) selbsttätig ihren Zustand ändern können (z. B. Zwei-Punkt-Heizungsregelung mit Thermostat, Treppenhausbeleuchtung mit Zeitschaltrelais oder automatische Stern-Dreieck-Wendeschützschaltung).

Die Varianzaufklärung durch die beiden Merkmale Funktionsanalyse sowie Systemdynamik erreicht 34,8%. Höhere Varianzaufklärungen sind in diesem Falle kaum zu erzielen, was auch durch den Einbezug von Zusatzaufgaben im Paper-Pencil Format, die ggf. verändert gelagerte Fähigkeiten erfordern, begünstigt scheint. Insofern gehen Reliabilitätsgewinne durch den Einbezug von Paper-Pencil Items mit Erschwernissen bei der Niveaucharakterisierung einher.

Gemeinsamkeiten mit den relevanten Schwierigkeitsparametern bei den Kfz-Mechatronikern bestehen insoweit, als die „Funktionsanalyse“ Teilanforderungen einschließt, wie sie bei Modellierungen und Diagnosestrategien zur Überprüfung der Funktionszusammenhänge zu erbringen sind. Unterschiede zeigen sich insbesondere im Hinblick auf die bei den Kfz-Mechatronikern ausgewiesenen Routine-diagnosen. Dieser Unterschied in den Schwierigkeitsprädiktoren dürfte primär auf zwei Ursachen rückführbar sein:

- einerseits auf den Einbezug hoch unterschiedlicher elektrotechnischer Systeme bei den Elektronikern (*Variation der Kontexte*), während im Kfz-Bereich mit den einzelnen Fehlern zwar unterschiedliche Teilsysteme angesprochen sind, aber das Gesamtsystem identisch bleibt (*Konstanthaltung des Kontextes*) und
- andererseits auf das im Kfz-Bereich bereitgestellte Expertensystem, das bei einem gewissen Spektrum von Fehlerfällen lediglich lineare, routinierte Abarbeitungen der vom Expertensystem vorgeschlagenen Analyseschritte erfordert und dadurch eine berufstypische Hilfefunktion existiert, die den Elektronikern i. d. R. nicht zur Verfügung steht.

Die eingangs vermuteten Schwierigkeitsmerkmale weisen zu den hier identifizierten deutliche Parallelen auf. Die Systemcharakteristik, die bei DÖRNER (1987) direkt und in den eigenen Vorstudien mit der Komplexität bzw. dem Vernetzungsgrad der relevanten Wissens Elemente indirekt angesprochen ist, die Modellierungsanforderungen und der Fehlertypus lassen sich – allerdings domänenspezifisch in unterschiedlichen Kompositionen – als schwierigkeitsrelevant bestätigen. Während der Detaillierungsgrad der schwierigkeitsbestimmenden Merkmale bei den Kfz-Mechatronikern geeignet scheint, eine *construct map* als Basis für weitere Fehlerfälle zu gewinnen, scheinen die im Elektrobereich identifizierten Merkmale dafür nur bedingt geeignet. Verursacht bzw. begünstigt ist dies u. a. durch den Einbezug unterschiedlicher technischer Systeme bei den Elektronikern, deren Merkmale in den Mittelpunkt der Modellierung rücken, während bei den Kfz-Mechatronikern der Systemkontext weitgehend gleich bleibt. Damit werden die Fragen aufgeworfen,

- (1) ob sich bei Einbezug weiterer Systeme, wie z. B. Fahrwerksysteme oder Sicherheits- und Komfortsysteme bei den Kfz-Mechatronikern, die bei den

- Elektronikern identifizierten Merkmale für variable Kontexte replizieren und im Gegenzug,
- (2) ob sich bei Implementierung weiterer Fehler in die einzelnen elektrotechnischen Systeme, die bei den Kfz-Mechatronikern für konstante Kontexte als gültig ausgewiesenen Merkmale bestätigen lassen.

Auf Basis dieser deskriptiven Analysen sollen im Weiteren die hypothesenbezogenen Auswertungen erfolgen. Die Hypothesenprüfung wird in der Reihenfolge der vorliegenden Niveaumodelle eingebracht.

#### 4. Prüfung der Hypothesen

In Hypothese 1 wird unterstellt, dass sich jene Auszubildenden, deren Fachkompetenz am Ende des ersten Ausbildungsjahres schwach ausgeprägt war, auch am Ende der Ausbildung in einem unteren Kompetenzbereich befinden werden.

Die Hypothese wird geprüft, indem die Auszubildenden auf den beiden separat skalierten und modellierten (Niveau- und Strukturmodell) Messzeitpunkten (Ende der Grundstufe und Ende der Ausbildung) betrachtet und deren Kompetenzentwicklung zwischen den jeweiligen Kompetenzniveaumodellen über die Zeit hinweg untersucht werden.

##### 4.1 Prüfung der Hypothese H1 bezogen auf das Niveaumodell der fachspezifischen Fehleranalysefähigkeit bei Kraftfahrzeugmechatronikern

Zur Prüfung von H1 wird auf Ergebnisse des im Rahmen des DFG-Projekts NI 606/3-1 entwickelten Kompetenzniveaumodells zurückgegriffen (GSCHWENDTNER 2008). Das angesprochene Niveaumodell bezieht sich auf Kfz-spezifisches Fachwissen am Ende der Grundbildung (Niveaumodell<sub>Grund</sub>) und umfasst vier Kompetenzniveaus.<sup>6</sup> Im Hinblick auf H1 sind insbesondere die Auszubildenden interessant, die Niveau 1 und 2 erreichen, da diese über rudimentäre bzw. basale Kfz-Kenntnisse verfügen. Im Sinne von H1 dürften diese Auszubildenden auch für das am Ende der Ausbildung entwickelte Niveaumodell der Kfz-spezifischen Fehleranalyse (Niveaumodell<sub>Ausend</sub>) lediglich untere Niveaus erreichen.

