

Forschungsprojekt 2.2.305 (JFP 2014)

---

## **Messung fachlicher Kompetenzen von Fachkräften im Bereich der Mechatronik und der Elektrotechnik (ProMech)**

Zwischenbericht

**Dr. Agnes Dietzen**

**Stefanie Velten**

**Christine Schwerin (Projektassistenz)**

**Prof. Dr. Reinhold Nickolaus**

**Alexander Nitzschke**

**Annette Maier**

**Laufzeit IV 2014- II 2017**

**Bonn, 27. Juli 2016**

Bundesinstitut für Berufsbildung  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn

Telefon: 0228 / 107 - 1241  
E-Mail: [velten@bibb.de](mailto:velten@bibb.de)

[www.bibb.de](http://www.bibb.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Das Wichtigste in Kürze.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Problemdarstellung.....</b>	<b>5</b>
1.1 Berufliche Kompetenzdiagnostik .....	5
1.1.1 Kompetenzmessung in der beruflichen Aus- und Fortbildung.....	5
1.1.2 Beziehungen zwischen Wissen und Können/Bedeutung Fachwissen und Problemlösefähigkeiten .....	6
1.2 Messmethodische Problemstellungen.....	8
<b>2 Projektziele, Forschungsfragen und Hypothesen/forschungsleitende Annahmen .....</b>	<b>10</b>
2.1 Projektziele und Forschungsfragen.....	10
<b>3 Methodische Vorgehensweise.....</b>	<b>12</b>
3.1 Untersuchungsdesign.....	12
3.2 Stichprobe .....	13
3.3 Testinstrumente .....	13
3.4 Auswertungsstrategien .....	16
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>17</b>
4.1 Heterogenität in der Fortbildung .....	17
4.2 Struktur des Fachwissens zu Beginn der Fortbildung .....	25
4.3 Messung des Fachwissens in unterschiedlichen Zielgruppen und die Frage der Messinvarianz .....	27
4.4 Problemlösefähigkeiten zu Beginn der Fortbildung.....	30
4.5 Einflüsse auf die Fachkompetenz zu Beginn der Fortbildung .....	33
<b>5 Zielerreichung .....</b>	<b>36</b>
<b>6 Ausblick und Transfer.....</b>	<b>37</b>
<b>Veröffentlichungen .....</b>	<b>39</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>40</b>

## Das Wichtigste in Kürze

Ziel des Forschungsprojektes ProMech ist es, die Fachkompetenz bei beruflich Fortgebildeten im Fachbereich Mechatronik und Elektrotechnik zu untersuchen und dabei insbesondere die Rolle der fachlichen Problemlösefähigkeit, d.h. des fachlichen Könnens, in den Blick zu nehmen. Vor dem Hintergrund intensiver Forschungsaktivitäten im Bereich der beruflichen Kompetenzmessung erhält gerade die Unterscheidung zwischen Wissen und Können als zentrale Kernelemente fachlicher Kompetenz neue Aufmerksamkeit. In der empirischen Bildungsforschung wurden bislang schwerpunktmäßig Kompetenzen in der dualen Ausbildung untersucht, die Kompetenzentwicklung nach der Ausbildung im Rahmen einer beruflichen Fortbildung erhielt bislang wenig Aufmerksamkeit und wird daher im vorliegenden Projekt adressiert.

Das Projekt schließt an das BIBB-Forschungsprojekt „Einfluss der betrieblichen Ausbildungsqualität auf die Fachkompetenz bei Mechatronikern und Fachinformatikern (Aqua.Kom)“ an, in dem die Fachkompetenzen von Auszubildenden mittels neu entwickelter Paper-Pencil basierter sowie computerbasierter Testinstrumente untersucht wurden. Im Projekt ProMech werden weitere Zielgruppen einbezogen und damit ein Beitrag zur Analyse der Kompetenzentwicklung nach der dualen Ausbildung geleistet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse der Kompetenzentwicklung angehender Techniker/-innen in vollzeitschulischen Kursen im Bereich Elektrotechnik der beiden Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg sowie auf dual Studierenden in Baden-Württemberg. Für die Instrumentenentwicklung wird auf bisherige Forschungsergebnisse aus dem Bereich der beruflichen Kompetenzdiagnostik zurückgegriffen. Die aus dem Projekt Aqua.Kom sowie einem weiteren Projekt aus der ASCOT-Initiative hervorgegangenen Testinstrumente wurden dafür weiterentwickelt.

Den theoretischen Rahmen des Projektes bildet das CLARION-Modell, welches die Beziehungen zwischen handlungsbezogenem und nicht-handlungsbezogenem Wissen verdeutlicht. Ziel ist es zu klären, welche Rolle explizite Wissensstrukturen für die fachlichen Problemlösefähigkeiten spielen. Die Ergebnisse des Aqua.Kom-Projektes zeigen auf, dass bei Auszubildenden zum/zur Mechatroniker/-in enge Bezüge zwischen Fachwissen und fachlicher Problemlösefähigkeit bestehen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass Auszubildende noch über sehr wenig Berufserfahrung verfügen und ihnen daher die fachlichen Probleme wenig vertraut sind. Vermutet wird, dass sie daher verstärkt auf ihr Wissen zurückgreifen müssen, was sich in den hohen empirischen Zusammenhängen widerspiegelt. Aus theoretischen Überlegungen spielt die Vertrautheit mit den Anforderungssituationen jedoch eine wichtige moderierende Rolle bei den Problemlösefähigkeiten. Daher wird u.a. der Frage nachgegangen werden, ob Berufserfahrene die Problemlösesituationen besser und schneller bewältigen können als die Auszubildenden. Weiterhin sollen Unterschiede in den Fachwissens – und Problemlöseleistungen zwischen Auszubildenden am Ende ihrer Ausbildung, Technikern und Technikerinnen zu Beginn und am Ende ihrer Fortbildung sowie dual Studierenden betrachtet werden. Dadurch sollen Erkenntnisse zur Wissens- und Kompetenzentwicklung nach einer dualen Ausbildung generiert werden, die Hinweise für didaktische Interventionen liefern können.

Neben inhaltlichen Fragestellungen werden in dem Projekt auch messtheoretische Fragen in den Blick genommen. Dabei geht es beispielsweise um Fragen der Eignung der Testinstrumente für verschiedene Zielgruppen aus unterschiedlichen Bildungsgängen (Fortbildung, Ausbildung oder duales Studium), unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Berufserfahrung. Diese Erkenntnisse stellen eine wichtige Voraussetzung für die vergleichende Kompetenzforschung in der Berufsbildungsforschung dar.

Die bisherigen Projektarbeiten umfassten die Anpassung der Instrumente zur Erfassung der Fachkompetenzen, die Auswahl der Stichprobe, die ersten Datenerhebungen sowie erste

Auswertungen. Der vorliegende Zwischenbericht stellt Ergebnisse zur Heterogenität der Stichprobe der Techniker/-innen sowie erste Befunde zu den unterschiedlichen Fachwissens- und Problemlöseleistungen der Fachkräfte dar. Die Problematik der Messbarkeit des Fachwissens in der heterogenen Stichprobe wird thematisiert und empirische Ergebnisse dazu präsentiert. Schließlich zeigen regressionsanalytische Berechnungen, welche Prädiktoren einen Einfluss auf die Fachwissensleistung zu Beginn der Fortbildung ausüben.

# 1 Problemdarstellung

Das erste Kapitel widmet sich dem Hintergrund der beruflichen Kompetenzdiagnostik in Forschung und Politik und erläutert die Bezüge zum Projekt ProMech.

## 1.1 Berufliche Kompetenzdiagnostik

### 1.1.1 Kompetenzmessung in der beruflichen Aus- und Fortbildung

Die Arbeiten zur Modellierung und Messung beruflicher Kompetenzen haben in den letzten Jahren dazu beigetragen, das Feld der beruflichen Kompetenzforschung zu etablieren (BECK/LANDENBERGER/OSER 2016; DIETZEN/NICKOLAUS/RAMMSTEDT/WEIß 2016). Für viele Berufe liegen inzwischen sowohl Kompetenztests als auch empirisch validierte Kompetenzmodelle vor. Perspektivisch richten sich weitere Forschungsaktivitäten darauf, vertiefte Erkenntnisse zu Kompetenzstrukturen und Kompetenzniveaus im Entwicklungsprozess zu gewinnen und diese zur Unterstützung und Verbesserung von Lehr-/Lernprozessen sowie für die Ordnungsarbeit bei der Strukturierung kompetenzorientierter Ausbildungsordnungen und bei der Implementierung ganzheitlicher kompetenzorientierter Prüfungen zu nutzen.

Das in der Bildung traditionell entwickelte breite Kompetenzverständnis der beruflichen Handlungskompetenz als „Bereitschaft und Befähigung, auf der Grundlage fachlichen Wissens und Könnens Aufgaben und Probleme zielorientiert, sachgerecht, methodengeleitet und selbstständig zu lösen und das Ergebnis zu beurteilen“ (KMK 2007, S. 11) wird als vereinbar gesehen mit einer operationalen Begriffsdefinition von Kompetenz, die in der empirischen Bildungsforschung verwendet wird. Der kognitionspsychologische Begriff definiert Kompetenzen als interne Dispositionen und Repräsentationen von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die erlern- und vermittelbar sind sowie grundsätzliche Handlungsanforderungen, die sich innerhalb eines Fachs oder Berufsfelds widerspiegeln (KLIEME/MAAG-MERKI/HARTIG 2007; HARTIG 2008). Durch die zusätzliche getrennte Erfassung von Volition und Motivation ist eine sukzessive empirische Annäherung an das im berufsbildungspolitischen Kontext verwendete normative Konstrukt der beruflichen Handlungskompetenz möglich.

Das Ziel ist es, mittels reliabler und valider Testverfahren möglichst alle Bereiche von fachlichen, sozialen und personalen Kompetenzen berufsbezogen zu messen und damit Möglichkeiten zur zertifikatsunabhängigen Erfassung von Lernergebnissen zu schaffen. Für das konkrete Vorgehen bedeutet dies, dass auf Basis von ausführlichen Anforderungsanalysen zunächst Kompetenzmodelle und daran anschließend Kompetenzmessinstrumente entwickelt werden, mit denen die in den Modellen postulierten Kompetenzdimensionen gemessen werden. An die wissenschaftlich konstruierten Tests werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt, was beispielsweise die Zuverlässigkeit und die Gültigkeit der Messung betrifft, die in Studien nachgewiesen werden müssen.

Seit Beginn der Entwicklung von Kompetenztestverfahren gibt es eine Reihe von Forschungsarbeiten der empirischen Kompetenzmodellierung und –messung, die sich der Entwicklung von entsprechenden Verfahren für den berufsbildenden Bereich widmen (vgl. z.B. LEHMANN/SEEBER/HUNGER/GÄNSFUSS 2005). Insbesondere die BMBF-Förderinitiative ASCOT (Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung) hat zur Entwicklung von computerbasierten Testinstrumenten und Validierungen für ausgewählte Berufe kaufmännisch-verwaltender, gewerblich-technischer und gesundheitlich-pflegerischer Berufsfelder geführt, die sich zwar mehrheitlich auf fachliche Kompetenzdimensionen beziehen, zunehmend aber auch soziale Kompetenzen adressieren (vgl. die Beiträge in BECK/LANDENBERGER/OSER 2016).

Die Testentwicklungen und Kompetenzmodellierungen verdeutlichten, dass eine fachliche Kompetenzmessung die Aspekte „Wissen“, d.h. deklarative Fachwissensbestände und eine

anwendungsbezogene Komponente des fachlichen „Könnens“- womit Bezug genommen wird auf die Fähigkeit, dieses Wissen in wechselnden problemhaltigen Situationen anzuwenden - mit einbeziehen sollte. Empirische Untersuchungen haben die Ausdifferenzierung insbesondere möglicher Subdimensionen des Fachwissens in den Blick genommen. Für den Beruf Mechatroniker/-in liegen diesbezüglich erste Erkenntnisse vor. Diese beziehen sich zwar auf den Zeitpunkt der Zwischenprüfung (also in der Mitte der Ausbildung), doch bereits zu diesem Zeitpunkt wird eine starke Ausdifferenzierung des Fachwissens in eine fünfdimensionale Struktur deutlich, welche sich unterteilt in die Bereiche Grundlagen der Elektrotechnik, Vertiefung im Bereich Elektrotechnik, Grundlagen der Metalltechnik, Vertiefung im Bereich Metalltechnik und den Bereich Steuerungstechnik (vgl. GÖNNENWEIN u.a. 2011). Bisher ist allerdings noch nicht vollständig geklärt, ob die fachliche Problemlösefähigkeit gleichermaßen ausdifferenziert ist und wenn ja, ob die Ausdifferenzierungen dann mit den inhaltlichen Dimensionen des Fachwissens korrespondieren. Befunde, welche für die Berufe Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik und KFZ-Mechatroniker/-in vorliegen, weisen jedoch auch im Bereich der Wissensanwendung auf eine weitere Ausdifferenzierung hin (WALKER/LINK/NICKOLAUS 2015; NICKOLAUS/BEHREND/ABELE 2016).

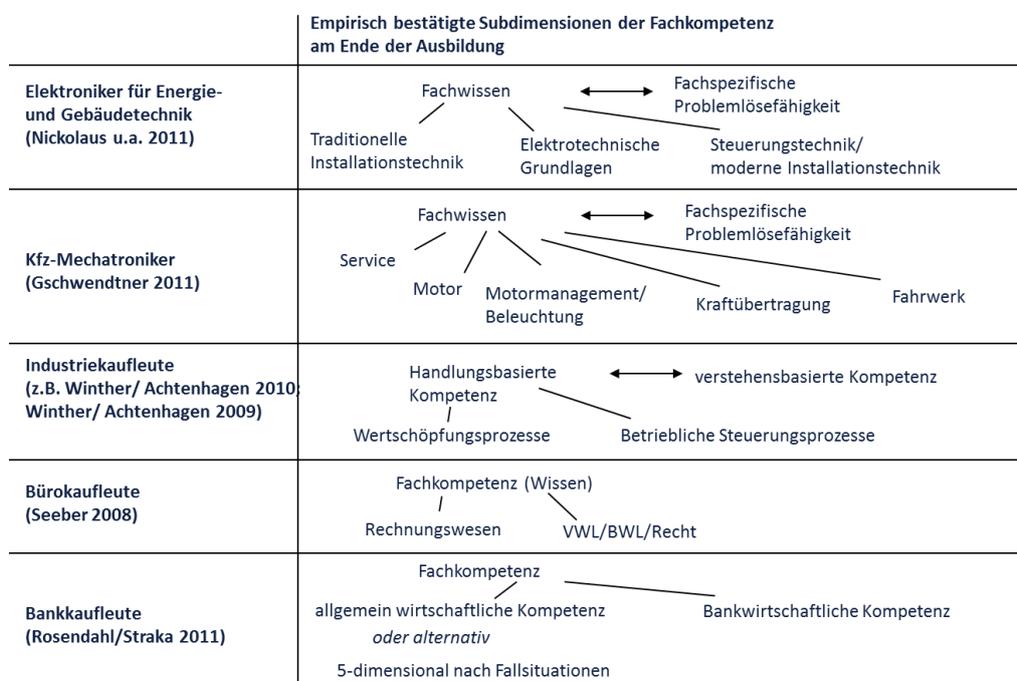


Abbildung 1: Empirisch bestätigte Subdimensionen der Fachkompetenz am Ende der Ausbildung für ausgewählte Berufe (vgl. NICKOLAUS 2011)

### 1.1.2 Beziehungen zwischen Wissen und Können/Bedeutung Fachwissen und Problemlösefähigkeiten

Während die Struktur des Fachwissens in bestimmten Domänen bereits relativ intensiv untersucht wurde und die Bedeutung des Fachwissens für die fachspezifische Problemlösefähigkeit generell weitgehend belegt ist (NICKOLAUS/SEEBER 2013), stehen Untersuchungen darüber, welche Wissensformen und Wissens Elemente in Problemlösungssituationen oder komplexeren Anforderungssituationen handlungsrelevant werden, noch weitgehend aus. Wichtig sind solche tiefergehenden Erkenntnisse zu den Problemlöseprozessen sowohl in didaktischer als auch diagnostischer Perspektive. In didaktischer Perspektive sind daraus Hinweise zu gewinnen, an

welchen Schwellen des Problemlöseprozesses besondere Schwierigkeiten für die Lernenden auftreten, in diagnostischer Perspektive würde eine feinere Modellierung der Problemlöseprozesse zuverlässigere Abschätzungen der erreichten Kompetenzniveaus ermöglichen. Über die empirisch basierte Analyse der Problemlösungsfähigkeiten von berufserfahrenen Personen, beruflich Fortgebildeten und Studierenden in Bachelorstudiengängen lassen sich Wissensstrukturen einschließlich kognitiver Fertigkeiten sowie unterschiedliche Kompetenzniveaus in handlungsrelevanten Problemlösesituationen differenzieren. Auf diese Weise kann die Bildungs- und Ordnungspolitik unterstützt werden, ihre Konzepte auf konsistenten Kompetenzbeschreibungen zu gründen.

Im Projekt greifen wir zur Modellierung des Zusammenhangs zwischen den verschiedenen kognitiven und nichtkognitiven Aspekten berufsfachlicher Kompetenz im Anschluss an ABELE (2013) auf das CLARION Modell zurück (vgl. Abbildung 2). In diesem Modell wird davon ausgegangen, dass die erbrachte Leistung auf der Basis von Handlungswissen zustande kommt. CLARION ist eine kognitive Architektur, welche aus insgesamt vier Subsystemen besteht: (1) dem handlungsbezogenen Wissenssystem, (2) dem nicht-handlungsbezogenen Wissenssystem, (3) dem motivationalen System und (4) dem metakognitiven System. Während sich das handlungsbezogene Wissenssystem auf (motorische oder kognitive) Handlungen bezieht, sind im nicht-handlungsbezogenen Subsystem Wissensbausteine repräsentiert, welche keinen direkten Handlungsbezug aufweisen, aber gleichwohl handlungsrelevant werden können. Die Operationen der beiden genannten Wissenssysteme werden sowohl durch das motivationale Subsystem, welches z.B. die Intensität von Wahrnehmung, Kognition und Handlung bestimmt, als auch durch das metakognitive Subsystem beeinflusst, welches innerhalb der Architektur eine überwachende bzw. steuernde Funktion übernimmt (SUN 2006).

Grundsätzlich gilt nach diesem Modell, dass für jegliche Leistung, d.h. auch für jegliche Testleistung, anforderungsrelevantes Handlungswissen über das metakognitive System aktiviert und dessen Ausführung überwacht wird. Auf das nichthandlungsbezogene Wissen muss dann zurückgegriffen werden, wenn das verfügbare Handlungswissen nicht hinreicht, um die Anforderung zu bewältigen.

Die Erfassung des expliziten nichthandlungsbezogenen Wissens erfolgt üblicherweise mit Hilfe schriftlicher Testverfahren, wobei das Modell deutlich macht, dass in den so erhobenen Leistungsdaten immer auch metakognitive (z.B. die während der Testbearbeitung vollzogenen Kontrollprozesse des eigenen Handelns) und motivationale (z.B. die Testmotivation) Aspekte enthalten sind, die einerseits situationsspezifische (Statekomponente) und andererseits auch situationsübergreifende Komponenten (Traitkomponente) enthalten.