Zunächst ist festzuhalten, dass für 117 Auszubildende sowohl Daten für Niveaumodell<sub>Grund</sub> als auch Niveaumodell<sub>Ausend</sub> vorliegen. Im Niveaumodell<sub>Grund</sub> erreichten 26 dieser Auszubildenden Niveau 1 (MW: -1.69, SD: .67), 67 Niveau 2 (MW: .04, SD: .48), 24 Niveau 3 (MW: 1.25, SD: .33) (in Abbildung 6 nicht dargestellt) und keiner Niveau 4. Von den 93 auf Niveau 1 und Niveau 2 befindlichen Probanden (Probanden mit rudimentären und basalen Grundkenntnissen) liegen 13 Auszubildende im Niveaumodell<sub>Ausend</sub> unterhalb von Niveau 1, 50 erreichen das erste (MW: -.48, SD: .40), 26 das zweite (MW: .80, SD: .33) und nur 4 das dritte Niveau (MW: 2.45, SD: .41) (vgl. Abb. 6). In Prozentwerten ausgedrückt bedeutet dies, dass rund 68 %

6 Die Fokussierung auf Fachwissen ergibt sich aus dem Umstand, dass die Konstruktion eines Niveaumodells der Fehleranalysefähigkeit zum Ende der Grundstufe infolge einer zu geringen Itemanzahl nicht möglich ist. Die relativ hohe Korrelation zwischen dem Konstrukt des Fachwissens und der Fehleranalysefähigkeit legitimiert inhaltlich die hier gewählte Untersuchungsrichtung.

der 93 Probanden auf Niveau 1 oder darunter, ca. 30 % auf Niveau 2 und nur 4 % auf Niveau 3 zu lokalisieren sind.

		Kfz-spezifisches Problemlösen (Ausbildungsende)				
		Niveaustufe				Gesamt
		<1	1	2	3	
Kfz-spezifisches Wissen (Ende Grundbildung)	Niveaustufe 1	4	17	4	1	26
	Niveaustufe 2	9	33	22	3	67
Gesamt		13	50	26	4	93

Abb. 6: Niveaubezogene Verteilung der Kfz-Mechatroniker auf zwei Messzeitpunkten: Ende der Grundbildung und Ausbildungsende

In Übereinstimmung mit H1 ist also festzustellen, dass diejenigen, die Ende der Grundbildung über geringeres Kfz-spezifisches Wissen verfügen, sich i.d.R. auch am Ende der Ausbildung im Bereich des Problemlösens auf unteren Kompetenzniveaus bewegen, d.h. Nachteile beim Aufbau Kfz-spezifischer Problemlösekompetenzen haben.

Die hier nicht weiter explizierte einschlägige Analyse der erreichten **Niveaus im Fachwissen** am Ende der Ausbildung zeigen stärkere Entwicklungsdynamiken, die darin Ausdruck finden, dass es ca. 56 % der Auszubildenden gelingt, sich in höhere Kompetenzniveaus zu bewegen, weshalb wir für das Fachwissen H1 verwerfen.

#### 4.2 Prüfung der Hypothese H1 bezogen auf die fachspezifische Problemlösefähigkeit von Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik

Auch bei den Elektronikern wird zur Prüfung von H1 auf Ergebnisse des im Rahmen des DFG-Projekts NI 606/3-1 entwickelten Kompetenzniveaumodells zurückgegriffen (GEISSEL 2008). Das angesprochene Niveaumodell umfasst ebenfalls vier Kompetenzniveaus.

Wie die Daten in Abbildung 7 verdeutlichen, hat sich bei der fachspezifischen Problemlösefähigkeit keine Entkopplung vom Leistungsstand am Ende des ersten Ausbildungsjahrs ergeben, wenngleich die Kopplung geringer ist als beim Fachwissen.<sup>7</sup> Es gelingt immerhin einem Drittel der Auszubildenden des Niveaus 1 auf das Niveau 3 der Fehleranalysefähigkeit zu gelangen und 10 % erreichen gar das

7 Beim Fachwissen gelingt es etwa einem Viertel der Auszubildenden des vormaligen Niveaus 1 und ca. einem Drittel der Auszubildenden des Niveaus 2 Niveau 3 zu erreichen. Trotz dieser positiven Entwicklungen ist auch für das Fachwissen festzuhalten, dass es einem Großteil der Auszubildenden nicht gelingt, höhere Leistungsniveaus zu besetzen. Festzustellen ist ebenfalls, dass kein Auszubildender aus den unteren beiden Niveaus aus dem ersten Ausbildungsjahr das Niveau 4 am Ende der Ausbildung erreichen kann.

Erreichtes Niveau im Fachwissen am Ende des 1. Ausbildungsjahrs	Erreichtes Niveau der Fehleranalysefähigkeit am Ende der Ausbildung	
Niveau 1: 50,0%	42,9%	Niveau 1
	14,3%	Niveau 2
	32,1%	Niveau 3
	10,7%	Niveau 4
Niveau 2: 34,0%	19,0%	Niveau 1
	38,1%	Niveau 2
	38,1%	Niveau 3
	4,85	Niveau 4
Niveau 3: 15,3%	–	Niveau 1
	36,4%	Niveau 2
	18,2%	Niveau 3
	45,5%	Niveau 4
Niveau 4: 0,7%	–	–

Abb. 7: Niveaubezogene Verteilung der Elektroniker auf zwei Messzeitpunkten: Ende der Grundbildung und Ausbildungsende

Niveau 4. Dennoch verbleibt mit knapp 43% der größte Teil der Gruppe auf dem untersten Niveau. Für Auszubildende des Niveaus 2 im Fachwissen ist zu gleichen Teilen eine Steigerung um ein Niveau nach oben bzw. eine analoge Verortung in der Fehleranalysefähigkeit zu konstatieren. Bereits im ersten Ausbildungsjahr auf einem höheren Niveau stehende Auszubildende fallen in keinem Fall auf das Niveau 1 zurück, jedoch ist immerhin ca. ein Drittel der Auszubildenden nicht in der Lage, in der Fehleranalysefähigkeit entsprechend den guten Voraussetzungen auf einem gleichrangigen Niveau zu verbleiben oder ein höheres Niveau zu erreichen. Da mehr als die Hälfte der Auszubildende das Ausgangsniveau halten oder verbessern, sind auch hier die Chancen ungleich verteilt, womit die Hypothese gestützt wird. Gleichwohl scheint eine nicht unerhebliche Dynamik in der Fachkompetenzentwicklung zu bestehen. Möglicherweise spielen dabei die Erfahrungen im Betrieb eine wesentliche Rolle, die allerdings durch das MIZEBA auch in modifizierter Form nicht hinreichend abgebildet werden.