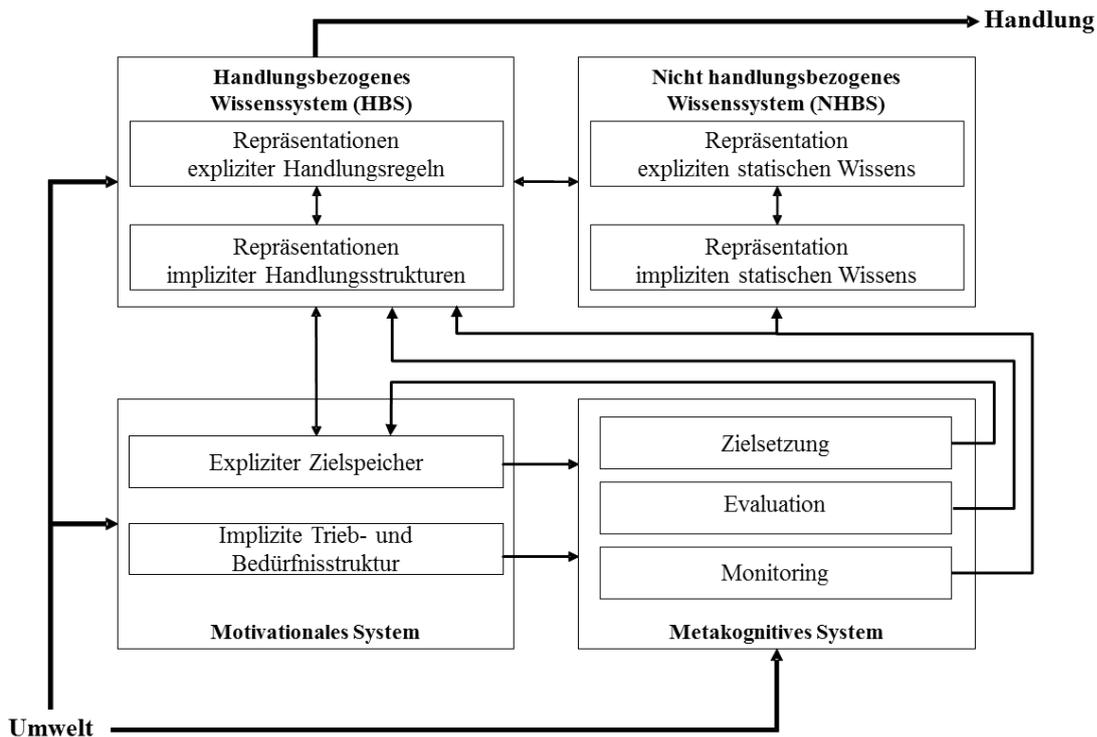


Abbildung 2: CLARION Modell (ABELE 2013, S.37)

Die valide Erfassung des fachlichen Könnens oder der fachlichen Problemlösefähigkeit ist weitaus schwieriger. Beispiel für ein solches fachliches Problem kann z.B. im KFZ-Bereich die Fehleranalyse eines Autos sein, das nicht mehr anspringt. Für eine valide Erfassung von Problemlösefähigkeiten stößt man mit ausschließlich schriftlich basierten Testaufgaben schnell an Grenzen. Alternativ dazu haben sich computergestützte Simulationsverfahren als Methode der Wahl zur Erfassung von Problemlösefähigkeiten erwiesen (WIRTH/FUNKE 2005; BECK/LANDENBERGER/OSER 2016), für die am Beispiel der Kfz-Mechatroniker/-in auch gezeigt werden konnte, dass diese Simulationen geeignet sind, reale Anforderungen abzubilden (GSCHWENDNER/ABELE/NICKOLAUS 2009; NICKOLAUS/GSCHWENDNER/ABELE 2009). Für einzelne Berufe entstanden im Rahmen der ASCOT-Forschungsinitiative Testzuschnitte, die geeignet scheinen, über die Nutzung computerbasierter Testumgebungen das handlungsbezogene Wissen abzuschätzen. Dazu wurden dort unterschiedlich komplexe realitätsnahe Geschäftsvorfälle und Leistungsprozesse abgebildet (BAETHGE/SEEBER 2016).

Für den gewerblich-technischen Bereich liegen bisher aus Aqua.Kom sowie aus ASCOT-Projekten Computersimulationen vor, die jedoch einer Weiterentwicklung und Anpassung an die Projekterfordernisse bedürfen.

## 1.2 Messmethodische Problemstellungen

Im Rahmen des Aqua.Kom-Projektes wurden für die Ausbildungsberufe Fachinformatiker/-in und Mechatroniker/-in Instrumente zur Messung zentraler Subdimensionen der Fachkompetenz entwickelt: Dazu zählen zum einen schriftliche Tests zum Fachwissen zu verschiedenen Zeitpunkten der Ausbildung (vgl. GÖNNENWEIN/NITZSCHKE/SCHNITZLER 2011) und zum anderen computergestützte Tests zur Erfassung der fachbezogenen Problemlösefähigkeit, mit welchen das Leistungsvermögen in authentisch simulierten beruflichen Anforderungssituationen erhoben wurde. Für den Beruf Mechatroniker/-in wurde dafür eine SPS-gesteuerte Anlage simuliert, in welcher aus Werkstücken Hülsen ausgepresst werden sollen. In dieser Anlage wurden verschiedene Fehlerfälle simuliert, in

denen z.B. der Greifer verhakt oder die Materialerkennung der Werkstücke versagt. Die Bearbeitung umfasste sowohl die Lokalisierung des Fehlers inklusive Lösungsvorschlag für die Fehlerbehebung als auch die stichwortartige Dokumentation des Vorgehens bei der Problemlösung. Die Erprobung des Simulationstestes wies allerdings auf einige Schwierigkeiten hin. So war die schriftliche Darstellung des Vorgehens bei der Fehlersuche von vielen Auszubildenden nur oberflächlich und knapp beschrieben worden, weshalb kaum Aussagen bzgl. der individuellen Problemlösestrategien bzw. den Einsatz des Handlungswissens möglich sind. Zudem führte die eingeschränkte Dokumentationsqualität dazu, dass lediglich die absoluten Leistungsdaten (gelöst/nicht gelöst) verlässlich waren und damit über den eigentlichen Problemlöseprozess keine Aussagen möglich waren.

Die Ausführungen verdeutlichen, dass die Computersimulation sowohl aus diagnostischen als auch didaktischen Gründen der Weiterentwicklung bedarf. Eine genauere Erfassung der Lösungswege verspricht in beiden Perspektiven weiterzuführen, zugleich ist für einen breiteren Einsatz die technische Handhabbarkeit zu optimieren. Anzustreben sind auch kürzere Testzeiten, weniger aus testmotivationalen Gründen - die Testmotivation ist in diesen Testumgebungen in aller Regel deutlich besser als bei Papier und Bleistifttests -, sondern weil die Testökonomie dringend verbessert werden muss. Bisher liegen die Bearbeitungszeiten für einzelne komplexe Aufgaben im Bereich von 20 bis 30 Minuten und daher können für eine Testung nur wenige dieser Aufgaben eingesetzt werden. Im Rahmen des Projekts ProMech werden insbesondere Testaufgaben mit kürzeren Bearbeitungszeiten erprobt, welche die Generierung zusätzlicher Leistungsdaten durch die Abbildung von Teilleistungen im Bearbeitungsprozess erlauben.

Die breite Nutzung diagnostischer Verfahren zur Messung beruflicher Fachkompetenzen setzt auch voraus, dass die Testaufgaben und -items für unterschiedliche Zielgruppen anwendbar und Benachteiligungen auszuschließen sind. Wie TEMME und HILDEBRANDT (2008) erläutern, bedeutet dies, „dass die Messbeziehungen zwischen den beobachteten Indikatoren und ihren zugrunde liegenden latenten Variablen in den Gruppen gleich sind“ (ebd. S. 1). So ist davon auszugehen, dass sich in der Fortbildung zum/zur Techniker/-in Fachkräfte mit unterschiedlich umfangreichen beruflichen Erfahrungen sowie unterschiedlichen Ausbildungshintergründen wiederfinden. Ob das Konstrukt „Fachwissen“ für verschiedene Subgruppen gleich gut gemessen werden kann, können nur empirische Untersuchungen zeigen. Gleiches gilt für die Probandengruppen unterschiedlicher Bildungsgänge, d.h. Fortbildende, Auszubildende und Studierende. Auch für diese Gruppen muss empirisch geprüft werden, inwieweit die postulierten Konstrukte in verschiedenen Gruppen dasselbe messen. TEMME und HILDEBRANDT (2008) empfehlen für die empirische Prüfung „ein Prozedere, das sukzessive die Äquivalenz der Faktorstruktur (konfigurale Invarianz), der Faktorladungen (metrische Invarianz), der Konstanten (skalare Invarianz) sowie der Residualvarianzen in den untersuchten Gruppen überprüft“ (ebd. S. 14).

## 2 Projektziele, Forschungsfragen und Hypothesen/forschungsleitende Annahmen

### 2.1 Projektziele und Forschungsfragen

Im Anschluss an die obigen Ausführungen zum Forschungsstand und den im Projekt ProMech adressierten Problemstellungen werden folgende zentrale Forschungsfragen bearbeitet: (1) Bezogen auf beruflich Fortgebildete soll das Verhältnis zwischen Problemlösefähigkeiten und den verschiedenen Wissensformen (explizites Handlungswissen, nichthandlungsbezogenes [fachsystematisches] Fachwissen) beleuchtet werden, (2) Ausgehend von verschiedenen Zielgruppen mit unterschiedlichen Bildungshintergründen sollen erste Erkenntnisse zu möglichen Unterschieden der Fachkompetenz innerhalb sowie zwischen den Subgruppen gewonnen werden. Dabei soll das Projekt im Detail Beiträge zur Klärung folgender Fragen leisten:

1. Ist es möglich, das fachliche Wissen sowie die fachliche Problemlösefähigkeit (Fehleranalysefähigkeit) sowohl bei beruflich Fortgebildeten als auch bei akademisch Ausgebildeten zu erfassen? Und wenn ja, lassen sich Unterschiede hinsichtlich der Kompetenzen von Bachelorstudentinnen und -studenten im Vergleich zu beruflich Fortgebildeten feststellen und worin bestehen diese Unterschiede?
2. Welche Kompetenzunterschiede lassen sich zwischen Personen zum Ende ihrer Ausbildung und berufserfahrenen Personen zu Beginn der Techniker Ausbildung feststellen? Welche Bedeutung hat die Handlungspraxis und Berufserfahrung für die Entwicklung des Fachwissens sowie der berufsfachlichen Problemlösefähigkeit? Welche Erklärungskraft kommt den motivationalen Einflussfaktoren zu?
3. Wie lässt sich die berufsfachliche Problemlösefähigkeit differenziert beschreiben und zwar einerseits hinsichtlich der Beziehungen zwischen den wirksam werdenden verschiedenen Wissensformen<sup>1</sup> und Wissenselementen und andererseits bezogen auf die anforderungsspezifischen Prozesse?
4. Welche Barrieren werden bei den Problembearbeitungen auf unterschiedlichen Leistungsniveaus bedeutsam (und können als Ansatzpunkte zur Optimierung des didaktischen Handelns sowie für die Optimierung der Testzuschnitte genutzt werden)?

Aus den obigen Ausführungen zum Forschungsstand und zum theoretischen Hintergrund lassen sich konkrete Hypothesen ableiten, von denen hier einige exemplarisch aufgeführt werden:

H1: Es lässt sich eine mehrdimensionale Struktur der Fachkompetenz bestätigen, die sich zum einen in einer Differenzierung zwischen Fachwissen und der fachlichen Problemlösefähigkeit zeigt und zum anderen in weiteren Ausdifferenzierungen des Fachwissens.

H2: Aufgrund der anforderungsbezogenen Integration des Fachwissens im Verlauf der Berufstätigkeit zeigt sich bei angehenden Technikern und Technikerinnen eine geringere Ausdifferenzierung des Fachwissens als bei Auszubildenden am Ausbildungsende.

H3: Es besteht ein hoher positiver Zusammenhang zwischen dem Fachwissen und der fachlichen Problemlösefähigkeit. Dieser Zusammenhang wird moderiert durch den Grad der Vertrautheit und die Komplexität der Anforderungssituation. Bei Problemstellungen, für deren Bearbeitung (partiell) bereits auf Vorerfahrungen zurückgegriffen werden kann, zeigen sich schwächere Zusammenhänge als bei unvertrauten Anforderungen, ebenso zeigen sich

---

<sup>1</sup> Bei komplexen Problemlöseprozessen ist im Gegensatz zu Routinehandlungen insbesondere zu erwarten, dass das explizite fachsystematische und explizite handlungsbezogene Wissen relevant werden.

bei wenig anspruchsvollen Problemstellungen schwächere Zusammenhänge zwischen dem Fachwissen und der Problemlösefähigkeit als bei komplexen Anforderungen.

H4: Es zeigen sich Unterschiede im Fachwissen und in der Problemlöseleistung zwischen den verschiedenen Untersuchungsgruppen (Mechatroniker/-in, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik, Techniker/-innen Elektrotechnik, dual Studierende im Bereich Mechatronik).

H5: Es wird angenommen, dass Techniker(schüler/-innen) sowohl am Anfang als auch am Ende der Technikerfortbildung höhere Leistungsniveaus als die Auszubildenden am Ausbildungsende erreichen.

H6: Bei den Studierenden kann vermutet werden, dass sie sowohl höhere Leistungsniveaus im nichthandlungsbezogenen Wissen, als auch in den Fehleranalyseleistungen erreichen, sofern solche Aufgabenzuschnitte in ihren praktischen Tätigkeiten bedeutsam waren.

H7: Die einschlägigen Arbeitserfahrungen erweisen sich als leistungsrelevant für das Fachwissen sowie die Problemlösefähigkeit.

H8: Die Testmotivation erklärt einen Anteil der Leistungsvarianz in allen Kompetenzmessungen.

## 3 Methodische Vorgehensweise

### 3.1 Untersuchungsdesign

Für empirische Untersuchungen der Bezüge verschiedener Wissensformen und Wissens Elemente in Problemlösesituationen sind sowohl qualitative als auch quantitative Zugänge sinnvoll. Aus diesem Grunde wurden verschiedene Erhebungen für das Projekt ProMech geplant.

In einem ersten Schritt stand die Testentwicklung und -anpassung im Mittelpunkt des Interesses. Die vorhandenen Testaufgaben wurden hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für die Untersuchung und Validierung an der beruflichen Praxis beruflich und akademisch Fortgebildeter untersucht. Dies erfolgte durch die Befragung von Experten und Expertinnen sowie Dokumentenanalysen der Curricula.

Schwerpunkt des Projekts bilden quantitative Analysen zu den Fachkompetenzstrukturen, insbesondere zur Beziehung zwischen Fachwissen und fachlicher Problemlösefähigkeit in unterschiedlichen Bildungsgängen sowie erste Analysen zu den Kompetenzentwicklungen im Verlauf der Techniker-Fortbildung. Dafür soll eine Querschnittsstudie einen Vergleich zwischen den Testleistungen von Auszubildenden am Ende ihrer Ausbildung und angehenden Technikern und Technikerinnen zu Beginn der Fortbildung ermöglichen, ein weiterer Vergleich wird zwischen den Leistungen der Techniker/-innen am Ende ihrer Fortbildung sowie dual Studierenden am Ende des Studiums angestrebt. Dadurch ergeben sich vielfältige Vergleichsmöglichkeiten. Darüber hinaus wird für die Techniker/-innen auch eine längsschnittliche Betrachtung der Kompetenzentwicklung möglich. Neben den Analysen zu den Fachkompetenzstrukturen und den Kompetenzentwicklungen soll hierbei insbesondere auch die Rolle der einschlägigen Berufserfahrung für die Leistungen in den Blick genommen werden sowie weitere potenzielle Einflussfaktoren wie die kognitiven Grundfähigkeiten, die Vorbildung und die motivationalen Bedingungen. Aufgrund zu erwartender Selektionseffekte<sup>2</sup> auf die in der Ausbildung erzielten Prüfungsleistungen wird eine Kontrolle der Selektionseffekte angestrebt, indem ergänzend Prüfungsergebnisse am Ende der Ausbildung und retrospektiv Tätigkeitsschwerpunkte zwischen dem Ausbildungsende und dem Beginn der beruflichen Weiterbildung erfasst werden.

In der ursprünglichen Projektplanung war eine qualitative Studie zur Erfassung der Problemlöseprozesse in unterschiedlichen Stadien der Kompetenzentwicklung vorgesehen, um Aufschluss über mögliche Barrieren des Problemlöseprozesses zu erhalten. In der qualitativen Untersuchung sollten mittels der Methode des Lauten Denkens die Problemlöseprozesse von beruflich und akademisch Ausgebildeten näher analysiert werden. Im Mittelpunkt der Analysen sollten die Fragen stehen, welche Strategien bei der Problemlösung zum Einsatz kommen und welche Barrieren bei der Bearbeitung auftreten (siehe Fragestellung 4 in Abschnitt 2.1). Mittels der Methode des Lauten Denkens sollten tiefergehende Strukturen der Problemlösung identifiziert werden können, da sie es erlaubt, Gedanken und Überlegungen bei der Bearbeitung einer Aufgabe offen und ungefiltert zu erfassen, ohne sie zunächst schriftlich formulieren zu müssen. Dadurch sollten auch Informationen (insbesondere das handlungsrelevante Wissen und explizite kognitive Prozesse) erfasst werden, die bei einer schriftlichen Darstellung des Löseprozesses von den Probanden nicht dokumentiert würden. Die ersten Ergebnisse zur Heterogenität der Stichprobe (siehe Abschnitt 4.1) und die Diskussionen im Projektbeirat mit den dort vertretenen Experten lieferten jedoch Argumente dafür, den Fokus des Projekts auf die quantitative Erhebung zu legen und hier insbesondere die Messbarkeit der Kompetenzen in den Blick zu nehmen und dafür auf die qualitative Studie zu

---

<sup>2</sup> Es ist insbesondere zu erwarten, dass eher ehemals überdurchschnittlich leistungsstarke Auszubildende in die berufliche Weiterbildung einmünden.

verzichten<sup>3</sup>. Dabei wurde auf einige methodische Schwierigkeiten bei der Methode des Lauten Denkens hingewiesen, z.B. die eingeschränkte Verbalisierbarkeit komplexer Problemlösestrategien, die ökologische Validität (die Methode des Lauten Denkens wird üblicherweise mit einzelnen Probanden durchgeführt, im beruflichen Alltag ist jedoch ein Arbeiten im Team üblich) sowie der erhebliche Durchführungs- und Auswertungsaufwand<sup>4</sup>. In Absprache mit den Projektbeiratsmitgliedern entschied das Projektteam daher, eine Fokussierung auf die vergleichende Messung der fachlichen Kompetenzen in den unterschiedlichen Gruppen vorzunehmen sowie schwerpunktmäßig Struktur- und Erklärungsmodelle des Fachwissens zu bearbeiten und damit auf die qualitative Studie sowie auf die Klärung der Fragestellung 4 zu verzichten.

### 3.2 Stichprobe

Für die quantitative Studie werden das Fachwissen sowie die fachliche Problemlösefähigkeit in verschiedenen Zielgruppen untersucht. Die Stichprobe sollte sich dabei zum einen aus etwa 100 Auszubildenden am Ende der Ausbildung im Ausbildungsberuf Mechatroniker/-in bzw. Elektroniker/-in der Fachrichtung Automatisierungstechnik zusammensetzen, da davon ausgegangen wurde, dass diese Gruppen später hauptsächlich in die Fortbildung zum/zur Techniker/-in im Bereich Elektrotechnik einmünden.

Weiterhin sollten insgesamt 120 Meister- bzw. Technikerschüler/-innen am Anfang ihrer Fortbildung einbezogen werden. Aufgrund geringer Fallzahlen sowie der curricularen Ausgestaltung der Meisterfortbildung mit einer starken Gewichtung betriebswirtschaftlicher Inhalte wurde jedoch auf die Stichprobe der Meisterschüler/-innen verzichtet und dafür eine größere Stichprobe angehender Techniker/-innen gezogen. Für den akademischen Teil wurden 60-100 Studierende eines dualen Studiums im Fachbereich Mechatronik/Automatisierungstechnik angestrebt. Der Zugang zu den Stichproben erfolgte über die Berufsschulen bzw. Bildungsanbieter für Meister- und Technikerkurse (z.B. etz; IHK Bildungszentren) und über die Dualen Hochschulen bzw. Fachhochschulen. Da sich der Feldzugang im Hochschulbereich als Herausforderung erwies, wurden in dem Projekt exemplarisch lediglich zwei Kohorten Studierender eines Standortes in die Untersuchung einbezogen. Notwendig werden sowohl im Hochschulbereich als auch bei beruflich Fortgebildeten in jedem Falle (finanzielle) Anreize für eine Testteilnahme, da ansonsten erhebliche Probleme bestehen, Probanden zu gewinnen.

### 3.3 Testinstrumente

Für die Erfassung des deklarativen nichthandlungsbezogenen Fachwissens kommen schriftliche Paper-Pencil-Tests zum Einsatz. Als Basis dienen hierbei Aufgaben, die im Rahmen des Vorläufer-Projektes Aqua.Kom mit Hilfe von Experten aus Berufsschulen und Betrieben entwickelt wurden und deren statistische Kennwerte (Schwierigkeiten, Trennschärfen) sich auf Grundlage der Daten von verschiedenen Klassen von Auszubildenden als zufriedenstellend erwiesen. Detailliertere Informationen zur Entwicklung der Fachwissenstests finden sich bei GÖNNENWEIN, NITZSCHKE und SCHNITZLER (2011). Inhaltlich fokussieren die Tests die drei Bereiche Mechanik,

---

<sup>3</sup> Befunde zu Barrieren der Problemlösung in elektrotechnischen Systemen liefern etwa GEIBEL und HEDRICH (2011) für Elektroniker/-innen für Energie- und Gebäudetechnik. Dabei identifizierten sie fünf charakteristische Barrieren, die einer erfolgreichen Problemlösung im Weg stehen: fachliche, methodische, mentale, kausalrelative und emotional-motivationale, von denen sie ausgehen, dass diese Barrieren in einem geordneten Verhältnis zueinander stehen.

<sup>4</sup> Die Protokolle des Lauten Denkens werden zunächst transkribiert und anschließend müssen die umfassenden verschriftlichten Dokumente inhaltsanalytisch ausgewertet werden.

Elektrotechnik/Elektronik und Steuerungstechnik. Abbildung 3 zeigt zwei Beispielaufgaben. Die Fachwissenstests umfassen sowohl geschlossene Multiple-Choice-Aufgaben als auch offene Aufgaben, bei denen die Probanden selbstständig ihre Berechnungen niederschreiben sollen. Die Testdauer umfasst ca. 80 Minuten. Für einen Einsatz bei den unterschiedlichen Zielgruppen und insbesondere zu den unterschiedlichen Erhebungszeitpunkten, z.B. zu Beginn und am Ende der Technikerfortbildung, erfolgt eine Adaption der Tests, um einerseits den für die Weiterbildung relevanten Inhalten gerecht zu werden und andererseits eine Kompetenzmessung auch im oberen Leistungsbereich zu ermöglichen.

**Aufgabe 20**

Es ist die Ablaufsteuerung (AS) für eine hydraulische Presse, mit der Bohrbuchsen in eine Platte gepresst werden, zu entwerfen. Der Ablauf des Pressvorgangs ist wie folgt: Befindet sich eine Buchse auf der Platte (Betätigung von Sensor B1), kann die Anlage mit dem Taster S1 gestartet werden. Der Zylinder fährt dann im Eilgang bis zum Sensor B2 aus. Anschließend findet eine Umschaltung auf Arbeitsvorschub statt. Ist die Bohrbuchse eingepresst (Betätigung von Sensor B3), fährt der Zylinder im Eilgang in die Grundstellung zurück.

In der Abbildung rechts ist die AS des Pressvorgangs gegeben. Ordnen Sie den Kennbuchstaben bitte die dazugehörigen Aktionen (Befehle) und Transitionen (Weiterschaltbedingungen) zu, so dass die Presse ordnungsgemäß funktionieren kann.

<input type="checkbox"/> Zylinder A1 ist zurückgefahren (B1)	<input type="checkbox"/> Zylinder A1 im Eilgang ausfahren
<input type="checkbox"/> Zylinder A1 ist ausgefahren (B2)	<input type="checkbox"/> Zylinder A1 im Eilrücklauf
<input type="checkbox"/> Zylinder A1 ist ausgefahren (B3)	<input type="checkbox"/> Zylinder A1 im Arbeitshub
<input type="checkbox"/> Zylinder in Grundstellung (B1), Buchse vorhanden (B4)	<input type="checkbox"/> Start-Taster S1 betätigt

**Aufgabe 18**

In folgender Abbildung sind der Hauptstromkreis und der Steuerstromkreis einer Wendeschützschaltung zur Drehrichtungsumkehr bei Drehstrommotoren dargestellt.

Abb. 1: Hauptstromkreis und Steuerstromkreis einer Wendeschützschaltung

A) Wie erfolgt schaltungstechnisch die Drehrichtungsumkehr bei Drehstrommotoren?

- Durch eine Dreieck-Verschaltung der zuvor in Stern geschalteten Leiter L1, L2 und L3.
- Durch das Beschalten von L3 auf L2, L2 auf L1 und L1 auf L3.
- Durch das Beschalten von L1 auf L2, L2 auf L3 und L3 auf L1.
- Durch das Vertauschen von zwei Leitern, z. B. L1 und L2.

B) Welche Aufgabe hat der Kontakt von K2 mit der Kennzeichnung 21-22 im Steuerstromkreis (siehe obige Abbildung)?

**Abbildung 3: Beispielaufgaben aus dem Fachwissenstest für die angehenden Techniker/-innen zu Beginn der Fortbildung**

Für die Erfassung des fachlichen Problemlösens wurden verschiedene Testinstrumente hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für die verschiedenen Zielgruppen geprüft. Eine vollständige Neuentwicklung eines Testinstruments kam aufgrund der veranschlagten finanziellen Mittel nicht in Frage und schien auch nicht notwendig. Die in dem Problemlösetest gestellten Aufgaben sollten typische Anforderungen aus dem Berufsfeld einer Technikerin/eines Technikers im Bereich Elektrotechnik sowie dual Studierender im Bereich Elektrotechnik und Mechatronik darstellen. Eine deutschlandweite Befragung von Betrieben im gewerblich-technischen Bereich (ZINKE/SCHENK/KRÖLL 2013) zeigte, dass die in den Betrieben bearbeiteten Aufgaben von Elektronikern und Elektronikerinnen für Betriebstechnik, für Automatisierungstechnik sowie für Mechatroniker/-innen hohe Überschneidungen aufweisen. Das Arbeiten an Anlagen und Maschinen stellt demzufolge für diese Berufe typische Aufgaben dar. Konkreter werden Facharbeiter/-innen in diesen Berufsbildern häufig mit der Reparatur und Wartung elektrotechnischer Anlagen betraut (ebd.). Aus diesen Gründen bietet sich die im ASCOT-Projekt KOKO EA entwickelte Computersimulation SINA (Simulation industriennaher Anlage, siehe Abbildung 4) für diese Zwecke an, mit der eine Anlage zur Zusammensetzung eines Würfels simuliert wird, inklusive der vollständigen SPS-Programmierung der einzelnen Schritte. Typische Störfälle, die sich schwerpunktmäßig auf die Programmierung beziehen,

werden simuliert und sollen von den Probanden identifiziert werden, was eine genaue Analyse der Anlage und ihrer Programmierung erforderlich macht.

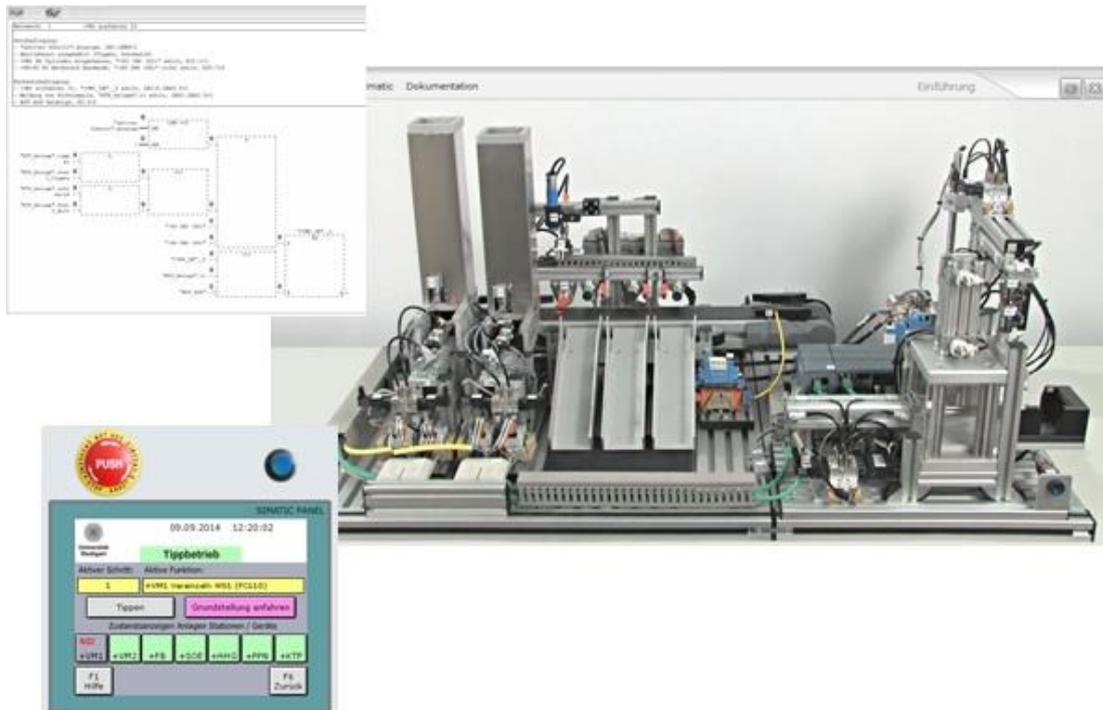


Abbildung 4: Computersimulation zur Erfassung der Problemlösefähigkeiten

Um die Bedeutung weiterer Einflussvariablen zu untersuchen, wurde ein Fragebogen entwickelt, in dem relevante Merkmale wie z.B. einschlägige Berufserfahrungen, bisherige berufliche Tätigkeitsschwerpunkte im Betrieb sowie die Ausbildungsschwerpunkte in der Fortbildung, Prüfungsergebnisse der Ausbildung, Persönlichkeitsmerkmale (Big Five) sowie die Motivation ermittelt werden. Die detailliertere Analyse der Rolle der Motivation stellt einen Schwerpunkt in diesem Projekt dar. Dabei soll versucht werden, die unterschiedlichen Trait- und Statekomponenten der Motivation empirisch zu separieren und zum einen den Einfluss der in der Testsituation vorhandenen Testmotivation zu betrachten und zum anderen die relativ überdauernde Leistungsmotivation zu berücksichtigen. Eine Sichtung vorhandener Instrumente zur Testmotivation resultierte in der Wahl der in der PISA-Studie verwendeten Skala zur Anstrengungsbereitschaft und zur Testattraktivität des On-Line-Motivation-Questionnaire (BOEKAERTS 2002). Leistungsmotivation wurde mit der 10-Item-Fassung der Unified Motive Scale von SCHÖNBRODT und GERSTENBERG (2012) abgebildet, ergänzt um eine Skala zur Schwierigkeitspräferenz aus dem Leistungsmotivationsinventar (SCHULER/PROCHASKA 2001). Darüber hinaus wurden auch konkrete Gründe und Motive für die Wahl einer Fortbildung mittels 13 selbst konstruierter Items abgefragt. Die Messung der Big Five erfolgte mittels des BFI-S (SCHUPP/GERLITZ 2014). Zusätzlich wurde die fluide Intelligenz bzw. die kognitiven Grundfähigkeiten als möglicher Einflussfaktor auf die Fachkompetenz mit dem CFT 3 (WEIß 1971) gemessen.

### 3.4 Auswertungsstrategien

Je nach Fragestellung kommen für die Auswertungen unterschiedliche Auswertungsstrategien zum Einsatz. Zur Beschreibung der Stichprobe sowie der in der Befragung eingesetzten Skalen werden Häufigkeitsverteilungen, Mittelwerte und Korrelationen berechnet. Erste Vergleiche der Testleistungen sowie der motivationalen Voraussetzungen und der unterschiedlichen Persönlichkeitsmerkmale in den verschiedenen Untersuchungsgruppen werden mit Varianzanalysen statistisch abgesichert. Welche der verwendeten Prädiktoren einen besonderen Einfluss auf die Fachkompetenz ausüben, wird regressionsanalytisch geprüft.

Die Lösungsquoten des Fachwissenstests sowie des Tests zur Erfassung der Problemlösefähigkeiten können ebenso zunächst deskriptiv dargestellt werden. Anschließend werden die Items nach der Item-Response-Theorie in einem 1-parametrischen Partial-Credit-Modell skaliert. Die Item-Response-Theorie stellt eine Weiterentwicklung der klassischen Testtheorie dar. Dabei werden explizit Annahmen über die Beziehung zwischen den Testantworten und den dahinter liegenden latenten Konstrukten der Probanden getroffen. Mit diesem Verfahren ist es möglich, für jede Person eine individuelle Schätzung ihrer latenten Fähigkeit vorzunehmen (RAUCH/HARTIG 2012).

Die Analyse der Strukturmodelle erfolgt mittels konfirmatorischer Faktorenanalysen und Strukturgleichungsmodellen. Um Strukturmodelle des Fachwissens sowie der Problemlösefähigkeit zu untersuchen, werden zunächst für die beiden latenten, d.h. nicht beobachtbaren und nicht direkt messbaren, Konstrukte Messmodelle aufgestellt. Messmodelle beziehen sich auf die Beziehung einer theoretisch postulierten latenten Variablen (dem interessierenden Konstrukt, wie z.B. dem Fachwissen) und den manifesten Indikatoren des Konstrukts. Die Indikatoren stellen dabei zumeist die einzelnen Items eines Tests oder einer Skala dar (vgl. REINECKE 2005). Mit konfirmatorischen Faktorenanalysen werden die aufgestellten Modelle anschließend geprüft. In Abgrenzung zur exploratorischen Faktorenanalyse, „setzt die konfirmatorische Faktorenanalyse ein theoretisches Modell voraus und setzt damit a priori fest, welche manifesten Variablen eindeutig als Messungen der postulierten Faktoren gelten“ (REINECKE 2005, S. 134/135).

Die linearen Zusammenhänge mehrerer latenter Variablen und Konstrukte können dann mit Strukturgleichungsmodellen untersucht werden. Dabei verbinden Strukturgleichungsmodelle die Ideen der konfirmatorischen Faktorenanalyse mit denen der Pfadanalyse. Zusätzlich wird ein theoretisches Modell bezüglich der Zusammenhänge der Konstrukte zugrunde gelegt. In einem Strukturgleichungsmodell können die Beziehungen zwischen den latenten Konstrukten messfehlerbereinigt geschätzt werden. Zur Bewertung der Modellgüte werden verschiedene Fit-Indices herangezogen, die Aufschluss über die Abweichung des aufgestellten Modells mit den empirischen Daten geben. Zu den in Studien üblicherweise verwendeten Fit-Indices gehören die Chi-Quadrat-Statistik, der Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) sowie der Comparative Fit Index (CFI). Die jeweiligen Werte werden zumeist auf Basis der Grenzwerte nach HU und BENTLER (1999) evaluiert.

Schließlich werden die Fragen nach der Messbarkeit der latenten Konstrukte in unterschiedlichen Untersuchungsgruppen mit Mehrgruppenvergleichen konfirmatorischer Faktorenanalysen beantwortet.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden werden einige erste Ergebnisse des Projekts dargestellt. Dabei wird zunächst die Stichprobe der angehenden Techniker/-innen in den Blick genommen (Abschnitt 4.1). Hier wird insbesondere auf die Zusammensetzung der Stichprobe eingegangen sowie deren kognitive und motivationale Voraussetzungen. Für diese Zielgruppe wird dann in Abschnitt 4.2 eine erste Skalierung der Testitems des Fachwissens nach der Item-Response-Theorie vorgestellt. Das Thema Messinvarianz wird in Abschnitt 4.3 angeschnitten und erste Auswertungen dazu präsentiert. Abschnitt 4.4 thematisiert die Problemlösefähigkeiten der angehenden Techniker/-innen. Schließlich folgt in Abschnitt 4.5 eine Regressionsanalyse zur Relevanz verschiedener Einflussfaktoren wie Berufserfahrung und Motivation für das Fachwissen zu Beginn der Technikerfortbildung.

### 4.1 Heterogenität in der Fortbildung

Aus Daten der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012 geht hervor, dass 7,6 Prozent der Erwerbstätigen über einen Fortbildungsabschluss verfügen. Dabei weisen Männer zumeist einen Meister- oder Technikerabschluss auf, Frauen einen kaufmännischen Abschluss (HALL 2014). Nach dem Berufsbildungsgesetz soll eine berufliche Fortbildung es ermöglichen, „[...] die berufliche Handlungsfähigkeit zu erhalten und anzupassen oder zu erweitern und beruflich aufzusteigen“ (§1 Abs. 4 BBiG). Für TILLMANN und BLÖTZ (2002, S. 25) stellt eine Fortbildung die „Qualifikationsgrundlage für die Übernahme von Aufgaben größerer Komplexität sowie größerer Entscheidungs- und Verantwortungsspielräume, vorwiegend für Absolventen des dualen Systems“ dar.

Wie WEIß (2014) erläutert, haben Fortbildungsabschlüsse durch den Deutschen Qualifikationsrahmen (DQR) eine Aufwertung erfahren. Der Abschluss als staatlich anerkannte/r Techniker/-in wird demzufolge auf Niveau 6 verortet und damit auf demselben Niveau wie Bachelorabschlüsse. Eine aktuelle Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln (FLAKE/WERNER/ZIBROWIUS 2016) liefert Befunde dazu, dass beruflich Fortgebildete vergleichbare Karrierechancen in Unternehmen haben wie Bachelorabsolventinnen und -absolventen und sogar häufiger Führungsverantwortung übertragen bekommen. Die Bedeutung der Fortbildungsabschlüsse spiegelt sich auch im Einkommen wider. Entsprechend erzielen Personen mit einem Fortbildungsabschluss einen Einkommensvorteil von 125 Prozent gegenüber Personen mit einer Berufsausbildung (HALL 2013).

Wie die Ausführungen zeigen, wird der Fortbildung eine hohe Bedeutung zugeschrieben. Unklar ist jedoch, wie genau die fachliche Kompetenzentwicklung während einer Fortbildung befördert wird und welche Kompetenzniveaus am Ende tatsächlich erzielt werden. Weiterhin fehlen Daten zur Zusammensetzung der in eine Fortbildung einmündenden Personen. Diesen und weiteren offenen Fragen widmet sich das Projekt ProMech.