#### 4.3 Prüfung der Hypothesen H2 und H3

Vorbemerkungen: Zur Prüfung von H2 und H3 werden Strukturgleichungsmodelle herangezogen, dabei wird auf die Statistiksoftware Mplus zurückgegriffen. Bei diesen Strukturgleichungsmodellen wird auch der Einfluss motivationaler Voraussetzungen berücksichtigt, die im Anschluss an die Motivationstheorie von PRENZEL u. a. 1996 erhoben wurden. Ein wichtiger Teil dieser Theorie besteht – wie eingangs bereits erwähnt – in der Annahme und separaten Erfassung situationspezifischer Motivationszustände. Wie unten dargestellt, lässt es sich empirisch auch rechtfertigen, den Einfluss der Motivation auf die Kompetenzentwicklung nicht für jeden einzelnen

Messzeitpunkt, sondern anhand eines Traitfaktors (Generalfaktors) zu untersuchen. Dieser Traitfaktor „vereint“ die motivationalen Ausprägungen einer Motivationsfacette (z. B. Amotivation) über alle sechs Messzeitpunkte hinweg. Vorteilhaft ist diese Vorgehensweise nicht nur aus Gründen der Übersichtlichkeit, sondern auch insofern, als der Einbezug der messzeitpunktspezifischen Motivationsausprägungen in den bisherigen Erklärungsmodellen (GSCHWENDTNER 2011; NICKOLAUS u. a. 2011) oft keine bedeutsamen Erklärungsbeiträge erbrachte.

Die Prüfung von H2 scheint angesichts der Befundlage in diesen Berufsfeldern, die nahezu durchgängig das Fachwissen als zentralen Prädiktor ausweist (NICKOLAUS/GSCHWENDTNER/GEISSEL 2008; NICKOLAUS u. a. 2011), auf den ersten Blick möglicherweise trivial. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass in den bisherigen Untersuchungen die allgemeine Problemlösefähigkeit unberücksichtigt blieb, wie sie durch das Instrument zur Erfassung dynamischer Problemlösefähigkeit sensu GREIFF/FUNKE abgebildet wird. Aufgrund des Forschungsdesigns ist es allerdings nicht möglich, alle potentiellen Prädiktoren in ein Modell zu integrieren. Stattdessen werden zunächst zentrale Ergebnisse zur Erklärungskraft dynamischer Problemlösefähigkeit, fluider Intelligenz und dem Fachwissen präsentiert, die auf den querschnittlich erhobenen Daten basieren. Anschließend wird ein Modell präsentiert, das auch die Prognosekraft der motivationalen Traitfaktoren berücksichtigt und auf dem längsschnittlichen Datensatz beruht. Der Prüfung von H 2 werden insbesondere Ausführungen zur Motivationsmodellierung und zum Konstrukt der dynamischen Problemlösefähigkeit und dessen Operationalisierung vorangestellt.

**Motivationsmodellierung:** Wie in Kap. 2.2 bereits erwähnt, wurden die motivationalen Zustände der Auszubildenden zu sechs verschiedenen Zeitpunkten erhoben. Bei der längsschnittlichen Skalenanalyse anhand von *Latent-State*-Modellen wurde deutlich, dass von den insgesamt sechs Skalen (Amotivation sowie extrinsische, introjierte, identifizierte, intrinsische und interessierte Motivation) die Skalen zur introjierten und extrinsischen Motivation mit starken indikatorspezifischen Effekten verbunden sind. Dies bedeutet, dass korrespondierende Indikatoren über verschiedene Messzeitpunkte hinweg ein erhebliches Maß an gemeinsamer Varianz aufwiesen, das nicht durch die pro Messzeitpunkt gebildeten latenten Faktoren erklärt wurde. Damit erwiesen sich diese Skalen als nicht ausreichend homogen und sie wurden von den Analysen ausgeschlossen.

Die im Folgenden analysierten Skalen waren dagegen ausreichend homogen. Bei einer Betrachtung der skalenspezifischen Motivationsentwicklung zeigte sich, dass sich die messzeitpunktspezifischen Varianzen mit einem Generalfaktor gut erklären lassen. Die untersuchten Generalfaktormodelle bestanden aus sechs latenten Faktoren 1. Ordnung (für jeden Messzeitpunkt einen Faktor, der die gemeinsame Varianz einer Skala (z. B. Amotivation) abbildet) und einem Faktor 2. Ordnung (Generalfaktor), in dem die zu verschiedenen Messzeitpunkten gebildeten Faktoren einer Skala „zusammenliefen“. Im Falle der Amotivation führte ein solches Modell bspw. zu standardisierten Ladungen zwischen  $\lambda_1 = .56$  und  $\lambda_6 = .87$  und ging mit einem ordentlichen Modellfit einher ( $\chi^2 = 84.8$ ,  $df = 53$ ,  $RMSEA(90\%) = .05$  (.03–.07),  $SRMR = .07$  und  $CFI = .95$ ).<sup>8</sup> In den hohen Ladungen der Faktoren 1. Ordnung auf den Generalfaktor (Traitfaktor der Amotivation) drückt sich eine relativ hohe interin-

8 Zur Beurteilung der Fit-Maße von Strukturgleichungsmodellen siehe z. B. HU/BENTLER 1999 und SCHERMELLEH-ENGEL/MOOSBRUGGER/MÜLLER 2003.

dividuelle Stabilität dieses motivationalen Zustands aus. Diese, auch im Hinblick auf die anderen Motivationsvarianten gemachte Beobachtung steht in gewissem Konflikt mit der theoretischen Annahme, dass das eingesetzte Instrument insbesondere die Statekomponenten der Motivationsfacetten misst. Die sich daraus ergebenden Implikationen für zukünftige Forschungsaktivitäten sowie die detaillierte Darstellung der längsschnittlichen Motivationsmodellierung werden im Rahmen einer geplanten Publikation ausführlicher diskutiert.

In die folgenden Analysen fließen die erwähnten Erkenntnisse insofern ein, als die Motivationsvarianten *Amotiviert*, *Identifiziert*, *Intrinsisch* und *Interessiert* anhand mehrerer Messzeitpunkte modelliert werden, d.h. die Analysen berücksichtigen ausschließlich den motivationalen Traitanteil (Generalfaktor). Inwieweit durch die Verwendung eines Generalfaktors wichtige Einblicke verloren gehen, wird in der bereits erwähnten Folgepublikation ebenfalls thematisiert. Für das hier gewählte Vorgehen sprechen zumindest zwei Gründe: Zum einen legt das Sparsamkeitsprinzip die empirisch wohl begründete Verwendung eines Generalfaktors nahe. Da die abhängigen Variablen der unten dargestellten Erklärungsmodelle mehrerer Fachkompetenzbereiche integrieren, bieten sich zum anderen aus Symmetrie Gründen abstraktere Prädiktoren an (WITTMANN 1988).

Fluide Intelligenz wurde wie eingangs erwähnt im Rückgriff auf den CFT 20-R erhoben. Die fachspezifische Problemlösefähigkeit wurde für beide Berufe über die Fehleranalysefähigkeit operationalisiert, was im Falle der Kfz-Mechatroniker inhaltlich valide ist, im Falle der Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik jedoch nur einen zentralen Bereich abdeckt. Als weiterer Bereich können hier vermutlich konstruktive Aufgabentypen hinzu, die empirische Prüfung dieser Annahme steht allerdings aus.