Für die Stichprobe der angehenden Techniker/-innen wurden im Projekt zum ersten Erhebungszeitpunkt im Spätsommer 2015 Daten in insgesamt 15 vollzeitschulischen<sup>5</sup> Fachschulklassen an 13 Schulen in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg erhoben. Tabelle 1 gibt eine Übersicht zur Stichprobe. Insgesamt liegen nach der ersten Erhebung Daten von 325 Technikerschülern und -schülerinnen vor. Davon weisen vier Fälle lediglich Daten aus dem Test zur Problemlösefähigkeit und keine weiteren Angaben zum soziodemografischen Hintergrund auf, weshalb sie im Folgenden nicht weiter betrachtet werden. Bei sieben Teilnehmenden war die

---

<sup>5</sup> Aus zeitlichen Gründen erfolgte im Projekt eine Fokussierung auf die vollzeitschulischen Klassen, da hier gewährleistet werden kann, dass sowohl zu Beginn als auch am Ende der zweijährigen Fortbildung Daten erhoben werden können und damit Aussagen zu Kompetenzentwicklungen möglich sind. Für die vierjährige Teilzeitausbildung kann dies im Rahmen des Projekts leider nicht ermöglicht werden.

Teilnahmebereitschaft äußerst fraglich bzw. nicht in wünschenswerter Weise gegeben, weshalb deren Angaben ebenfalls aus den weiteren Berechnungen ausgeschlossen wurden.

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die Fortbildungsteilnehmenden zu Beginn der Fortbildung im Durchschnitt 25 Jahre alt sind und über dreieinhalb Jahre Berufserfahrung verfügen, wobei die Angaben zur einschlägigen Berufserfahrung von 0 bis 24 Jahren reichen und damit eine große Spannweite abdecken. Fast Dreiviertel der Befragten verfügt über einen mittleren Schulabschluss. Ein Fünftel gab die (Fach-) Hochschulreife als höchsten Schulabschluss an. Der weitaus größte Teil der Befragten war männlich, weshalb aus Datenschutzgründen auf eine Erfassung und Auswertung nach Geschlecht verzichtet wurde.

**Tabelle 1: Stichprobe der angehenden Techniker/-innen der ersten Erhebung**

Bruttostichprobe	Ausgeschlossen*	Nettostichprobe	Alter	Schulabschluss				Berufserfahrung
				Hauptschule	Realschule	(Fach-) Hochschulreife	Sonstiges/ fehlend	
325	11	314	25,3 (SD 4,8)	16	227	62	9	3,5 (SD 3,2)
	3,4%	96,6%		5,1%	72,3%	19,7%	2,9%	

Anmerkungen: \*Ausschluss der Fälle, bei denen eine mangelnde Teilnahmebereitschaft deutlich wurde oder bei denen bislang nur Daten zur Problemlöseleistung vorliegen.

Neben allgemeinen Angaben zur Schulbildung baten wir die Befragten anzugeben, welche Ausbildung sie vorher absolviert haben. Von den 314 Befragten machten 270 (86%) Angaben zu ihrem Ausbildungshintergrund. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Nennungen. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, wurden von den angehenden Technikern und Technikerinnen insgesamt 22 verschiedene Ausbildungsberufe genannt. Dies zeigt deutlich, dass die Vorbildung der angehenden Techniker/-innen eine hohe Heterogenität aufweist. Ein Drittel der Befragten verfügt demzufolge über einen Abschluss als Elektroniker/-in für Energie- und Gebäudetechnik, fast 20 Prozent über einen als Elektroniker/-in für Betriebstechnik, sowie jeweils rund 10 Prozent über einen Abschluss als Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik, Mechatroniker/-in oder Elektroniker/-in für Geräte und Systeme. Obwohl die Daten keinesfalls Repräsentativität beanspruchen, lässt sich dennoch erkennen, mit welcher unterschiedlichen Vorbildungen und Vorwissen die Fortbildungsteilnehmer/-innen die Fortbildung beginnen.

Für die weiteren Auswertungen erscheint eine Gruppierung der angehenden Techniker/-innen entsprechend ihrer Vorbildung sinnvoll, da davon ausgegangen wird, dass hier substantielle Unterschiede im Vorwissen und in den beruflichen Erfahrungen vorliegen. Dabei wird mit Bezug auf die Analysen von NICKOLAUS und GEIBEL (2009a) sowie die von ZINKE, SCHENK und KRÖLL (2013) eine Zusammenfassung in eine Gruppe von Elektroniker/-innen im Bereich der Industrie, bestehend aus den Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik, für Betriebstechnik sowie den Mechatroniker/-innen vorgenommen. Die zweite Gruppe umfasst Elektroniker/-innen im Handwerk. In diese Gruppe werden die Fortbildungsteilnehmenden mit einer abgeschlossenen Ausbildung als Elektroniker/-innen für Energie- und Gebäudetechnik, als Elektromonteur/-installateur/-innen sowie als Elektroniker/-innen für Gebäude und Infrastruktursysteme subsummiert. Die übrigen Probanden werden in einer Gruppe der sonstigen Ausbildungsberufe zusammengefasst. Demzufolge werden für

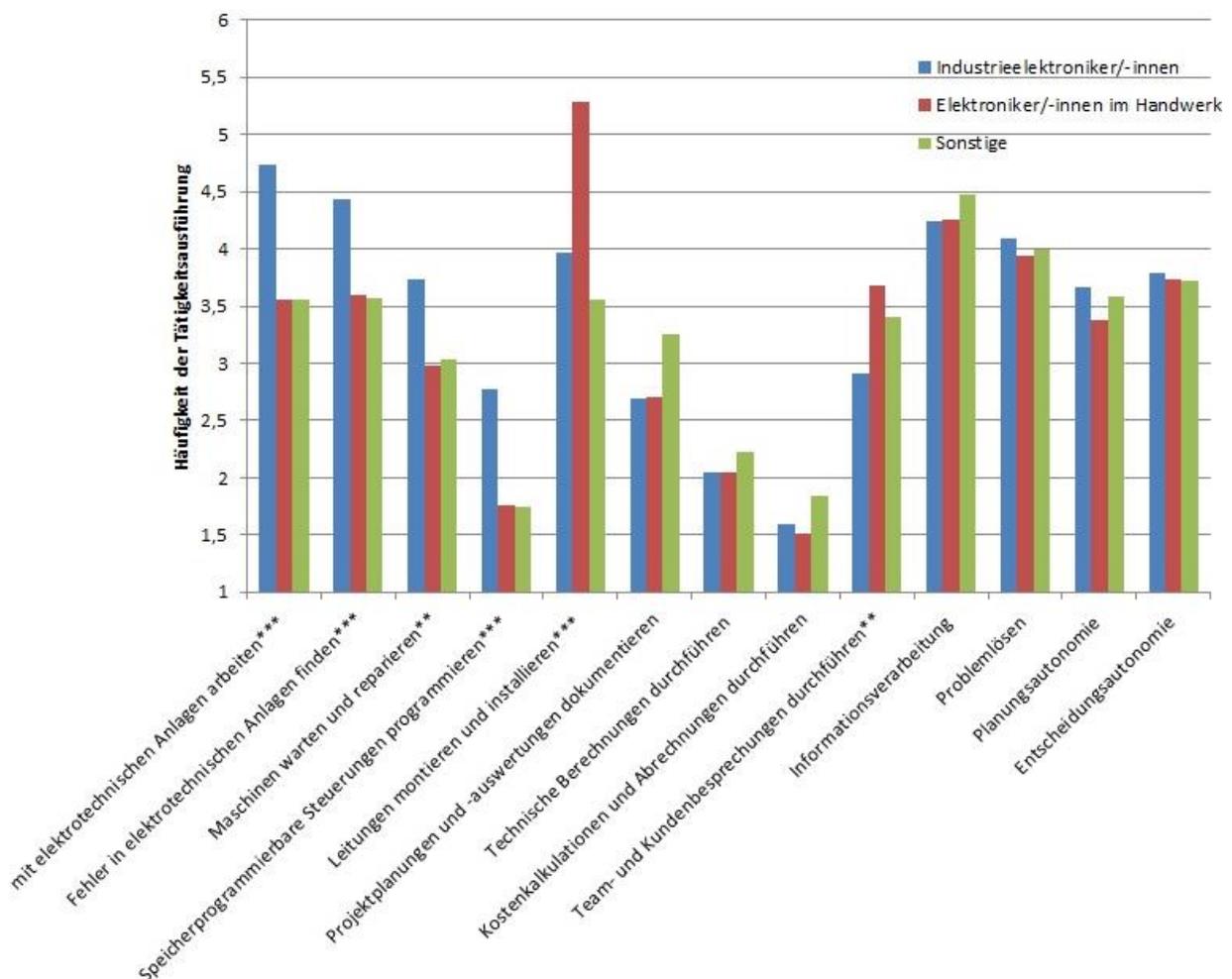
die folgenden Auswertungen die drei Gruppen der Industrieelektroniker/-innen (N=111), der Elektroniker/-innen im Handwerk (N=101) und derjenigen mit sonstigen Vorbildungen (N=58) vergleichend betrachtet.

**Tabelle 2: Ausbildungshintergrund der befragten angehenden Techniker/-innen**

Ausbildungsberuf	N	% der Befragten die Angaben machten
Elektroniker/-in für Energie- und Gebäudetechnik	89	33
Elektroniker/-in für Betriebstechnik	48	17,8
Mechatroniker/-in	27	10
Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik	35	13
Elektroniker/-in für Geräte und Systeme	25	9,3
Technische/r Zeichner/-in	2	0,7
Elektromonteur und -installateur	11	4,1
Elektroniker/-in für Informations- und Telekommunikationstechnik	7	2,6
Elektroniker/-in für Maschinen- und Antriebstechnik	2	0,7
KFZ-Mechatroniker/-in	6	2,2
Elektroniker/-in für Informations- und Systemtechnik	2	0,7
Industrieelektroniker in Fachrichtung Produktionstechnik	1	0,4
IT-System-Elektroniker/-in	2	0,7
Energieelektroniker/-in	5	1,9
Industrieelektriker/-in – Geräte und Systeme	1	0,4
Elektroniker/-in – Gebäude und Infrastruktursysteme	1	0,4
Elektrotechnische/r Assistent/-in	2	0,7
Fernmeldehandwerker/-in	1	0,4
Elektroniker/-in	1	0,4
Elektroniker/-in für Anlagentechnik	1	0,4
KFZ-Mechatroniker/-in und Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik	1	0,4
Gesamt inkl. Angaben zum Ausbildungsberuf	270	100

Wie aus der Betriebsbefragung von ZINKE, SCHENK und KRÖLL (2013) deutlich wurde, unterscheiden sich die Tätigkeiten von Elektroniker/-innen entsprechend ihrer Einsatzbereiche. Fachkräfte im Bereich Automatisierungstechnik, Betriebstechnik und Mechatronik sind den Ergebnissen der

Befragung zufolge vergleichsweise häufiger mit der Wartung und Reparatur sowie der Programmierung von technischen Anlagen und Maschinen betraut. In unserer Befragung baten wir die angehenden Techniker/-innen einzuschätzen, wie häufig sie verschiedene Aufgaben während ihrer beruflichen Tätigkeit der letzten fünf Jahre ausgeübt haben. Abbildung 5 gibt die Häufigkeit an, mit der verschiedene Aufgaben während der vergangenen beruflichen Tätigkeiten bewältigt wurden. Zusätzlich wurden drei Skalen aus der deutschen Fassung des Work Design Questionnaires (STEGMANN u.a. 2010) hinzugezogen, mit denen die Befragten die kognitiven Anforderungen ihrer beruflichen Tätigkeiten einschätzen sollten. Anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse wurden die Gruppenunterschiede statistisch abgesichert.



Anmerkung: ANOVA statistisch signifikant auf \*\*\*  $p < .001$  \*\*  $p < .01$  \*  $p < .05$

**Abbildung 5: Tätigkeiten und Anforderungen der angehenden Techniker/-innen bei ihrer letzten beruflichen Tätigkeit**

Die Ergebnisse aus Abbildung 5 zeigen, dass Industrieelektroniker/-innen deutlich häufiger angeben, in der Vergangenheit mit elektrotechnischen Anlagen gearbeitet zu haben, Fehler in diesen Anlagen zu identifizieren, Maschinen zu warten und zu reparieren sowie Steuerungen zu programmieren. Dabei dokumentieren post hoc Scheffé-Tests<sup>6</sup> signifikante Abweichungen zu den beiden anderen

<sup>6</sup> Während mit einer einfaktoriellen ANOVA lediglich insgesamt die Gruppenunterschiede auf Signifikanz geprüft werden, können mit Scheffé-Tests im Nachhinein (post hoc) Aussagen zu Unterschieden zwischen einzelnen Gruppen gemacht werden.

Gruppen. Team- und Kundenbesprechungen führen Industrieelektroniker/-innen hingegen seltener als die beiden anderen Gruppen. Dabei weist der Scheffé-Test lediglich einen signifikanten Unterschied bei der Durchführung von Besprechungen zwischen den Elektronikern und Elektronikerinnen in Industrie und Handwerk aus. Demgegenüber geben die Elektroniker/-innen im Handwerk an, sehr häufig Leitungen montiert und installiert zu haben und dieser Unterschied zu den beiden anderen Gruppen ist auch statistisch bedeutsam. Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zeigen sich für die kognitiven Anforderungen der Informationsverarbeitung, des Problemlösens, sowie der Planungs- und Entscheidungsautonomie.

Die Ergebnisse der Befragten bestätigen die von ZINKE, SCHENK und KRÖLL (2013) gefundenen Unterschiede in den Tätigkeiten von Industrieelektronikern und -elektronikerinnen. Für die Fachkräfte aus dem Handwerk ergeben sich hingegen breitere Erfahrungen mit dem Montieren und Installieren von elektrischen Leitungen. Bezüglich der Einschätzung der kognitiven Anforderungen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Obwohl davon ausgegangen werden kann, dass die Fehleranalyse in technischen Maschinen und Anlagen mit hohen kognitiven Anforderungen insbesondere an die Problemlösefähigkeit verbunden ist, weichen die Einschätzungen der Industrieelektroniker/-innen zu den kognitiven Anforderungen nicht von denen der anderen Fachkräfte ab. Ursächlich könnten dafür verschiedene Gründe sein: Beispielsweise könnten Probanden mit unterschiedlichen Kompetenzausprägungen verschiedene Referenzrahmen entwickelt haben (Leistungsstärkere schätzen hohe Anforderungen gegebenenfalls ähnlich ein wie Leistungsschwächere niedrigere Anforderungen). Eine weitere Begründung wäre, dass die Probanden ihre Einschätzung auf unterschiedliche Anforderungskontexte beziehen, die ähnliche kognitive Anforderungen aufweisen. Zu prüfen wäre dies nur im Rückgriff auf systematische Anforderungsanalysen.

Die unterschiedlichen Ausbildungshintergründe legen die Vermutung nahe, dass die angehenden Techniker/-innen zu Beginn ihrer Fortbildung auch über heterogenes Vorwissen und möglicherweise auch über heterogene kognitive Leistungsfähigkeiten verfügen.

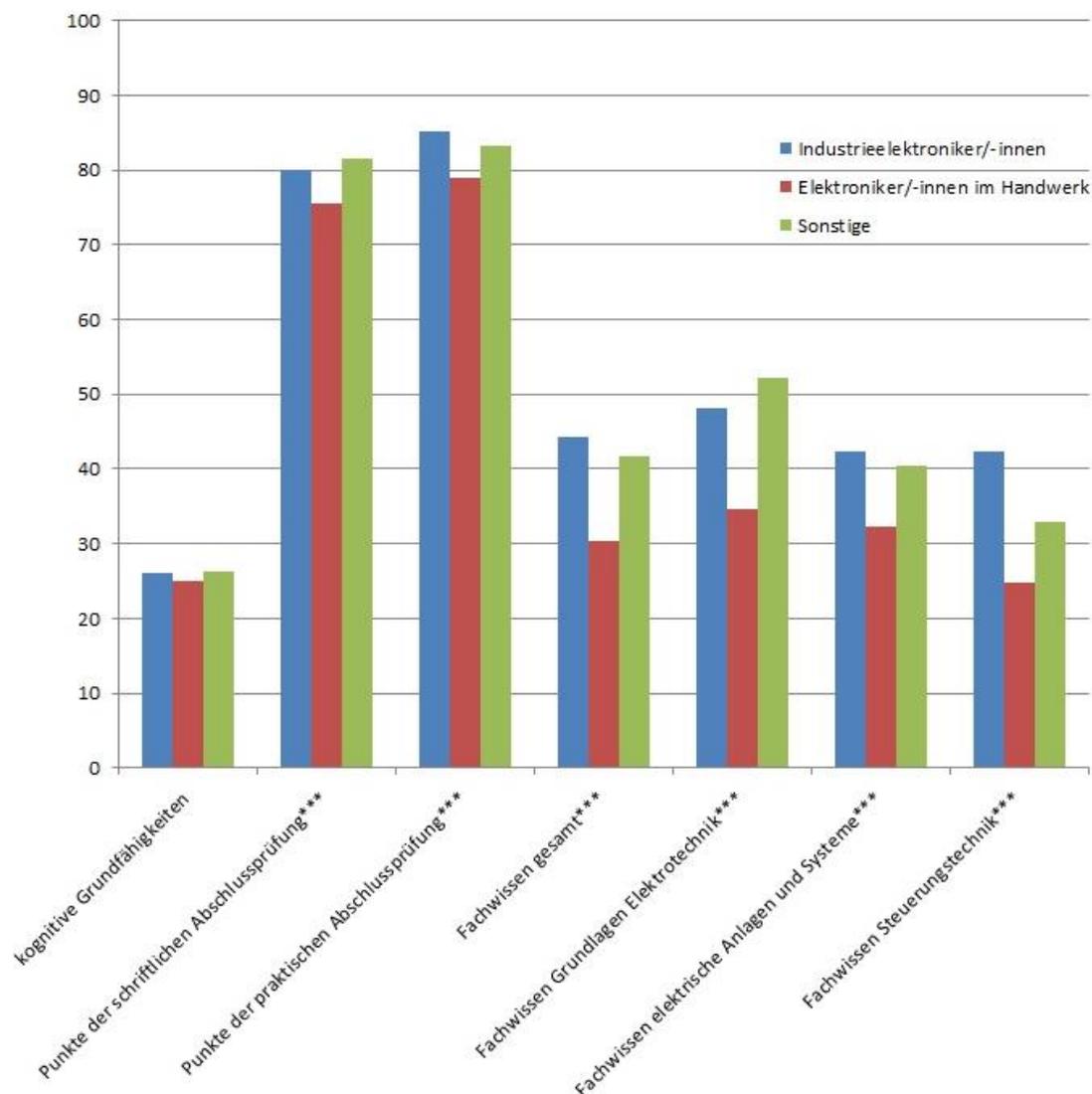
Dieser Frage wurde nachgegangen, indem verschiedene Merkmale der kognitiven Voraussetzungen der Befragten verglichen wurden (siehe Abbildung 6). So wurden die angehenden Techniker/-innen zum einen gebeten, Angaben zu den erzielten Punkten im schriftlichen und praktischen Teil ihrer Abschlussprüfung zu machen. Darüber hinaus absolvierten alle Befragten beim ersten Erhebungstermin einen kurzen Test zum schlussfolgernden Denken (CFT 3, WEIß 1971), der häufig als Indikator für die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten oder auch die fluide Intelligenz verwendet wird. Der Fachwissenstest (siehe auch Abschnitt 3.3) zielte darauf ab, das fachspezifische Vorwissen zu messen. Dabei können gemäß der Analysen in 4.2 drei Dimensionen des Fachwissens unterschieden werden: das Wissen zu den Grundlagen der Elektrotechnik, das Wissen zu elektrischen Anlagen und Systemen sowie Wissen aus dem Bereich der Steuerungs- und Regelungstechnik.

Abbildung 6 zeigt auf, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in den kognitiven Grundfähigkeiten gibt. Kleinere, jedoch statistisch signifikante Unterschiede zeigen sich bei den Ergebnissen der Abschlussprüfungen. Sowohl im schriftlichen als auch im praktischen Prüfungsteil schnitten die Elektroniker/-innen im Handwerk etwas schlechter ab. Der Scheffé-Test weist jedoch nur für den praktischen Prüfungsteil einen signifikanten Unterschied zwischen Elektronikern und Elektronikerinnen in Industrie und Handwerk aus.

Die Unterschiede beim fachspezifischen Wissen offenbaren hingegen weitaus deutlichere Gruppenunterschiede. Während die Industrieelektroniker/-innen im Durchschnitt 44 Prozent der Fachwissensaufgaben korrekt lösen können, gelingt den Elektronikern und Elektronikerinnen im Handwerk die Lösung von nur durchschnittlich 30 Prozent der Aufgaben. Auch in den einzelnen Fachwissensdimensionen bleiben letztere deutlich hinter den anderen beiden Gruppen zurück. Die

Industrieelektroniker/-innen lösen insgesamt die meisten Aufgaben des Fachwissenstests richtig, besonders deutlich ist ihr Vorsprung im Bereich Steuerungs- und Regelungstechnik. Etwas schlechter als die Gruppe der sonstigen Ausbildungsberufe schneiden sie jedoch in den Grundlagen der Elektrotechnik ab. Ein post hoc durchgeführter Scheffé-Test zeigt hier jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Elektronikern und Elektronikerinnen mit industriellem und sonstigem Ausbildungshintergrund.

Die geäußerte Vermutung zu den heterogenen kognitiven Voraussetzungen der Fortbildungsteilnehmenden können anhand der Daten teilweise bekräftigt werden. Zwar liegen keine Unterschiede in den kognitiven Grundfähigkeiten vor, jedoch mitunter deutliche Fachwissensunterschiede. Daraus lassen sich weitere Fragen für den Kompetenzentwicklungsverlauf in der Fortbildung generieren, beispielweise inwiefern die vorhandenen Wissensunterschiede auch noch am Ende der Fortbildung bestehen bleiben oder ob es zu einer Angleichung des Fachwissens kommt. Die Daten machen auch deutlich, dass die Lehrkräfte in den Fachschulen hier vor große Herausforderungen gestellt sind, mit den unterschiedlichen Voraussetzungen umzugehen, um eine Kompetenzentwicklung aller zu ermöglichen.



Anmerkung: ANOVA statistisch signifikant auf \*\*\*  $p < .001$  \*\*  $p < .01$  \*  $p < .05$ , Angaben zur Abschlussprüfung basieren auf  $N=206$ , alle weitere Analysen auf  $N=270$

**Abbildung 6: Leistungen der angehenden Techniker/-innen zu Beginn der Fortbildung**

Neben kognitiven Leistungsvoraussetzungen spielen bei der Kompetenzentwicklung auch motivationale Merkmale eine bedeutsame Rolle (WEINERT 1980; PRENZEL u.a. 1996). Dabei lassen sich Merkmale überdauernder Trait-Motivation wie beispielsweise Leistungsmotivation oder Gewissenhaftigkeit (in der neben dem Konstrukt Ordnung [order] auch das Konstrukt des Leistungsstrebens [achievement] integriert ist [ONES u.a. 2007]), von der stärker auf die aktuelle Situation bezogenen State-Motivation (beispielsweise Testmotivation) abgrenzen. Im Projekt ProMech wurden sowohl Merkmale überdauernder Trait-Motivation als auch situative motivationale Einflüsse erfasst. Neben der Erfassung globaler Motivationsmerkmale wurden auch konkrete Motive und Beweggründe für die Teilnahme an der Fortbildung erfragt.

Abbildung 7 zeigt sowohl die Ergebnisse zur Leistungsmotivation, zur Gewissenhaftigkeit als auch zu einigen zentralen Fortbildungsmotiven der Studienteilnehmer/-innen. Dabei wird deutlich, dass hier durchweg im Gegensatz zu den kognitiven Leistungsvoraussetzungen keine statistisch bedeutsamen Gruppenunterschiede vorliegen. Alle Befragten geben im Durchschnitt an, hoch leistungsmotiviert und gewissenhaft zu sein. Bei den konkreten Motiven für die Wahl der Fortbildung wird insbesondere das Motiv des beruflichen Aufstiegs genannt, dicht gefolgt von dem Wunsch, die eigenen Kenntnisse zu vertiefen. Damit decken sich die Ergebnisse mit Befunden von GROTLÜSCHEN und KUBSCH (2010), die durch Interviews mit Fortgebildeten im kaufmännischen Bereich dokumentieren, dass das Absolvieren einer Fortbildung vor allem mit der Hoffnung auf verbesserte Aufstiegs- und Verdienstmöglichkeiten verknüpft ist. Gleiches zeigt sich in einer Umfrage des Deutschen Industrie- und Handelskammertages unter Fortbildungsabsolventen (DIHK 2014). Demnach nannten 63 Prozent als Grund der Weiterbildung Aufsteigen und 45 Prozent bessere Einkommensmöglichkeiten. Wie Berechnungen HALLS (2014) zur späteren Einkommenssituation beruflich Fortgebildeter zeigen, ist diese Hoffnung durchaus berechtigt. Darüber hinaus zeigen Analysen von FLAKE/WERNER/ZIBROWIUS (2016), dass etwa zwei Drittel von Unternehmen einer Unternehmensstichprobe die Karrieremöglichkeiten von Fortbildungsabsolventen im Vergleich zu Bachelorabsolventen als mindestens gleichwertig einschätzen. Bei der Vergabe von Positionen auf der unteren und mittleren Führungsebene kommen in mittleren und großen Unternehmen besonders häufig Fortbildungsabsolventen zum Zug. Demzufolge verfolgen viele der angehenden Techniker/-innen das realistische Ziel eines beruflichen und finanziellen Aufstiegs.

Bei einigen (und zumindest deskriptiv am stärksten ausgeprägt bei den Elektroniker/-innen im Handwerk) liegt auch das Bedürfnis vor, die bisherige berufliche Tätigkeit zu wechseln, da sie ihnen keine berufliche Perspektive bietet. Eine untergeordnete Rolle bei der Entscheidung für eine Techniker-Fortbildung scheint das Motiv der beruflichen Selbstständigkeit zu spielen. Kaum Zustimmung bekommt das Motiv, die Fortbildung als Ausweg aus der Arbeitslosigkeit zu wählen sowie die Wahl der Fortbildung aufgrund externen Drucks durch den Betrieb.

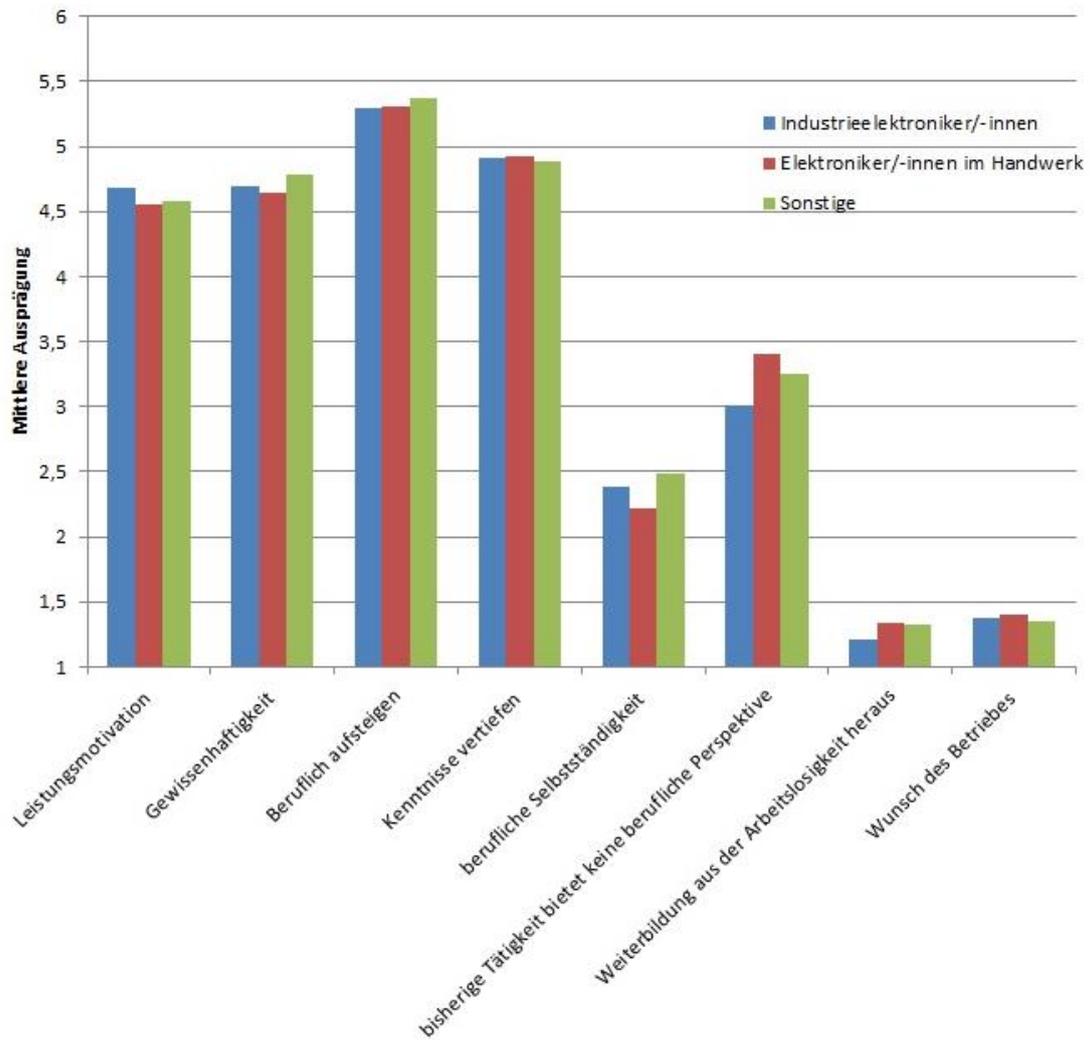


Abbildung 7: Trait-Komponenten der Motivation sowie verschiedene Fortbildungsmotive bei den angehenden Technikern und Technikerinnen zu Beginn der Fortbildung

## 4.2 Struktur des Fachwissens zu Beginn der Fortbildung

In Abschnitt 1.1.1 wurde ausgeführt, dass sich für die Fachkompetenz domänenübergreifend die Subdimensionen des Fachwissens und die Anwendungsfähigkeit dieses Wissens bzw. der Problemlösefähigkeit unterscheiden lassen (NICKOLAUS 2011; NICKOLAUS/SEEBER 2013). Ebenso zeigen sich sowohl für die Dimension des Fachwissens als auch für die Dimension der Anwendungsfähigkeit dieses Fachwissens weitere Ausdifferenzierungen. Für das Fachwissen vollzieht sich nach den vorliegenden Studien diese Ausdifferenzierung zumeist entlang von Inhaltsbereichen der Ausbildung (vgl. z.B. NICKOLAUS 2011, NICKOLAUS u.a. 2015b, WALKER/LINK/NICKOLAUS 2015, NITZSCHKE u.a. [im Druck]). Es ist anzunehmen, dass sich für die Anwendungsfähigkeit des Wissens ebenfalls weitere Subdimensionen identifizieren lassen. Aufgrund der hohen Komplexität bei der Erfassung der benötigten Daten gibt es jedoch nur wenige Befunde, die diese Annahme bestätigen. So konnten beispielsweise WALKER/LINK/NICKOLAUS (2015) für Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik am Ende der Ausbildung für den Bereich der Wissensanwendung eine Unterscheidung in die Bereiche der analytischen und konstruktiven Problemlösefähigkeit aufzeigen. Auch bei KFZ-Mechatronikern und -Mechatronikerinnen lassen sich auf der Anwendungsebene mehrere Subdimensionen identifizieren (NICKOLAUS/BEHREND/ABELE 2016).

Bei der Erstellung des Fachwissenstests für die angehenden Techniker/-innen wurde ein mehrdimensionales Konstrukt unterstellt, welches sich an den Inhaltsbereichen der Weiterbildung orientiert. Die Subdimensionen gliedern sich in einen Bereich zu den Grundlagen der Elektrotechnik (ET), einen Bereich zu elektronischen Anlagen und Systemen (EAS) sowie einen Bereich zur Steuerungs- und Regelungstechnik (ST) (vgl. Abschnitt 3.3).

Zur Überprüfung der Wissensstruktur wurden mittels der erhobenen Daten zwei verschiedene Partial-Credit-Modelle in „R“ 3.2.3 mit dem Paket TAM (KIEFER/ROBITZSCH/WU 2016)<sup>7</sup> berechnet und miteinander verglichen. Im ersten Modell wurden alle Items gemeinsam skaliert, wodurch angenommen wird, dass das Fachwissen ein eindimensionales Konstrukt darstellt. In einem alternativen Modell wurde die vorgestellte dreidimensionale Struktur des Fachwissens unterstellt.

Insgesamt zeigen die Items im Rahmen der Skalierung sowohl für das ein- als auch für das dreidimensionale Modell eine überwiegend gute Modellpassung. Lediglich vier von ursprünglich 37 Items mussten im Skalierungsprozess entfernt werden und für sechs Partial-Credit-Items mussten die Abstufungen zu dichotomisierten Items zusammengefasst werden. Die in den Modellen verbleibenden Items weisen mit T-Werten  $\leq 2.027$ , einem Infit im Bereich von .815 und 1.127 und einem Outfit im Bereich von .668 bis 1.371 gute Modellfitwerte<sup>8</sup> aus. Im Anschluss an die Skalierung verbleiben somit 33 Items, wovon 10 Items auf den Bereich ET, 11 Items auf den Bereich EAS und 12 Items auf den Bereich ST entfallen.

---

<sup>7</sup> „R“ ist eine freie Softwaresuite, welche u.a. im Bereich der Statistik stark verbreitet ist. Je nach benötigten Verfahren können in R sogenannte Pakete hinzugefügt werden, die von einer Entwicklergemeinschaft frei zur Verfügung gestellt werden und „R“ um die entsprechenden Funktionen erweitern. Mit dem Paket TAM „Test Analysis Modules“, werden Funktionen zur Datenauswertung auf Basis der Item-Response-Theorie implementiert, u.a. zur Berechnung von Partial-Credit-Modellen, welche für Datensätze mit kategorialen Daten angewendet werden.

<sup>8</sup> In TAM werden drei Gütemaße (T-Wert, Infit und Outfit) für jedes Item berechnet, welche aufzeigen ob ein Item eine ausreichende Modellpassung aufweist. Idealerweise sollten die T-Werte  $\leq 2$  sein und der Infit/Outfit sich in einem Bereich zwischen einer unteren Grenze von .7-.85 und eine obere Grenze von 1.2-1.3 (BOONE 2014, S. 166) befinden. Der Outfit von vier Items bei dem dreidimensionalen Modell verpasst die in der Literatur empfohlenen Cut-Off-Werte. Die Items werden jedoch nicht aus dem Modell entfernt, da sowohl der Infit, die T-Werte und die Trennschärfe der Items in einem guten Bereich liegen. Werden diese Items nicht in die Betrachtung einbezogen, so liegt der Outfit im Bereich von .700 - 1.310.

Zur Überprüfung, welches der beiden Modelle die vorhandenen Daten besser abbildet, wurde zum einen ein Chi<sup>2</sup>-Differenzentest gerechnet und zum anderen wurden der AIC und BIC, welcher tendenziell einfachere Modelle bevorzugt, als Informationskriterien für die Modellpassungsgüte berücksichtigt. Hierbei zeigt sich, dass das dreidimensionale Modell eine signifikant bessere Modellpassung aufweist und auch der AIC/BIC weisen das komplexere Modell als besser geeignet aus. Für die berufliche Weiterqualifikation bedeutet dies, dass die in der beruflichen Erstausbildung stattgefundenen Ausdifferenzierung des Fachwissens auch über die erste Phase der beruflichen Laufbahn erhalten bleibt und keine Integrationsprozesse über die berufliche Anwendung der verschiedenen Wissensbereiche stattfinden.

Mit Hilfe der Wright-Map (vgl. Abbildung 8) können auf der linken Seite die Personenfähigkeiten und auf der rechten Seite die Itemschwierigkeiten auf einer gemeinsamen Skala dargestellt werden. Auf der Itemseite stellt jede Markierung ein Item bzw. eine Itemstufe dar. Über die Farbe der Markierungen wird die Zugehörigkeit der Items zu den verschiedenen Wissensbereichen ersichtlich. Es zeigt sich, dass die in dem Test vorgelegten Aufgaben einen Schwierigkeitsbereich von ca. -1.7 bis 3.2 abdecken, wobei für die einzelnen Inhaltsbereiche der abgedeckte Schwierigkeitsbereich enger ausfällt. Auf der linken Seite der Wright-Map stellen die drei Kurven die Häufigkeitsverteilung der berechneten Personenfähigkeiten für die Inhaltsbereiche dar. Alle drei Kurven haben einen relativ breiten Verlauf, was sich als Hinweis auf eine vorherrschende Leistungsheterogenität interpretieren lässt. Die Verteilung der Personenparameter zeigt zudem einen zweiten Gipfel im unteren Leistungssegment, bei dem (bisher) noch unklar ist, welche Faktoren diesen verursachen, so dass es an dieser Stelle noch weiterer Feinanalysen bedarf. Setzt man die Verteilung der Items und die Verteilung der Personenparameter in Relation, so zeigt sich, dass der Test tendenziell etwas zu schwer ausfällt und es wünschenswert wäre, besonders im unteren Bereich weitere Items zur Verfügung zu haben.