Verwiesen sei hier nochmals auf die z.T. unbefriedigenden Reliabilitäten der Instrumente zur Erfassung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit, die insbesondere bei den Kfz-Mechatronikern deutlich wird. Im Falle der Kfz-Mechatroniker erreicht auch der Fachwissenstest keine vollständig befriedigende Reliabilität (GSCHWENDTNER 2011), bei den Elektronikern erweist sich hingegen die Reliabilität des Fachwissenstest als gut (NICKOLAUS u. a. 2011). Auf das Konstrukt der dynamischen Problemlösefähigkeit sei im Folgenden etwas ausführlicher eingegangen, da es in der berufspädagogische Literatur bisher nicht rezipiert wurde.<sup>9</sup>

Dynamische Problemlösefähigkeit: Dynamische Problemlösefähigkeit wurde über den MicroDYN-Ansatz erfasst (vgl. GREIFF (im Druck); GREIFF/FUNKE 2010), der auf dem Formalismus linearer Strukturgleichungsmodelle beruht (vgl. FUNKE 2001) und beliebige fiktive oder reale Systemstrukturen in variierender semantischer Einbettung modelliert. Im Rahmen dieses Ansatzes sind Probanden mit unbekanntem Systemen in Form kleiner Computersimulationen konfrontiert. Die Variablen dieser Systeme sind untereinander vernetzt, wobei diese Vernetzung für die Probanden zunächst nicht ersichtlich ist. Die Aufgabenstellung besteht darin, über die (1) Eingabe adäquater Werte in das System und daraus resultierenden Systemreaktionen (2) die Systemstruktur zu erschließen und das System anschließend (3) zielgerichtet zu steuern. Um messtheoretisch angemessene Kennwerte ableiten zu können, wurde eine testtheoretisch hinreichende Zahl unabhängiger minimal komplexer Systeme

9 Siehe dazu auch ausführlicher den Beitrag von ABELE u. a. (2012), aus dem die folgende Beschreibung entnommen ist.

(Items) mit einer Bearbeitungszeit von 5 Minuten pro Item vorgegeben. Jedes Item wurde den obigen Anforderungen (1) bis (3) entsprechend in drei aufeinander folgenden Phasen bearbeitet: (1) *Informationsgenerierung* während der Explorationsphase über die individuell eingegebenen Werte und die dabei angewandte Systematizität im Sinne einer Explorationsstrategie; (2) *Modellbildung* über die explizite Repräsentation der Problemsituation anhand eines direkt am Computer eingezeichneten Kausaldiagramms (vgl. FUNKE 2001) (3.5 min für (1) und (2) kombiniert); (3) *Prognose* über die Erreichung extern vorgegebener Soll-Werte innerhalb eines Systems (1.5 min) (Speed- und Powertest).

Hinsichtlich der unterschiedlichen zur Anwendung kommenden Systemstrukturen in MicroDYN lassen sich exogene (unabhängige) und endogene (abhängige) Variablen voneinander unterscheiden. Die exogenen Variablen können im Gegensatz zu den endogenen Variablen aktiv manipuliert werden. Denkbare Verknüpfungen zwischen den Variablen sind Haupteffekte, multiple Effekte, multiple Abhängigkeiten, Eigendynamiken und Nebeneffekte. *Haupteffekte* beschreiben kausale Relationen einer exogenen auf eine endogene Variable. Wirkt eine exogene Variable auf mehrere endogene, so ist dies ein *multipler Effekt*. Wird umgekehrt eine endogene Variable von mehreren exogenen beeinflusst, wird dies *multiple Abhängigkeit* genannt. Diese drei Effekte können aktiv manipuliert werden. Wirkt eine endogene Variable auf andere endogene, ist dies ein *Nebeneffekt*. Wirkt sie hingegen auf sich selbst (mit einem Gewicht  $\neq 1$ ), wird dieser Spezialfall eines Nebeneffektes *Eigendynamik* (als Wachstums- oder Schrumpfungsprozess) genannt. Nebeneffekt und Eigendynamik können nicht aktiv manipuliert, aber über die Verwendung adäquater Strategien entdeckt werden. Abb. 8 zeigt ein typisches MicroDYN-Item, in dem alle Effekte illustriert werden.

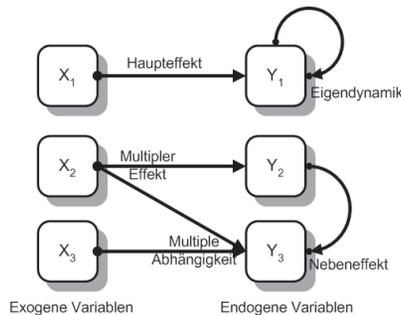


Abb. 8: Struktur eines MicroDYN-Items mit drei exogenen, drei endogenen Variablen und fünf Effektkategorien (ABELE u. a. 2012)

Es ist davon auszugehen, dass die mit MicroDYN erfassten Leistungen insbesondere von der Qualität der individuell verfügbaren allgemeinen Problemlöseheuristiken abhängen, die sich vermutlich auch auf die Bearbeitung fachspezifischer Probleme auswirken (ausführlicher ABELE u. a. 2012).

Erklärungsmodelle

Die Erklärungsmodelle, die zur Prüfung der Hypothesen 2 und 3 generiert wurden, führen in den beiden Berufen zu strukturähnlichen Ergebnissen (vgl. Abb. 9, 10), und zeigen in beiden Fällen, dass auch bei Einbezug dynamischer Problemlösefähigkeit das Fachwissen der dominante Prädiktor der fachspezifischen Problemlösefähigkeit ist.