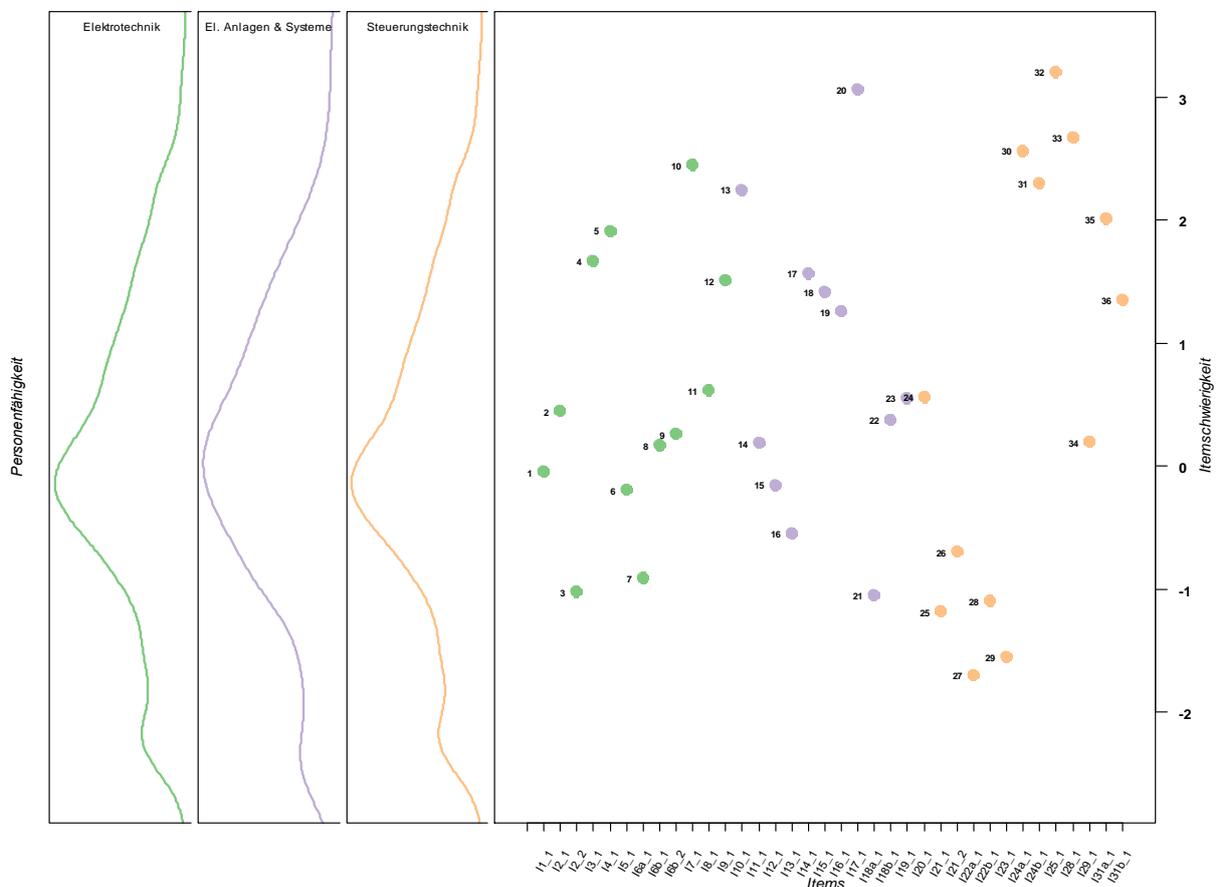


Abbildung 8: Wright-Map des Fachwissenstests (3-Dimensional)

### 4.3 Messung des Fachwissens in unterschiedlichen Zielgruppen und die Frage der Messinvarianz

In Abschnitt 4.2 wurde gezeigt, wie sich das Fachwissen zu Beginn der Fortbildung mittels Item-Response-Skalierungen in drei latente, d.h. nicht direkt beobachtbare Dimensionen ausdifferenzieren lässt. Daraus ergeben sich weitere interessante Fragestellungen, die sich beispielsweise auf Vergleiche der Ausprägungen der einzelnen latenten Dimensionen in unterschiedlichen Gruppen beziehen. Im Gegensatz zum Vergleich manifester Größen (Einkommen, Körpergröße etc.) handelt es sich bei den Subdimensionen des Fachwissens um latente Konstrukte. Bevor Mittelwertvergleiche auf Basis dieser Konstrukte vorgenommen werden dürfen, muss statistisch nachgewiesen werden, dass die Konstrukte in den jeweils betrachteten Vergleichsgruppen (z.B. angehende Techniker/-innen mit einem Ausbildungshintergrund in Industrie oder Handwerk, aber auch Techniker/-innen im Vergleich zu Studierenden sowie Auszubildenden) dasselbe Konstrukt messen. Anderenfalls kann es zu Fehlschlüssen in Bezug auf den Vergleich der Ausprägung der latenten Variable kommen (TEMME/HILDEBRANDT 2008).

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Ansätze, der Problematik der Messinvarianz oder des „differential item functioning“<sup>9</sup> zu begegnen. Die Mehrgruppenanalyse konfirmatorischer Faktormodelle hat sich jedoch als wichtigste Methodik erwiesen (TEMME/HILDEBRANDT 2008). Dabei wird auf Ebene der Messmodelle untersucht, ob sich verschiedene Modellparameter in den untersuchten Gruppen unterscheiden. Üblicherweise wird dabei ein schrittweises Vorgehen gewählt, bei dem ausgehend von einem Grundmodell, in dem alle Parameter frei geschätzt werden, in jedem weiteren zusätzlichen Modell verschiedene Restriktionen eingeführt werden. Die einzelnen Schritte stehen dabei in einem hierarchischen Verhältnis, d.h. wenn die weniger restriktiven Modelle keine Modellpassung erzielen, können auch alle stärker restringierten Modelle keine Passung mit den Daten erreichen. Die Modellgüte wird dabei anhand verschiedener Indices (z.B.  $\chi^2$ , CFI, RMSEA) bewertet, die mit Rückgriff auf die von HU und BENTLER (1999) vorgeschlagenen Cut-off-Werte<sup>10</sup> evaluiert werden.

Abbildung 8 zeigt eine schematische Übersicht hinsichtlich des Vorgehens. Demzufolge wird zunächst die konfigurale Invarianz geprüft, die untersucht, ob die dimensionale Struktur in beiden Gruppen identisch ist und damit in beiden Untersuchungsgruppen dasselbe Konstrukt gemessen wird. Sprechen die Ergebnisse dafür, wird die metrische Invarianz geprüft, bei der die Faktorladungen gleich gesetzt werden, die Hinweise auf gleiche Trennschärfen in beiden Gruppen liefern. Bei der skalaren Invarianz wird untersucht, ob auch die Konstanten in beiden Gruppen gleich gesetzt werden können. Schließlich können für eine starke Invarianz auch die Messfehler betrachtet und in beiden Gruppen gleichgesetzt werden. Streng genommen erfordert ein Mittelwertvergleich latenter Konstrukte mindestens den Nachweis skalarer Invarianz, manche Autoren geben sich auch mit dem Nachweis partieller Invarianz zufrieden (TEMME/HILDEBRANDT 2008).

In der Praxis erweisen sich die Nachweise der Invarianz als Herausforderung, da es häufig vorkommt, dass Items und Aufgaben von verschiedenen Personengruppen unterschiedlich aufgefasst und interpretiert und daher auch unterschiedlich gelöst werden.

Exemplarisch werden an dieser Stelle Ergebnisse zur Messinvarianz für die Dimension zu den Grundlagen der Elektrotechnik zu Beginn der Fortbildung dargestellt. Dabei soll geprüft werden,

---

<sup>9</sup> „Differential item functioning (DIF) analysis is typically used to identify test items that are differentially difficult for respondents who have the same level of knowledge, skill, or ability but differ in ways that should be irrelevant to their performance on the test (e.g., females vs. males; francophones vs. anglophones)“ (MILLER/CHAHINE/CHILDS 2010, S. 1).

<sup>10</sup> Laut der beiden Autoren sollten idealerweise der CFI > .95 und der RMSEA < .06 sein.

inwieweit Messinvarianz für die Items in beiden Gruppen der angehenden Techniker/-innen mit einem Ausbildungshintergrund in der Industrie sowie im Handwerk vorliegt. Eine erste Berechnung eines Messmodells mit der Gesamtgruppe wies dabei zunächst auf Probleme mit zwei Items (Aufgabe 3 und Aufgabe 7) hin, die daraufhin gelöscht wurden sowie einen hohen Zusammenhang zwischen zwei weiteren Items (Aufgabe 1 und 2), die folglich zusammengefasst wurden.

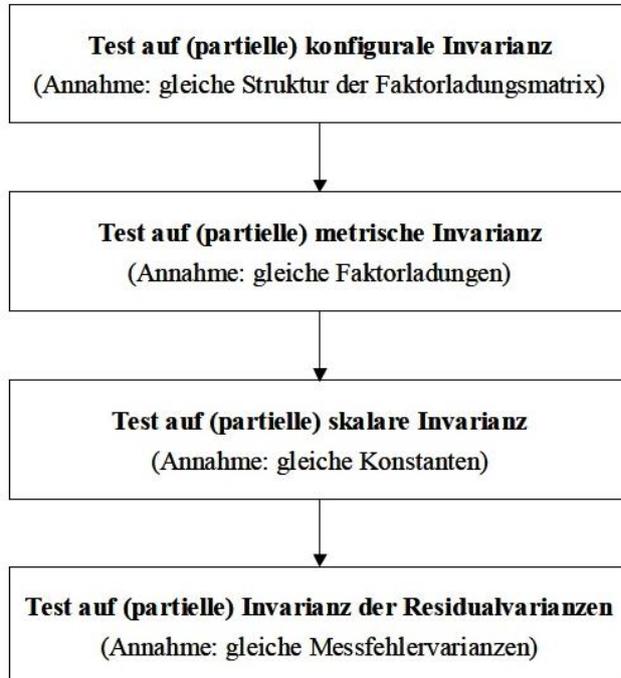


Abbildung 9: Schrittweises Vorgehen bei der Prüfung der Messinvarianz (aus TEMME/HILDEBRANDT 2008, S. 15)

Für die Berechnung der konfiguralen Messinvarianz wurde anschließend ein Mehrgruppenmodell mit den beiden Gruppen angehender Techniker/-innen gerechnet. Abbildung 10 zeigt das Modell mit den standardisierten Ladungen für beide Gruppen (links für die angehenden Techniker/-innen mit einem Ausbildungshintergrund in der Industrie, rechts mit dem entsprechenden Hintergrund aus dem Handwerk). Die Koeffizienten erreichen sehr unterschiedliche Höhen (von .29/.36 für Aufgabe 9 bis .75 für Aufgabe 6b). Die Kriterien zur Bewertung der Modellgüte liegen in einem guten Bereich ( $\chi^2=36.23$  (28 df),  $\chi^2/df = 1,29$ , CFI=.956, RMSEA=.053, SRMR=.055) und lassen damit auf konfigurale Invarianz schließen. Damit weist das latente Wissenskonstrukt der Grundlagen der Elektrotechnik in beiden Gruppen dieselbe Struktur auf und es kann davon ausgegangen werden, dass es in beiden Gruppen dasselbe Konstrukt erfasst.

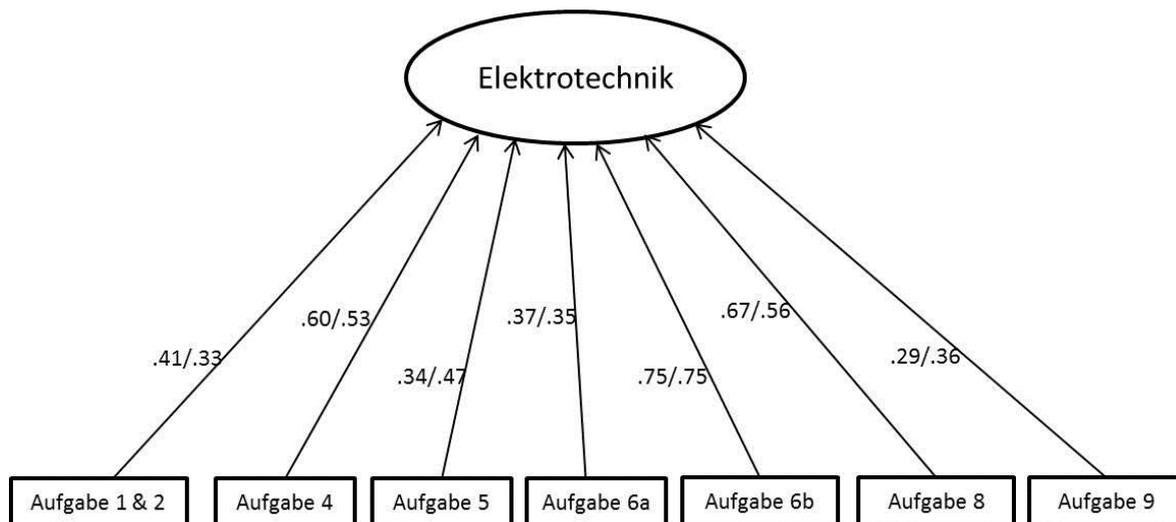


Abbildung 10: Messmodell der Grundlagen der Elektrotechnik im Mehrgruppenvergleich (Pfadkoeffizienten links: N=111 mit Ausbildungshintergrund Industrie, Pfadkoeffizienten rechts: N=101 mit Ausbildungshintergrund Handwerk)

In den weiteren Schritten wird nun nacheinander zunächst die metrische Invarianz (alle Ladungen werden gleichgesetzt), die skalare (es werden die Ladungen sowie die Konstanten gleichgesetzt) und die starke (zusätzliche Gleichsetzung der Fehlervarianzen) Invarianz geprüft. Die Ergebnisse der Prüfung finden sich in Tabelle 3. In der zweiten Zeile befinden sich die Ergebnisse der metrischen Invarianzprüfung. Die Indices für die Modellpassung weisen nach HU und BENTLER (1999) auf eine gute Modellpassung hin. Weiterhin weicht der berechnete  $\chi^2$ -Wert nicht signifikant von dem Wert des Modells zur konfiguralen Invarianz ab. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Items in beiden Gruppen gleiche Trennschärfen aufweisen. In der nächsten Zeile finden sich die Ergebnisse der Prüfung auf skalare Messinvarianz. Auch hier ergeben sich noch recht gute Fit-Indices, allerdings ist das Modell knapp signifikant schlechter als das vorige, weshalb die Annahme skalarer Invarianz so nicht aufrechterhalten werden kann. Der Vollständigkeit halber sind in der letzten Zeile die Ergebnisse zur starken Invarianz präsentiert. Hier erweisen sich die Modellparameter bereits als deutlich schlechter und es gibt auch eine signifikante Abweichung zum vorigen Modell.

Damit ist es für die Dimension der Grundlagen der Elektrotechnik gelungen, metrische Invarianz für die beiden Gruppen angehender Techniker/-innen nachzuweisen. Weitere Analysen für die Dimensionen der elektronischen Anlagen und Systeme (EAS) und die Steuerungs- und Regelungstechnik (ST), sowie alternativer Vergleichsgruppen (Techniker/-innen versus Studierende und Auszubildende) werden im Laufe des Projekts folgen.

Tabelle 3: Schrittweise Messinvarianzprüfung für die Fachwissensdimension Grundlagen der Elektrotechnik

Prüfung	$\chi^2$ (df)	$\chi^2/df$	p-Wert	CFI	RMSEA	SRMR	$\Delta \chi^2$ (df)
Metrische Invarianz (Gleiche Ladungen)	40,45 (34)	1,19	.207	.966	.042	.059	4,02 (6) n.s.
Skalare Invarianz (Gleiche Ladungen und Konstanten)	54,75 (40)	1,37	.060	.921	.059	.073	14,3 (6) P<.05
Starke Invarianz (Gleiche Ladungen, Konstanten und Fehlerterme)	72,54 (47)	1,54	.010	.863	.072	.087	17,79 (7) P<.05

#### 4.4 Problemlösefähigkeiten zu Beginn der Fortbildung

Für die Erfassung der fachspezifischen Problemlösefähigkeiten bearbeiteten die Studienteilnehmer/-innen Aufgaben in der simulierten elektrotechnischen Anlage SINA (vgl. Abschnitt 3.3). Aufgrund der Komplexität der computerbasierten Testung wurde vor der eigentlichen Testung eine zweistufige Einführungsphase mit den Studienteilnehmern und -teilnehmerinnen durchgeführt. Dabei wurde durch den Testleiter zunächst eine intensive Schulung an der Computersimulation durchgeführt und im Anschluss daran konnten die Probanden den Umgang mit dem System anhand verschiedener Aufgaben, die auch gemeinsam besprochen und diskutiert wurden, eigenständig einüben. Darauf folgte die eigentliche Testphase.

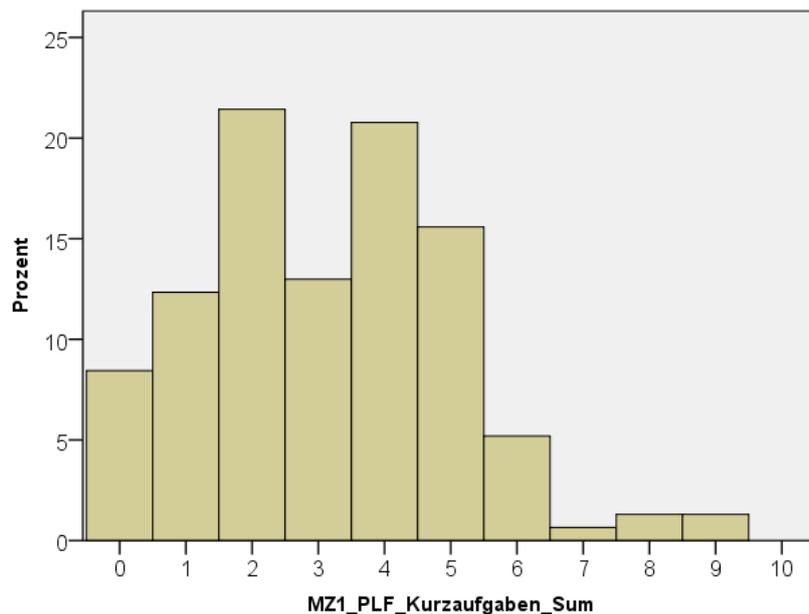
In einem ersten Teil wurden die Probanden gebeten, zunächst insgesamt acht Kurzaufgaben selbstständig zu bearbeiten. Ähnlich wie bei den Übungsaufgaben setzen diese Aufgaben die Interaktion sowie das selbstständige Zurechtfinden in der simulierten Anlage voraus, erfordern aber noch keine umfassende Problemlösung. Tabelle 4 bildet die Lösungsquoten der acht Kurzaufgaben ab, die von 57,1 bis 94,8 Prozent der insgesamt 154 Teilnehmer/-innen<sup>11</sup> des Problemlösetests bearbeiteten wurden. Hierbei wurden von den Teilnehmenden zwischen 7,0 Prozent und 67,1 Prozent der Aufgaben (vollständig) richtig gelöst. Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Summenwerte zu Teil 1 der Kurzaufgaben des Problemlösetests. 8,4 Prozent der angehenden Techniker/-innen konnte keine der Kurzaufgaben (teilweise) richtig lösen, als Maximum wurden von zwei Personen neun Punkte erzielt. Die beiden Maxima der Verteilung liegen bei zwei und vier erreichten Punkten. Ein Gruppenvergleich mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse auf Basis der drei verschiedenen Ausbildungsgruppen (Elektroniker/-innen im Bereich Industrie, Handwerk und sonstigem Ausbildungshintergrund) zeigt signifikante Gruppenunterschiede in den Leistungen der Kurzaufgaben. Der Scheffé-Test verdeutlicht, dass statistisch bedeutsame Unterschiede zugunsten der Probanden mit einem industriellen Ausbildungsberuf im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen vorliegen.

**Tabelle 4: Lösungsquoten von Teil 1 (Kurzaufgaben) des Problemlösetests**

	Aufgabe 1 Werk- stückhöhe	Aufgabe 2 Schaltab- stand induktiver Sensor	Aufgabe 3 Material- erken- nung I	Aufgabe 4 Material- erken- nung II	Aufgabe 5 Automatik -betrieb	Aufgabe 6 Eingang E2.2	Aufgabe 7 Auswerfen Werkstück	Aufgabe 8 Rücksetz- funktion
Lösungs- quote %	59,5	36,9	30,7	7,0 (11,6)*	67,1	44,5	15,3 (41,8)*	61,4
N	131	122	137	129	146	137	98	88
N nicht bear- beitet	23	32	17	25	8	17	56	66

Anmerkungen: \*Teillösung; Gesamt N=154

<sup>11</sup> Die Teilnahmequoten an dem Test zur Problemlösefähigkeit sind gegenüber der Teilnahme an dem Fachwissenstest sowie dem Fragebogen um rund 50 Prozent niedriger. Die Teilnehmer/-innen unterscheiden sich im Hinblick auf Alter und kognitive Grundfähigkeiten nicht von den Nicht-Teilnehmer/-innen. Allerdings weisen die PLF-Teilnehmer/-innen signifikant höhere Leistungen im Fachwissen vor, d.h. es liegt eine Leistungsselektion vor.