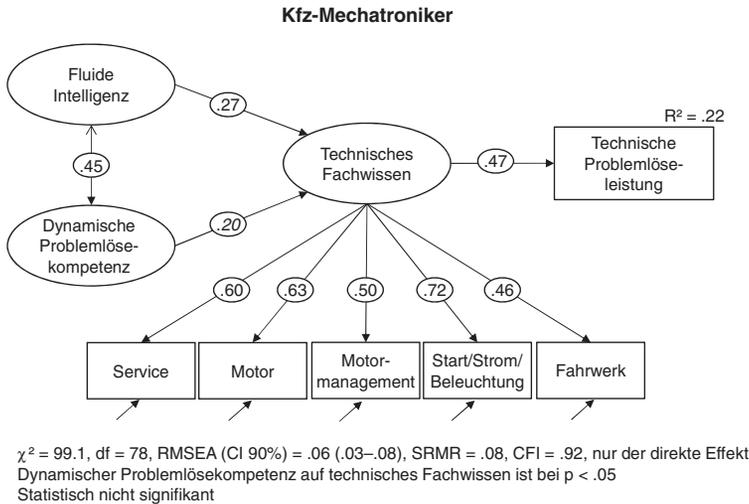


Abb. 9: Erklärungsmodell zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen bei der Kfz-Mechatronikerstichprobe (standardisierte Koeffizienten) (ABELE u.a. 2012)

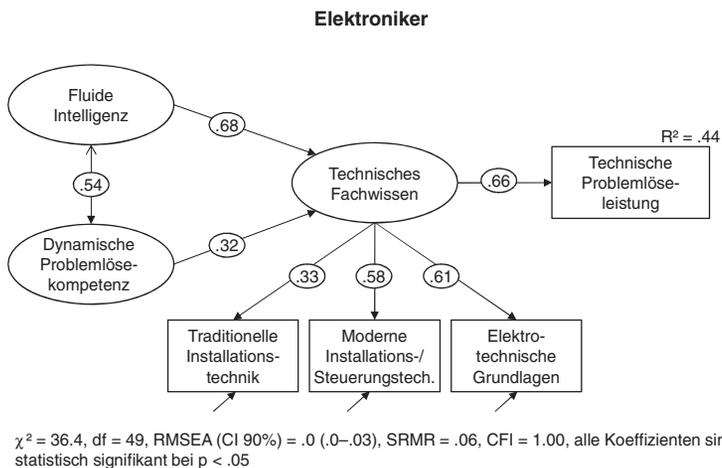


Abb. 10: Erklärungsmodell zur Vorhersage technischer Problemlöseleistungen bei der Elektronikerstichprobe (standardisierte Koeffizienten) (ABELE u.a. 2012)

Sowohl fluide Intelligenz als auch dynamische Problemlösefähigkeit üben nur einen indirekten, über das Fachwissen medierten Einfluss auf die fachliche Problemlösefähigkeit aus, wobei sich dieser Mediatoreffekt nur in der Elektronikerstichprobe und im Falle fluider Intelligenz statistisch absichern lässt.<sup>10</sup> Nach dieser Befundlage spricht wenig dafür, allgemeinen Problemlösefähigkeiten den Status von Schlüsselqualifikationen zuzuschreiben. Bezogen auf die fachspezifische Problemlösefähigkeit kommt dieser Status eher dem Fachwissen zu.

Den Beitrag abschließend soll der Fokus auf längsschnittliche Modellentwicklungen zur Erklärung der fachspezifischen Kompetenzentwicklung gelegt werden.

Erste Modelle wurden bereits an anderer Stelle vorgestellt (NICKOLAUS u.a. 2011), ohne dass es allerdings gelungen ist, mit den gewählten Ansätzen die Motivation erwartungskonform in das Modell zu integrieren. Mit der oben beschriebenen Modellierung des Motivationsgeschehens wird hier ein erweitertes Erklärungsmodell eingebracht, in das auch Motivation als relevanter Prädiktor integriert werden kann. Für die Kfz-Mechatroniker ergibt sich das in Abb. 11 dargestellte Erklärungsmodell, in dem allein das Fachwissen zum Ende der Grundausbildung direkte Pfade zum Fachwissen und der fachspezifischen Problemlösefähigkeit am Ende der Ausbildung aufweist. Alle anderen potentiellen Prädiktoren erhalten nur noch indirekt Bedeutung. H2 und H3 Teil 1 wären damit bestätigt, H3 lässt sich jedoch nur insoweit aufrechterhalten, als die Basiskompetenzen indirekt, d.h. über das Fachwissen mediiert bedeutsam bleiben.

Bei den Elektronikern (siehe Abb. 12) ergeben sich relativ große direkte Pfadkoeffizienten fluider Intelligenz zum Fachwissen und der mathematischen Kompetenzen zur fachspezifischen Problemlösefähigkeit. Die Varianzaufklärungen erreichen bei den Elektronikern in beiden Kompetenzfacetten höhere Werte als bei den Kfz-Mechatronikern, was zumindest teilweise auf die geringeren Reliabilitäten der Kfz-spezifischen Testmaterialien zurückzuführen ist. Insgesamt bleibt bei der fachspezifischen Problemlösefähigkeit ein erheblicher Anteil der Varianz unaufgeklärt, der offensichtlich auch nicht durch allgemeine Problemlösefähigkeiten sensu GREIFF/FUNKE aufklärbar ist. Denkbar wäre, dass die Kontrolle spezifischer Erfahrungen, die durch das erhobene Fachwissen nicht gespiegelt werden – wie z.B. das Ausmaß praktischer Übungsgelegenheiten – zusätzliche Beiträge zur Varianzaufklärung erbringen. Der Einfluss des Fachwissens wird in dieser Modellbildung eher unterschätzt, wie aus den latenten Korrelationen des Fachwissens mit der fachspezifischen Problemlösefähigkeit hervorgeht (NICKOLAUS u.a. 2011), die bei elaborierter Modellierung Größenordnungen von .85 erreichen können.

Motivation hat in beiden Erklärungsmodellen auch bei einer Berücksichtigung von Traitkomponenten nur einen schwachen Einfluss auf die Fachkompetenzentwicklung. Allerdings sollte dieser Befund nicht vorschnell so interpretiert werden, dass motivationale Ausprägungen eine unbedeutende Rolle spielen. Zu prüfen wäre in weiteren Untersuchungen vielmehr, inwiefern bei der Fachwissensdiagnostik auch Motivation miterfasst wird und Motivationsskalen aus diesem Grund bei einer gemeinsamen Modellierung beider psychologischer Konstrukte weniger Erklärungskraft besitzen. Der tatsächliche Stellenwert motivationaler Aspekte für die Kompetenzentwicklung kann besser beurteilt werden, wenn auch die im Fachwissen „eingebundene“ Motivation systematisch berücksichtigt wird.

10 Ausführlich werden die indirekten Effekte dynamischer Problemlösefähigkeit und fluider Intelligenz sowie deren statistische Absicherung bei ABELE u.a. (2012) diskutiert.