**Abbildung 11: Verteilung der Lösungsanteile (Summenwert) der PLF Kurzaufgaben**

Für Teil 2 und Teil 3 des Problemlösetests wurden den Probanden Kurzbeschreibungen von Störfällen vorgelegt, die diese selbstständig bearbeiten sollten. Es wurden jeweils bis zu zwei Punkte für die Identifizierung der Störungsursache und ein Punkt für Vorschläge zur Störungsbehebung vergeben.

Teil 2 bestand in der Bearbeitung zweier Problemlösefälle, welche im Vorfeld als leicht zu lösende Aufgaben eingestuft wurden. In beiden Fehlerfällen bestand das Problem darin, dass die Anlage nach dem Start direkt in Schritt 1 stehen blieb. Die vollständige Lösung der Störungsursache im ersten Fall konnten noch 82,0 Prozent der Studienteilnehmer/-innen finden, 85,2 Prozent machten erste gute Lösungsvorschläge für eine Störungsbehebung. Für den zweiten Störfall konnten 35,1 Prozent die vollständige Lösung, 53,6 Prozent immerhin eine Teillösung finden. Hier lieferten 30,3 Prozent gute erste Hinweise zur Störungsbehebung. Die einfaktorielle ANOVA weist jedoch im Gegensatz zu den Kurzaufgaben keine signifikanten Gruppenunterschiede für den ersten Fehlerfall auf. Für den zweiten Fehlerfall hingegen zeigen sich signifikante Unterschiede, wobei der Scheffé-Test diese zwischen den Elektronikern und Elektronikerinnen mit industriellem und sonstigem Ausbildungshintergrund zugunsten ersterer aufzeigt.

Teil 3 des Problemlösetests umfasste drei komplexe Störfälle, die von den angehenden Technikern und Technikerinnen gelöst werden sollten und deren Ergebnisse hier zusammengefasst werden. Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Punkte zur Identifizierung der Störungsursachen der drei Störfälle. Sieben Personen (4,8%) gelang es, alle Störungsursachen richtig zu identifizieren und damit insgesamt sechs Punkte zu erzielen. Gleichwohl konnten 48 Personen (32,9%) keine einzige (Teil-) Lösung zur Störungsursache finden. 65,7 Prozent erzielten weiterhin keine Punkte bei den Vorschlägen für die Störungsbehebungen und nur noch drei Probanden konnten für alle drei Fehler einen korrekten Lösungsvorschlag nennen. Auf die einzelnen Aufgaben bezogen bedeutet dies, dass weniger Studienteilnehmer/-innen einen richtigen Vorschlag zur Störungsbehebung erbringen konnten als Störungsursachen gefunden wurden. Somit zeigt sich, dass die korrekte Identifizierung eines Fehlers in einem technischen System noch kein Garant für die Behebung der Störung darstellt. Ein Gruppenvergleich auf Basis der Ausbildungshintergründe dokumentiert auch für Teil 3 des Problemlösetests einen statistisch bedeutsamen Leistungsvorsprung (für die Problemidentifizierung) der Industrieelektroniker/-innen.

Insgesamt offenbart sich für die Leistungen der angehenden Techniker/-innen zu Beginn (nach rund sechs Monaten) der Fortbildung im Bereich der fachspezifischen Problemlösefähigkeiten ein recht ernüchterndes Bild. Obwohl nur die leistungsstärkere Hälfte der Gesamtstichprobe auch an dem PLF-Test teilnahm, konnten viele von ihnen die Aufgaben nicht oder nur teilweise richtig lösen. Eine mögliche Erklärung dafür liegt im Testzuschnitt begründet. Dieser ist auf den Umgang mit automatisierten elektrotechnischen Anlagen sowie deren Steuerung ausgerichtet. Ein deutlicher Anteil der Studienteilnehmer/-innen dürfte aufgrund seines Ausbildungshintergrundes jedoch bislang eher weniger mit derartigen Anlagen in Kontakt gekommen sein. Entsprechend zeigen sich für die meisten Testbereiche auch statistisch signifikante Vorteile der Gruppe der Elektroniker/-innen mit industriellem Ausbildungshintergrund. Vergleichbare recht schwach ausgeprägte Leistungen im Bereich der Problemlösefähigkeit fanden allerdings auch NICKOLAUS und GEIBEL (2009b) an einer Stichprobe von Auszubildenden im Bereich Elektroniker/-in. Offensichtlich fällt vielen Studienteilnehmern und -teilnehmerinnen zu Beginn der Fortbildung und nach einigen Jahren Berufserfahrung die Bearbeitung derartiger Aufgaben schwer. Weitere Analysen werden im Projekt folgen, um den genauen Einfluss einzelner Variablen wie beispielsweise der Dauer der Berufserfahrung, der bisherigen Tätigkeitsschwerpunkte, des Fachwissens, aber auch motivationaler Merkmale für die Problemlöseleistungen zu identifizieren.

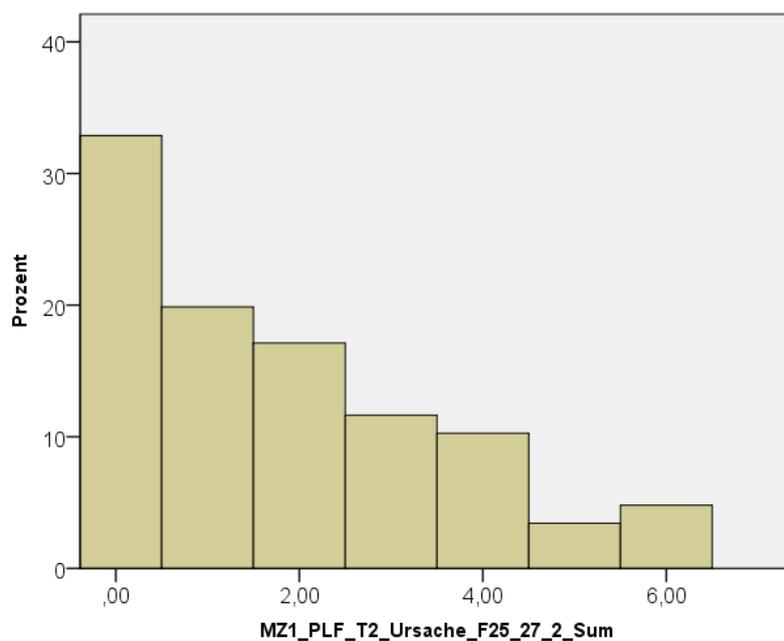


Abbildung 12: Verteilung der Identifikation von Störungsursachen der komplexen Störfälle im PLF (Summenwerte)

#### 4.5 Einflüsse auf die Fachkompetenz zu Beginn der Fortbildung

Wie in Kapitel 4.1 und 4.4 dargelegt wurde, bestehen zwischen den angehenden Techniker/-innen im Bereich Elektrotechnik je nach Vorbildung (Ausbildung mit Schwerpunkt Industrie, Handwerk oder sonstigem Schwerpunkt) zu Beginn der Fortbildung sehr unterschiedliche Ausprägungen fachspezifischen Wissens sowie fachspezifischer Problemlöseleistungen. Die Gruppe der Elektroniker/-innen des Handwerks schneidet in ihren Leistungen im Fachwissen signifikant schlechter ab, während die beiden anderen Gruppen vergleichbare Ergebnisse erzielen – nur in der Dimension Steuerungs- und Regelungstechnik zeigen sich die Elektroniker/-innen im Bereich Industrie überlegen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird nun in diesem Abschnitt der Frage nachgegangen, wodurch die Wissensunterschiede erklärt werden können.

Entsprechend der PPIK (intelligence-as-process, personality, interests and intelligence-as-knowledge) Theorie von ACKERMAN (1996) kann der Wissenserwerb als Ergebnis der Investition kognitiver Grundfähigkeiten in Verbindung mit Persönlichkeitsmerkmalen erachtet werden. Kognitive Grundfähigkeiten oder auch fluide Intelligenz beziehen sich auf die Fähigkeit zum logischen Schlussfolgern auf Basis von verbalen, numerischen oder räumlich-figuralen Inhalten (SÜß/BEAUDUCEL 2011). Mit dem CFT 3 (WEIß 1971) werden die kognitiven Grundfähigkeiten bzw. die fluide Intelligenz gemessen. Wissen wird nach ACKERMAN zwar mit Rückgriff auf CATTELLS (1987) Konzept der kristallinen Intelligenz als akkulturiertes Wissen definiert, jedoch fasst er das Konzept des Wissens breiter: „The nature of intelligence-as-knowledge matches the first description of Gc [kristalline Intelligenz] provided by Cattell in his Investment Theory (but is much broader than common assessment techniques for Gc). That is, there are probably as many domains of knowledge as there are occupations (and nonoccupational pursuits as well)” (1996, S. 241). Damit bezieht sich ACKERMAN direkt auf fach- und berufsspezifisches Wissen. Zahlreiche Metaanalysen bestätigen den deutlichen Zusammenhang zwischen allgemeiner Intelligenz und Ausbildungsleistungen (KRAMER 2009), welche zu einem großen Teil auf fachspezifischem Wissen beruhen.

Neben kognitiven Fähigkeiten spielen entsprechend der PPIK-Theorie aber auch Persönlichkeitsmerkmale und Interessen eine wichtige Rolle: “Although the dominant aspect of the investment is cognitive or intellectual, personality traits and motivational traits and skills are integral to determining the direction and intensity of cognitive investment” (ACKERMAN 2003, S. 16). Eine amerikanische Metaanalyse zum Zusammenhang verschiedener Studienkompetenzen mit dem Notendurchschnitt im College offenbarte mittlere Korrelationen für akademische Selbstwirksamkeit und Leistungsmotivation – auch über Schulnoten hinaus (ROBBINS u.a. 2004). Darüber hinaus untersuchten ACKERMAN und BEIER (2006) die Bedeutung des (allgemeinen) Vorwissens für das fachspezifische Wissen in einer Studie an 141 Erwachsenen. Dabei erwies sich das allgemeine Vorwissen als besserer Prädiktor des fachspezifischen Wissens als die fluide Intelligenz. Auch hier konnten motivationale Variablen zusätzliche Varianz aufklären.

Aufgrund der Befundlage und der theoretischen Überlegungen ACKERMANS vermuten wir, dass das Fachwissen der angehenden Techniker/-innen zu Beginn der Ausbildung zu einem großen Anteil durch die fluide Intelligenz bzw. die kognitiven Grundfähigkeiten, das Vorwissen sowie motivationale Variablen erklärt werden kann. Für die fluide Intelligenz liegen Ergebnisse aus dem CFT 3-Test vor, für den Bereich der Motivation werden die Konstrukte der Leistungsmotivation sowie der Gewissenhaftigkeit verwendet, aber auch die Einschätzung zu den Einzelitems hinsichtlich der konkreten Fortbildungsmotive (vgl. Abschnitt 4.1).

Das Vorwissen der Studienteilnehmer/-innen wurde nicht direkt erfasst und wird hier (grob) angenähert über die Note in der schriftlichen Abschlussprüfung eingeschätzt. Eine Fortbildung zum Techniker/zur Technikerin erfordert neben einer abgeschlossenen einschlägigen Berufsausbildung weiterhin auch eine mindestens einjährige Berufserfahrung (KMK 2015). Wie aus Tabelle 1 in

Abschnitt 4.1 hervorgeht, verfügen die Probanden im Durchschnitt über dreieinhalb Jahre einschlägige Berufserfahrung, in denen sie weiteres Wissen erworben bzw. vertieft haben. Aus diesen Gründen wird die Häufigkeit, mit der die Befragten in der Vergangenheit fachspezifische Aufgaben und Tätigkeiten, insbesondere mit elektrotechnischen Anlagen arbeiten, Fehler in diesen Anlagen zu identifizieren, Maschinen zu warten und zu reparieren sowie Steuerungen zu programmieren, bewältigt haben, als Näherung für die dort erworbenen Kenntnisse im Regressionsmodell verwendet.

Die Ergebnisse in Tabelle 5 verdeutlichen, dass gemäß den theoretischen Annahmen der PPIK-Theorie die kognitiven Grundfähigkeiten bzw. die fluide Intelligenz in allen vier Modellen einen statistisch signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung der Fachwissensleistung beiträgt. Dabei können allein durch die fluide Intelligenz 14 Prozent der Varianz des anfänglichen Fachwissens aufgeklärt werden. Durch die Hinzunahme der schriftlichen Abschlussprüfungsergebnisse (in Punkten) als Näherung für das (fachliche) Vorwissen können zusätzlich 14 Prozent Varianz aufgeklärt werden. Auch der Effekt des Vorwissens bleibt in allen Modellen signifikant. Um das Wissen abzubilden, was die Fachkräfte während ihrer beruflichen Tätigkeit erworben haben, wurde die Häufigkeit der Bewältigung fachspezifischer Aufgaben und Tätigkeiten als Annäherung verwendet. Wie in Modell 3 erkennbar, wird durch die Hinzunahme der vier Tätigkeiten zwar knapp 5 Prozent zusätzliche Varianz aufgeklärt, keine der einzelnen Variablen wird jedoch im Modell signifikant. In Modell 4 erreicht zumindest die Tätigkeit „Steuerungen programmieren“ einen signifikanten positiven Effekt auf einem Signifikanzniveau von  $p < .10$ . In Modell 4 werden darüber hinaus auch motivationale Variablen berücksichtigt. Neben den Trait-Variablen der Leistungsmotivation und Gewissenhaftigkeit wurden im Modell auch die konkreten Beweggründe für die Technikerfortbildung integriert. Durch die Hinzunahme der motivationalen Variablen können nochmals 3,8 Prozent der Varianz aufgeklärt werden. Allerdings zeigt keine der beiden Trait-Variablen einen signifikanten Einfluss. Bei den Motiven zeigt sich ein deutlicher signifikanter negativer Effekt für das Motiv, eine Weiterbildung aus der Arbeitslosigkeit heraus zu machen. Ein solches Motiv für die Wahl der Fortbildung geht mit schlechteren Fachwissensleistungen einher.

Insgesamt können die Annahmen der PPIK-Theorie ACKERMANS für die Stichprobe der angehenden Techniker/-innen teilweise bestätigt werden. Demnach zeigen sich für die Prognose des domänenspezifischen Wissens sowohl die fluide Intelligenz als auch das schulische Vorwissen, d.h. die allgemeine kristalline Intelligenz als bedeutsam. Dies deckt sich mit anderen Befunden aus dem Bereich der dualen Ausbildung. Auch hier werden in Modellen zur Erklärung des Fachwissens zumeist deutliche positive Effekte für fluide und kristalline Intelligenz gefunden (z.B. NICKOLAUS/GSCHWENDTNER/ABELE 2013). Die beruflichen Tätigkeiten können allerdings kaum zusätzliche Varianz aufklären. Möglicherweise ist das bloße Ausüben einer Tätigkeit ein zu distales Maß für das dabei erworbene Wissen. Eine andere Erklärung könnte sein, dass bei der Ausübung der Tätigkeiten weitgehend implizites und damit nicht explizierbares Wissen erworben wurde, welches für die Lösung des auf deklaratives Wissen ausgerichteten Fachwissenstests wenig bedeutsam wird.

Entgegen den theoretischen Annahmen und den Befunden anderer Studien können die Konstrukte der Leistungsmotivation und Gewissenhaftigkeit keine zusätzliche Varianz im Modell aufklären. Dies widerspricht nicht nur der genannten Metaanalyse von ROBBINS u.a. (2004), sondern auch Studien zur Erklärung der Fachwissensleistung in der dualen Ausbildung. Dort können anhand von motivationalen Variablen zumeist zwar kleine, aber signifikante Beiträge zur Erklärung der Fachleistung geleistet werden (NICKOLAUS/ABELE/GSCHWENDTNER/NITZSCHKE/GREIFF 2012). Für die Leistungsmotivation sind auch Befunde mit mittleren Zusammenhängen zu Fachleistungen in der dualen kaufmännischen Ausbildung dokumentiert (ROSENDAHL/STRAKA 2007). Eine mögliche Erklärung für die fehlenden Zusammenhänge liefern die Ergebnisse von NICKOLAUS u.a. (2015a), die zeigen, dass

in Leistungstests bereits motivationale Merkmale inkludiert sind, was die Erklärungskraft der Skalen zur Erfassung der Motivation reduzieren könnte.

**Tabelle 5: Regression für das Fachwissen (in Prozent)**

	Modell 1 Koeffizient b	Modell 2 Koeffizient b	Modell 3 Koeffizient b	Modell 4 Koeffizient b
Kognitive Grundfähigkeiten	1.319** (.312)	1.097** (.285)	1.088** (.259)	1.032** (.266)
Schriftliche Abschlussprüfung		.618*** (.086)	.596*** (.083)	.597*** (.075)
Tätigkeit mit elektrotechnischen Anlagen arbeiten			.713 (.699)	.478 (.567)
Tätigkeit Fehler in elektrotechnischen Anlagen finden			.435 (.822)	.583 (.783)
Tätigkeit Maschinen warten und reparieren			.543 (.759)	.310 (.757)
Tätigkeit Steuerungen programmieren			1.051 (.602)	1.167 <sup>†</sup> (.624)
Leistungsmotivation				-.349 (1.136)
Gewissenhaftigkeit				-.227 (1.162)
Motiv beruflich aufzusteigen				.197 (1.259)
Motiv Kenntnisse zu vertiefen				.323 (.721)
Motiv berufliche Selbstständigkeit				-1.341 (.885)
Motiv neue Perspektive				-.154 (.489)
Motiv aus der Arbeitslosigkeit heraus				-2.433*** (.515)
Motiv Wunsch des Betriebes				1.343 (1.048)
Konstante	5.773	-37.017**	-44.020***	-36.427
R <sup>2</sup>	.141	.282	.330	.368
N	224	224	224	224

Anmerkungen: \*\*\*p<.001 \*\*p<.01 \*p<.05 <sup>†</sup>p<.10, es werden die unstandardisierten Regressionskoeffizienten berichtet, Klammern enthalten die Standardfehler, für deren Berechnung die genestete Struktur der Stichprobe in Schulklassen berücksichtigt wurde

## 5 Zielerreichung

Insgesamt musste der Projektstart zunächst ein halbes Jahr verschoben werden. Die erste Sitzung des Projektbeirats, die den offiziellen Projektbeginn begleiten sollte, wurde im November 2014 durchgeführt. Tabelle 4 zeigt bereits die angepasste Meilensteinplanung des Projekts. Aufgrund der Diskussion der zweiten Projektbeiratssitzung im Februar 2016 (vgl. Abschnitt 3.1) wurde von der qualitativen Erhebung zur Ermittlung von Barrieren der Problemlösung mittels der Methode des Lauten Denkens Abstand genommen zugunsten einer Intensivierung der Analysen zu den Fachkompetenztests. In Tabelle 6 sind daher diejenigen Meilensteine rot markiert, die aus diesen Gründen weggefallen sind. Der Verlauf der quantitativen Erhebung verläuft nach Plan. Der Wegfall der qualitativen Studie kompensiert die notwendigen intensiveren Auswertungs- und Analysearbeiten.