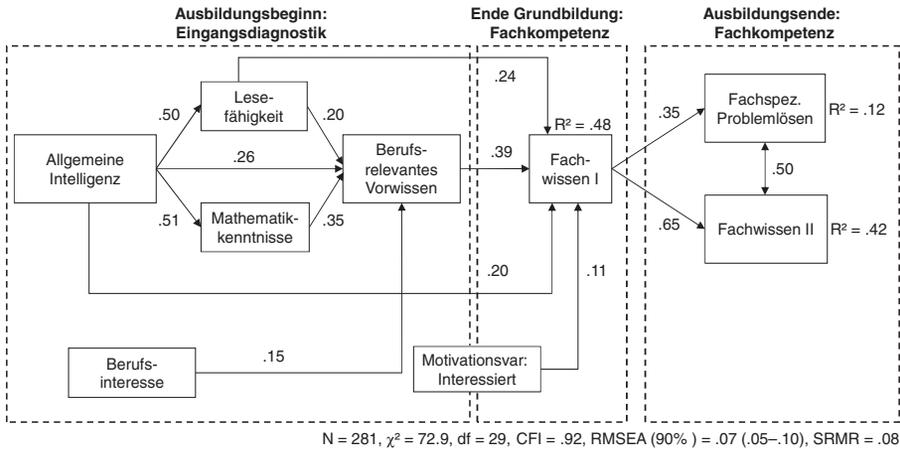


Abb. 11: Erklärungsmodell der fachspezifischen Leistungen von Kfz-Mechanikern über die gesamte Ausbildungszeit hinweg

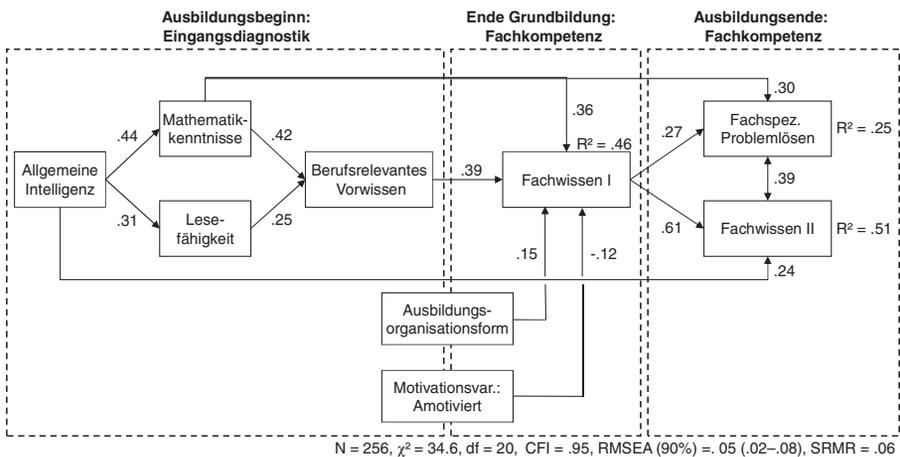


Abb. 12: Erklärungsmodell der fachspezifischen Leistungen von Elektronikern über die gesamte Ausbildungszeit hinweg

### 5. Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass die in die Ausbildung eingebrachten Kompetenzen erhebliche prädiktive Kraft entfalten, die in ihrer Reichweite allerdings domänenspezifisch geprägt scheint. Ob für die Domänenabhängigkeit die spezifischen Testzuschnitte und die damit angesprochenen (gemeinsamen) Fähigkeiten zwischen dem elektrotechnischen Wissenstest und dem Intelligenztest bzw. dem Mathematiktest und dem elektrotechnischen Fehleranalysetest verantwortlich

sind oder diese „Basiskompetenzen“ den Erwerbsprozess der einschlägigen fachlichen Kompetenzfacetten begünstigen, wäre zu klären. Bemerkenswert scheint, dass eine elaboriertere Modellierung motivationaler Voraussetzungen, entgegen vormals berichteter Ergebnisse, doch zu deren erwartungskonformer Integration in das Erklärungsmodell führt. Das gibt Anlass, solchen Modellierungsprozessen künftig mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Von zentraler Bedeutung scheinen die Ergebnisse zur Rolle des Fachwissens und Dynamischer Problemlösefähigkeit für die Erklärung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit. Die hohe Bedeutung, die dem Fachwissen für die fachspezifische Problemlösefähigkeit zukommt, hat u.E. auch praktische Bedeutung. Zugespitzt formuliert erweist sich das Fachwissen als die eigentliche Schlüsselqualifikation. Trotz der hohen prädiktiven Kraft des Fachwissens für die weitere Kompetenzentwicklung bietet die Ausbildung für einen nennenswerten Teil der Auszubildenden die Chance, auch bei ungünstigen Startbedingungen überdurchschnittliche Leistungen in der fachspezifischen Problemlösefähigkeit zu erreichen. Unter welchen Bedingungen das gelingt, bedarf ebenso der Klärung, wie die Frage, inwieweit die jeweiligen betrieblichen Ausbildungsbedingungen dafür relevant werden. In beiden Berufen verweisen die dazu erhobenen Daten auf negative Verläufe der Qualitätszuschreibungen durch die Auszubildenden, die hier nicht ausführlich dargestellt werden konnten.

Mit den vorgestellten Niveaumodellierungen zur fachspezifischen Problemlösefähigkeit liegen erstmals empirisch gestützte Graduierungen für diese Kompetenzfacette vor. Unbefriedigend ist nach wie vor die Erkenntnislage zu den einschlägigen Schwierigkeitsmerkmalen, deren systematische Variation z.T. erhebliche Probleme bereitet, da die Authentizität und Validität durch systematische Variationen z.T. negativ berührt wird. Möglicherweise sind hierzu zunächst auch Laborstudien hilfreich unter Vernachlässigung von Validitätsansprüchen. Im Bereich der fachspezifischen Problemlösefähigkeit erweist sich dafür der nach wie vor relativ geringe Aufgabenpool und die hohe inhaltliche Heterogenität als besondere Erschwernis. In den bereits erwähnten Folgestudien wird dieser Aufgabenpool nochmals unter Berücksichtigung der bisher gewonnenen Erkenntnisse erweitert. Möglicherweise bedarf es für die Erzielung substantieller Fortschritte in diesem Feld auch eines längeren Atems und mehrerer aufeinander aufbauender Studien.

Die erreichten Kompetenzniveaus liegen im Einklang mit der bisherigen Befundlage unterhalb der curricular ausgewiesenen Ziele. Dass dies nicht so sein muss, deutet sich in den positiven Entwicklungsverläufen eines Teils der zu Beginn „leistungsschwächeren“ Auszubildenden an. In didaktischer Perspektive könnte die hohe prädiktive Kraft des Fachwissens für die fachspezifische Problemlösefähigkeit Anlass sein, gegenwärtige didaktische Präferenzen zu überdenken bzw. innerhalb des gegenwärtig dominanten Ansatzes dem Aufbau des relevanten Fachwissens etwas mehr Beachtung zu schenken. Das ist kein Plädoyer für eine erneute Kehrtwende, aber ein Hinweis auf Optimierungspotentiale gegenwärtiger didaktischer Präferenzstrukturen. Aufmerksamkeit verdienen in didaktischer Perspektive auch die Ergebnisse zu den tatsächlich erreichten Kompetenzniveaus, die z.B. bei der Formulierung von Standards berücksichtigt werden sollten und didaktischen Handlungsbedarf anzeigen. Die identifizierten Schwierigkeitsmerkmale geben darüber hinaus wichtige Hinweise für das konkrete didaktische Handeln bzw. zu den Barrieren, die den Auszubildenden Probleme bereiten und deren Bearbeitung vermutlich größere Zeitkontingente und gezielte Förderkonzepte erfordern.

## Literatur

- Abele, S. (2011): Hängt die prognostische Validität eignungsdiagnostischer Verfahren von der Operationalisierung des Ausbildungserfolgs ab? In: Nickolaus, R./Pätzold, G. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. ZBW Beiheft 25. Stuttgart: Steiner, S. 13–36.
- Abele, S., Greiff, S., Gschwendtner, T., Wüstenberg, S., Nickolaus, R., Nitzschke, A. & Funke, J. (2012): Die Bedeutung übergreifender kognitiver Determinanten für die Bewältigung beruflicher Anforderungen – Untersuchung am Beispiel Dynamischen und Technischen Problemlösens. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft (im Druck).
- Beaton, A. E./Allen, N. L. (1992): Interpreting Scales Through Scale Anchoring. In: Journal of Educational Statistics, Jg. 17, H. 2, S. 191–204.
- Dörner, D. (1987): Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart u.a.: Kohlhammer (Kohlhammer Standards Psychologie: Basisbücher und Dokumente), 3. Aufl.
- Funke, J. (2001): Dynamic systems as tools for analysing human judgement. Thinking and reasoning, 7, S. 69–89.
- Funke, J. (2003): Problemlösendes Denken. Stuttgart: Kohlhammer.
- Geißel, B. (2008): Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung: Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In: Nickolaus, R.; Schanz, H. (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren (Diskussion Berufsbildung; Bd. Jg. 9), S. 121–142.
- Geißel, B./Hedrich, M. (2011): Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern. In: Faßauer, U./Aff, J./Fürstenau, B./Wuttke, E. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung und Professionalisierung: Perspektiven der Berufsbildungsforschung. Opladen, Farmington Hills: Barbara Budrich, S. 11–24.
- Greiff, S., Funke, J. (2010): Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. Zeitschrift für Pädagogik, 56 (Beiheft), S. 216–227. Weinheim, Beltz.
- Greiff, S. (im Druck): Individualdiagnostik der Problemlösefähigkeit. Münster: Waxmann.
- Gschwendtner, T., Geißel, B., Nickolaus, R. (2007): Förderung und Entwicklung der Fehleranalysefähigkeit in der Grundstufe der elektrotechnischen Ausbildung. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik-online, Ausgabe 13 ([http://www.bwpat.de/ausgabe13/abstract\\_gschwendtner\\_et\\_al\\_bwpat13.shtml](http://www.bwpat.de/ausgabe13/abstract_gschwendtner_et_al_bwpat13.shtml)).
- Gschwendtner, T. (2008): Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In: Nickolaus, R./Schanz, H. (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren (Diskussion Berufsbildung; Bd. Jg. 9), S. 103–120.
- Gschwendtner, T. (2011): Die Ausbildung zum Kraftfahrzeugmechatroniker im Längsschnitt. Analysen zur Struktur von Fachkompetenz am Ende der Ausbildung und Erklärung von Fachkompetenzentwicklungen über die Ausbildungszeit. In: Nickolaus, R./Pätzold, G. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft 25. Stuttgart: Steiner, S. 55–76.
- Gschwendtner, T./Abele, S./Nickolaus, R. (2009): Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von Kfz-Mechatronikern. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 105, H. 4., S. 557–578.
- Gschwendtner, T./Geißel, B./Nickolaus, R. (2010): Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In: Klieme, E./Leutner, D./Kenk, M.: Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 56. Weinheim u.a.: Beltz, S. 258–269.
- Hartig, J. (2007): Skalierung und Definition von Kompetenzniveaus. In: Beck, B./Klieme, E. (Hrsg.): Sprachliche Kompetenzen. Konzepte und Messung. DESI-Studie (Deutsch Englisch Schülerleistungen International). Weinheim u.a.: Beltz, S. 83–99.

- Hu, L./Bentler, P.M. (1999): Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6, S. 1–55.
- Kane, M. T. (2010): *Errors of measurement, theory, and public policy*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Knöll, B. (2007): Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung. Eine empirische Untersuchung in der Grundausbildung von Elektroinstallateuren. Aachen: Shaker. Stuttgart, Univ., Diss. (Stuttgarter Beiträge zur Berufs- und Wirtschaftspädagogik; Jg. 30).
- Krapp, A./Schiefele, U./Wild, K.-P./Winteler, A. (1993): Der „Fragebogen zum Studieninteresse“ (FSI). In: *Diagnostica*, Jg. 39, H. 4, S. 335–351.
- Lehmann, R./Seeber, S. (2007): Untersuchungen von Leistungen, Motivation und Einstellungen der Schülerinnen und Schüler in den Abschlussklassen der Berufsschlussklassen der Berufsschulen (ULME III). Behörde für Bildung und Sport Hamburg.
- Nickolaus, R. (2011): Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung – Forschungsstand und Perspektiven. In: Zlatkin-Troitschanskaia, O. (Hrsg.): *Stationen empirischer Bildungsforschung*. Wiesbaden: VS-Verlag, S. 331–351.
- Nickolaus, R./Rosendahl, J./Gschwendtner, T./Geißel, B./Straka, G. A. (2010): Erklärungsmodelle zur Kompetenz- und Motivationsentwicklung bei Bankkauffleuten, Kfz-Mechatronikern und Elektronikern. In: Seifried, J./Wuttke, E./Nickolaus, R./Sloane, P. (Hrsg.): *Lehr-Lernforschung in der kaufmännischen Berufsbildung – Ergebnisse und Gestaltungsaufgaben*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft 23. Stuttgart: Steiner, S. 73–87.
- Nickolaus, R./Geißel, B./Abele, S./Nitzschke, A. (2011): Fachkompetenzmodellierung und Fachkompetenzentwicklung bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im Verlauf der Ausbildung – ausgewählte Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In: Nickolaus, R./Pätzold, G. (Hrsg.): *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft 25. Stuttgart: Steiner, S. 77–94.
- Nickolaus, R., Abele, S./Gschwendtner, T. (2012): Valide Kompetenzabschätzungen als eine notwendige Basis zur Effektbeurteilung beruflicher Bildungsmaßnahmen – Wege und Irrwege. In: Niedermaier, G. (Hrsg.): *Kompetenzen entwickeln, messen und bewerten. Linz: Trauner (Schriftenreihe aus Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Bd. 6)*. Nickolaus, R., Gschwendtner, T./Abele, S. (2009): Die Validität von Simulationsaufgaben am Beispiel der Diagnosekompetenz von Kfz-Mechatronikern. Vorstudie zur Validität von Simulationsaufgaben im Rahmen eines VET-LSA. ([http://www.bmbf.de/pub/Abschluss-Bericht\\_Druckfassung.pdf](http://www.bmbf.de/pub/Abschluss-Bericht_Druckfassung.pdf)).
- Nickolaus, R./Geißel, B. (2009): Förderung schwächerer Auszubildender in der schulischen Berufsbildung. Teilprojekt II: Förderung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit in der elektrotechnischen Grundbildung. In: Abschlussveranstaltung Programm Bildungsforschung. Tagungsband. Stuttgart, S. 87–96.
- Nickolaus, R./Gschwendtner, T./Geißel, B. (2008): Modellierung und Entwicklung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Erstausbildung. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, Jg. 104, H. 1, S. 48–73.
- Nickolaus, R./Heinzmann, H./Knöll, B. (2005): Ergebnisse empirischer Untersuchungen zu Effekten methodischer Grundentscheidungen auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in gewerblich-technischen Berufsschulen. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, Jg. 101, H. 1, S. 58–78.
- Nitzschke, A./Geißel, B./Nickolaus, R. (2011): Erfassung von Fachkompetenz bei Elektronikern und deren Prädiktoren über den Verlauf der Ausbildung. In: Fischer, M./Becker, M./Spöttl, D. (Hrsg.): *Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung – Probleme und Perspektiven*. Frankfurt a.M. u.a.: Peter Lang, (Berufliche Bildung in Forschung und Arbeitswelt; Bd. 7), S. 111–128.

- Ploghaus, G. (1967): Unzureichende Fachrechenleistungen metallgewerblicher Lehrlinge. In: Die berufsbildende Schule, 19. Jg., H. 5, S. 345–353; H. 6, S. 412–424; H. 7/8, S. 519–531.
- Prenzel, M./Kristen, A./Dengler, P./Ettle, R./Beer, T. (1996): Selbstbestimmt motiviertes und interessiertes Lernen in der kaufmännischen Erstausbildung. In: Beck, K./Heid, H. (Hrsg.): Lehr-Lern-Prozesse in der kaufmännischen Erstausbildung – Wissenserwerb, Motivierungsgeschehen und Handlungskompetenzen. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft 13. Stuttgart: Steiner, S. 108–127.
- Rosendahl, J./Straka, G. (2011): Kompetenzmodellierungen zur wirtschaftlichen Fachkompetenz angehender Bankkaufleute. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 107, S. 190–217
- Schiefele, U./Krapp, A./Wild, K.-P./Winteler, A. (1993). Der "Fragebogen zum Studieninteresse" (FSI). In: *Diagnostica*, 39, 335–351.
- Schermelleh-Engel/Moosbrugger/Müller (2003): Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and description goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research Online*, 8, S. 23–74.
- Seeber, S. (2008): Ansätze zur Modellierung beruflicher Fachkompetenz in kaufmännischen Ausbildungsberufen. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 104, H. 1, S. 74–97.
- Sonntag, K./Schaper, N. (Hrsg.) (1997): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: vdf Hochschulverlag (Mensch Technik Organisation; Jg. 13).
- Spöttl, G./Becker, M./Museumkamp, F. (2011): Anforderungen an Kfz-Mechatronik und Implikationen für die Kompetenzerfassung. In: Nickolaus, R./Pätzold, G. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Beiheft 25. Stuttgart: Steiner, S. 37–54
- Weiß, R. (1999): Grundintelligenztest CFT 3 Skala 3. Handanweisung für die Durchführung, Auswertung und Interpretation. Göttingen: Hogrefe.
- Weiß, R. (2008): CFT 20-R: Grundintelligenztest Skala 2 – Revision – Göttingen: Hogrefe
- Wilson, M. (2005): Constructing Measures. An Item Response Modeling Approach. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Winther, E./Achtenhagen, F.: (2009): Skalen und Stufen kaufmännischer Kompetenz. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 105, H. 4, 521–556.
- Winther, E./Achtenhagen, F. (2008): Kompetenzstrukturmodell für die kaufmännische Bildung. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 104, H. 4, 511–538.
- Wittmann, W. W. (1988): Multivariate reliability theory. Principles of symmetry and successful validation strategies. In J. R. Nesselroade & R. B. Cattell (Hrsg.): *Handbook of multivariate experimental psychology*. New York: Plenum, S. 505–560
- Winther, E. (2006). Motivation in Lernprozessen. Konzepte in der Unterrichtspraxis von Wirtschaftsgymnasien. Wiesbaden: DUV
- Wosnitza, M./Eugster, M. (2001): MIZEBA: ein berufsfeldübergreifendes Instrument zur Erfassung der betrieblichen Ausbildungssituation? Eine Validierung in der gewerblich-technischen Berufsausbildung. In: *Empirische Pädagogik*, Jg. 15, H. 3, S. 411–427.
- Zimmermann, M./Wild, K.-P./Müller, W. (1999): Das „Mannheimer Inventar zur Erfassung betrieblicher Ausbildungssituationen“ (MIZEBA). In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 95, H. 3, S. 373–402.

Anschrift der Autoren: Prof. Dr. Reinhold Nickolaus, Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart, Tel. 0711/6858-3181, Fax. 0711/6858-3130, nickolaus@bwt.uni-stuttgart.de  
Dipl.-Gwl. Stephan Abele, Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart, Deutschland, Tel: 0711-685-82991, Fax. 0711/6858-3130, abele@bwt.uni-stuttgart.de

Dipl.-Gwl. Tobias Gschwendtner, Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart, Tel. 0711/6858-2998, Fax. 0711/6858-3130, gschwendtner@bwt.uni-stuttgart.de

Dipl.-Gwl. Alexander Nitzschke, Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie, Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart, Tel. 0711/6858-2979, Fax. 0711/6858-3130, gschwendtner@bwt.uni-stuttgart.de

Dr. Samuel Greiff, Psychologisches Institut, Universität Heidelberg, Hauptstraße 47–51, 69117 Heidelberg, Deutschland, Tel: 06221-54 7613, Samuel.greiff@psychologie.uni-heidelberg.de