Tabelle 6: Meilensteinplan (nach Anpassung durch Verschiebung des Projektbeginns)

Nr.	Meilenstein	Termin
MS 0	Sitzung des Projektbeirats zur Diskussion des Forschungsstands und Beratung des Testdesigns	IV / 2014
MS 1	Festlegung der inhaltlichen Aufgabenzuschnitte für die Tests	I / 2015
MS 2	Ausarbeitung des Testdesigns	II / 2015
MS 3	Fertigstellung eines Leitfadens für die qualitativen Interviews	II / 2015
MS 4	Vorliegen von ausreichend Interviewmaterial	III / 2015
MS 5	Fertigstellung der Auswertung der Interviews	I / 2016
MS 6	Endgültige Auswahl der Zielgruppen für die quantitative Befragung	I / 2016
MS 7	Zwischenbericht	II / 2016
MS 8	Anpassung der Instrumente aufgrund der Erkenntnisse der Interviewstudie	II / 2016
MS 9	Fertigstellung der Testinstrumente für die quantitative Erhebung	III / 2016
MS 10	Abschluss der Datenerhebungen der quantitativen Erhebung	IV/ 2016
MS 11	Durchführung einer Wissenschaft-Praxis-Tagung	III / 2017
MS 12	Abschlussbericht und Veröffentlichungen zu den Ergebnissen der Studien	III / 2017

## 6 Ausblick und Transfer

Auf Grundlage der bisherigen Auswertungen (vgl. Kapitel 4) konnten bereits erste Forschungsfragen bearbeitet und teilweise beantwortet werden (vgl. Abschnitt 2.1). So konnte H1 durch die Auswertungen in Abschnitt 4.2 bestätigt werden. Demzufolge weist das Fachwissen der angehenden Techniker/-innen zu Beginn der Fortbildung eine dreidimensionale Struktur auf. Ähnlich wie bei den Auszubildenden im Fachbereich Elektronik liegen somit mehrdimensionale Messmodelle vor. Vermutungen, dass aufgrund der beruflichen Erfahrungen Integrationsprozesse des Wissens stattgefunden haben, die sich in eindimensionalen Messmodellen widerspiegeln würden, können auf Basis dieser Ergebnisse nicht bestätigt werden. Für die Ergebnisse zur Beziehung zwischen dem Fachwissen und der fachspezifischen Problemlösefähigkeit sind jedoch weitere Auswertungen mittels Strukturgleichungsmodellen erforderlich. Über Kompetenzentwicklungen im Verlauf der Technikerfortbildung kann zu diesem Zeitpunkt des Projekts noch keine Aussage getroffen werden. Möglicherweise ergeben sich (partielle) Verschmelzungen der Fachkompetenz erst zum Ende der Fortbildung.

Für einen Vergleich der Fachkompetenzleistungen in den beiden Dimensionen des Fachwissens und der fachspezifischen Problemlöseleistungen sollen latente Konstrukte konstruiert werden, um messfehlerbereinigte Zusammenhänge berechnen zu können. Um Gruppenunterschiede zwischen den Ausprägungen der Konstrukte zu ermitteln, sind umfangreiche Prüfungen der Messinvarianz erforderlich (vgl. Abschnitt 1.2 und Abschnitt 4.3). Wie aus den Ergebnissen in Abschnitt 4.1 zu entnehmen ist, weist jedoch bereits die Stichprobe der angehenden Techniker/-innen eine große Heterogenität auf, weshalb die Prüfungen der Messinvarianz sich zunächst auf diese Untergruppen der Fortbildungsteilnehmer/-innen mit einem Ausbildungshintergrund in der Industrie vs. im Handwerk konzentrieren (vgl. Abschnitt 4.3). Perspektivisch gehören jedoch weitere Messinvarianzprüfungen zwischen den Gruppen der Techniker/-innen, der Auszubildenden sowie der dual Studierenden zum Auswertungsprogramm dieses Projekts, um H4 beantworten zu können.

Gleichwohl leisten die vorliegenden Auswertungen bereits einen Beitrag zur Klärung der Frage nach den einmündenden Personen in eine Fortbildung zum/zur Techniker/-in sowie deren unterschiedliche kognitiven und motivationalen Voraussetzungen. So offenbarten sich deutliche fachliche Leistungsunterschiede zwischen Personen mit einem Ausbildungshintergrund in der Industrie und im Handwerk. Belegen lassen sich auch die Motive für die Wahl der Fortbildung. Im Einklang mit anderen Studien zeigen sich Aufstiegs- und Einkommensmotive als zentrale Motivatoren. Entsprechend theoretischer Überlegungen zeigen sich in der Regressionsanalyse (vgl. Abschnitt 4.5) fluide und kristalline (vorwissensbezogene) Intelligenzkomponenten als sehr bedeutsam für den weiteren Wissensaufbau. Auch dieser Befund lässt sich gut in die Forschungslandschaft integrieren. Nur die Rolle der Trait-Motivation konnte in der bisherigen Analyse entgegen der Erwartungen keine Bedeutsamkeit entfalten (vgl. Fragestellung 2 in Abschnitt 2.1). Es wird angestrebt, diesen Befund durch weitere Analysen zu erhellen und dabei beispielsweise die Rolle der Testmotivation ergänzend in den Blick zu nehmen. Die Berufserfahrung und die dabei erworbenen Wissensbestände wurden im Regressionsmodell in Abschnitt 4.5 als Häufigkeit der Ausübung bestimmter Tätigkeiten aufgenommen und konnten in dieser Operationalisierungsform bislang keine Wirkung entfalten (vgl. Fragestellung 2 und H7 in Abschnitt 2.1). Alternativ wäre denkbar, die Berufserfahrung auch über deren zeitliche Dauer in weiteren Modellen abzubilden und zu untersuchen, ob sie dadurch für die Varianzaufklärung der Leistungsdaten bedeutsam wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zum gegenwärtigen Stand des Projekts vor allem deutlich wird, dass die Heterogenität in den Fachschulen sehr stark ausgeprägt ist. Dies gilt sowohl für die kognitiven Eingangsvoraussetzungen, die formalen Abschlüsse und Kompetenzprofile als auch die beruflichen Erfahrungen. Das stellt an die didaktischen Handlungsprogramme hohe

Anforderungen, sofern der Anspruch aufrechterhalten wird, allen Teilnehmenden eine substantielle Kompetenzentwicklung zu ermöglichen. Im Längsschnitt wird vor diesem Hintergrund vor allem von Interesse sein, inwieweit die unterschiedlichen Leistungsgruppen von den Lehrangeboten profitieren können. Im Vordergrund der Weiterbildungsaufnahme stehen Aufstiegs motive, aber auch inhaltliche Entwicklungsperspektiven. Im Hinblick auf die Kompetenzstruktur deuten die ersten Analyseergebnisse darauf hin, dass auch zu Beginn der Techniker Ausbildung noch ähnliche Ausdifferenzierungen der Kompetenzstruktur wie am Ende der Ausbildung beobachtet werden können. Ob während der Techniker Ausbildung (partielle) Integrationsprozesse beobachtet werden können, werden die längsschnittlichen Analysen zeigen. Im Hinblick auf die dokumentierten Kompetenzausprägungen wird deutlich, dass zwischen den Weiterbildungsteilnehmenden mit handwerklichem und industriellem Erfahrungshintergrund z.T. deutliche Kompetenzunterschiede bestehen und zugleich die Arbeitserfahrungen in Teilbereichen deutlich differieren, was in Einklang mit dem Forschungsstand steht. Zu erwarten ist, dass für die Kompetenzentwicklung weniger die Dauer der Arbeitserfahrung als der Anreicherungsreichtum dieser Erfahrungen bedeutsam wird.

Mit diesem Projekt wurde erstmals im Bereich der Techniker Ausbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik eine Kompetenzmodellierung vorgenommen. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die Instrumente für den ins Auge gefassten Personenkreis trotz dessen hoher Heterogenität reliable Abschätzungen der berufsfachlichen Kompetenz erwarten lassen. Dringlich scheinen bereits vor dem Hintergrund der bisher vorgelegten Ergebnisse vertiefende Analysen, inwieweit es den Lehrkräften gelingt, in diesen hoch heterogenen Gruppen für alle Teilnehmenden fruchtbare Lernbedingungen zu schaffen. Die Erkenntnispotentiale des Gesamtprojekts liegen darüber hinaus aber vor allem in den längsschnittlichen und vergleichenden Analysen, die im weiteren Projektverlauf erfolgen werden.

Zum gegenwärtigen Projektzeitpunkt scheinen in einer praktischen Perspektive vor allem die didaktischen Implikationen des Heterogenitätsproblems bedeutsam. Es ist eher unwahrscheinlich, dass es den Lehrenden unter diesen Bedingungen gelingt, ein Lernumfeld zu schaffen, das für alle Leistungsgruppen entwicklungsgünstig ist. Zu sondieren wäre in diesem Kontext, inwieweit dieser Problematik durch äußere und/oder innere Differenzierung begegnet werden kann. Vorteilhaft dürfte für das praktische Handlungsfeld die sowohl instrumentell (Aufstiegsorientierung) als auch inhaltliche Motivation der Weiterbildungsaufnahme sein.

## **Veröffentlichungen**

Aufgrund der hohen Entwicklungs- und Erhebungsaufwände sowie des komplexen Erhebungsdesigns liegen bislang keine abgeschlossenen Veröffentlichungen vor. Allerdings wird derzeit an verschiedenen Themen (siehe Kapitel 4 zu den Ergebnissen) gearbeitet, mehrere Fragestellungen ausgewertet und entsprechende Publikationen vorbereitet. Dabei wird derzeit beispielsweise eine Veröffentlichung zur Heterogenität der Stichprobe sowie den Eingangsvoraussetzungen in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner auf den Weg gebracht.

## Literaturverzeichnis

- ABELE, Stephan u.a.: Dynamische Problemlösekompetenz - Ein bedeutsamer Prädiktor von Problemlöseleistungen in technischen Anforderungskontexten? In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 15 (2012) 2, S. 363-391
- ABELE, Stephan: Modellierung und Entwicklung berufsfachlicher Kompetenz in der gewerblich-technischen Ausbildung. Stuttgart 2013
- ACKERMAN, Phillip, L.: A Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests, and Knowledge. In: Intelligence (1996) 22, S. 227-257
- ACKERMAN, Phillip, L.: Cognitive Ability and Non-Ability Trait Determinants of Expertise. In: Educational Researcher (2003) 32, S. 15-20
- ACKERMAN, Phillip, L.; BEIER, Margaret E.: Determinants of Domain Knowledge and Independent Study Learning in an Adult Sample. In: Journal of Educational Psychology (2006) 98, S. 366-381
- BAETHGE, Martin; SEEBER, Susan: Die gemeinsame theoretische und methodische Basis der ASCOT-Projekte. In: BECK, Klaus; LANDENBERGER, Margarete; OSER, Fritz (Hrsg.): Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT. Bielefeld 2016, S. 15-31
- BECK, Klaus; LANDENBERGER, Margarete; OSER, Fritz: Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT. Bielefeld 2016
- BOEKAERTS, Monique: The On-Line Motivation Questionnaire: A self-report instrument to assess students' context sensitivity. In: Maehr, Martin L.; Pintrich, Paul R. (Series Eds.); Pintrich, Paul R.; Maehr, Martin L. (Vol. Eds.): Advances in motivation and achievement: (Vol. 12). New directions in measures and methods. Amsterdam 2002, S. 77-120
- BOONE, William J.; STAVER, John R.; YALE, Melissa S.: Rasch analysis in the human sciences. Dordrecht 2014
- CATTELL, Raymond B.: Intelligence: It's Structure, Growth and Action. Amsterdam 1987
- DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG (DIHK): Aufstieg mit Weiterbildung. Umfrage-Ergebnisse 2014. Berlin 2014 Verfügbar unter: <http://www.dihk.de/themenfelder/aus-und-weiterbildung/weiterbildung/weiterbildungspolitik/umfragen-und-prognosen/weiterbildungserfolgsumfrage-2014> [Stand 21.06.2016]
- DIETZEN, Agnes; NICKOLAUS, Reinhold; RAMMSTEDT, Beatrice; WEIß, Reinhold (Hrsg.): Bildungsstandards und Kompetenzorientierung. Bonn 2016
- FLAKE, Regina; WERNER, Dirk; ZIBROWIUS, Michael: Karrierefaktor berufliche Bildung. Eine empirische Untersuchung der Einkommens- und Arbeitsmarktperspektiven von Fachkräften mit Fortbildungsabschluss im Vergleich zu Akademikern. Köln 2016 Verfügbar unter: <http://www.iwkoeln.de/studien/gutachten/beitrag/regina-flake-dirk-werner-michael-zibrowius-karrierefaktor-berufliche-fortbildung-263655> [Stand 21.06.2016]

- GEIßEL, Bernd; HEDRICH, Matthias: Identifizierung von Barrieren der Störungsdiagnose in simulierten und realen Anforderungssituationen bei Elektronikern. In: Faßauer, Uwe; Aff, Josef; Fürstenau, Bärbel; Wuttke, Eveline (Hrsg.): Lehr-Lernforschung und Professionalisierung: Perspektiven der Berufsbildungsforschung. Opladen 2011, S. 11-23
- GÖNNENWEIN, Annette; NITZSCHKE, Alexander; SCHNITZLER, Annalisa: Fachkompetenzerfassung in der gewerblichen Ausbildung am Beispiel des Ausbildungsberufs Mechatroniker/-in - Entwicklung psychometrischer Fachtests. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis 40 (2011) 5, S. 14–18
- GROTLÜSCHEN, Anke; KUBSCH, Eva: Interesseträgheit in der kaufmännischen Aufstiegsfortbildung. In: bwp@-Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (2010) 19
- GSCHWENDTNER, Tobias; ABELE, Stefan; NICKOLAUS, Reinhold: Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistung von KFZ-Mechatronikern. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 105 (2009) 4, S. 556-578
- HALL, Anja: Fortbildungs- versus Hochschulabschluss: Einkommen im Vergleich. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2013) 5, S. 4-5
- HALL, Anja: Lohnt sich Aufstiegsfortbildung? In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2014) 4, S. 18-21
- HARTIG, Johannes: Kompetenzen als Ergebnisse von Bildungsprozessen. In: JUDE, Nina; HARTIG, Johannes; KLIEME, Eckhard (Hrsg.): Kompetenzerfassung in pädagogischen Handlungsfeldern. Theorien, Konzepte und Methoden. Herausgegeben vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Band 26. Bonn, Berlin 2008, S. 15-25
- HU, Li-tze; BENTLER, Peter M.: Cutoff Criteria for Fit Indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria Versus New Alternatives. In: Structural Equation Modeling (1999) 6, S. 1-55
- KIEFER, Thomas; ROBITZSCH, Alexander; WU, Margaret: TAM: Test Analysis Modules. R package, Version 1.16-0. 2016 <https://CRAN.R-project.org/package=TAM> [16.06.2016]
- KLIEME, Eckhard; MAAG-MERKI, Katharina; HARTIG, Johannes: Kompetenzbegriff und Bedeutung von Kompetenzen im Bildungswesen. In: HARTIG, Johannes; KLIEME, Eckhard (Hrsg.): Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik. Herausgegeben vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Band 20. Bonn, Berlin 2007, S. 5-15
- KRAMER, Jochen: Allgemeine Intelligenz und beruflicher Erfolg in Deutschland. In: Psychologische Rundschau (2009) 60, S. 82-98
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (KMK): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit den Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Berlin 2007

KULTUSMINISTERKONFERENZ (KMK): Rahmenvereinbarung über Fachschulen vom 07.11.2002 i.d.F. vom 25.06.2015. Verfügbar unter: [http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2002/2002\\_11\\_07-RV-Fachschulen.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2002/2002_11_07-RV-Fachschulen.pdf) [16.06.2016]

LEHMANN, Rainer; SEEBER, Susan; HUNGER, Susanne; GÄNSFUSS, Rüdiger: ULME I: Untersuchung der Leistungen, Motivationen und Einstellungen zu Beginn der beruflichen Ausbildung. Behörde für Bildung und Sport, Amt für berufliche Bildung und Weiterbildung. Hamburg 2005

MILLER, Tess; CHAHINE, Saad; CHILDS, Ruth A.: Detecting Differential Item Functioning and Differential Step Functioning Due to Differences that Should Matter. In: Practical Assessment, Research & Evaluation (2010) 15, S. 1-13

NICKOLAUS, Reinhold: Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und Ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung – Forschungsstand und Perspektiven. In: ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA, Olga (Hrsg.): Stationen empirischer Bildungsforschung. Traditionslinien und Perspektiven. Wiesbaden 2011, S. 331-351

NICKOLAUS, Reinhold; ABELE, Stephan; GSCHWENDTNER, Tobias; NITZSCHKE, Alexander; GREIFF, Samuel: Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen – Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (2012) 108, S. 243-272

NICKOLAUS, Reinhold; BEHRENDT, Stefan; ABELE, Stephan: Kompetenzstrukturen bei KFZ-Mechatronikern und die Erklärungskraft des fachsystematischen KFZ-Wissens für berufsfachliche Kompetenzen. In: Unterrichtswissenschaft (2016) H2, S. 114-130

NICKOLAUS, Reinhold; GEIßEL, Bernd: Electricians. In: Feasibility Study VET-LSA. A comparative analysis of occupational profiles and VET programmes in 8 European countries – International report. Bonn Berlin 2009a

NICKOLAUS, Reinhold; GEIßEL, Bernd: Förderung schwächerer Auszubildender in der schulischen Berufsbildung. Teilprojekt II: Förderung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit in der elektrotechnischen Grundbildung. In: Abschlussveranstaltung Programm „Bildungsforschung“ Stuttgart 2009b, S. 87-96

NICKOLAUS, Reinhold; GSCHWENDTNER, Tobias; ABELE, Stefan: Die Validität von Simulationsaufgaben am Beispiel der Diagnosekompetenz von Kfz-Mechatronikern. Vorstudie zur Validität von Simulationsaufgaben im Rahmen eine VET-LSA. Abschlussbericht. Universität Stuttgart 2009

NICKOLAUS, Reinhold; GSCHWENDTNER, Tobias; ABELE, Stephan: Bringt uns eine genaue Vermessung der erreichten Kompetenzen weiter? In: Die berufsbildende Schule (2013) 65, S. 40-46

NICKOLAUS, Reinhold; MAIER, Annette; NITZSCHKE, Alexander; SCHNITZLER, Annalisa; VELTEN, Stefanie; DIETZEN, Agnes: Zur Relevanz mathematischer Kompetenzen für die Entwicklung berufsfachlicher Kompetenzen bei Auszubildenden der Mechatronik und der Fachinformatik (2015a) 43, S. 263-281

- NICKOLAUS, Reinhold; NITZSCHKE, Alexander; MAIER, Annette; SCHNITZLER, Annalisa; VELTEN, Stefanie; DIETZEN, Agnes: Einflüsse schulischer und betrieblicher Ausbildungsqualitäten auf die Entwicklung des Fachwissens und die fachspezifische Problemlösekompetenz. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (2015b) 3, S. 333-358
- NICKOLAUS, Reinhold; SEEGER, SUSAN: Berufliche Kompetenzen: Modellierungen und diagnostische Verfahren. In: FREY, Andreas; LISSMANN, Urban; SCHWARZ, Bernd (Hrsg.): Handbuch Berufspädagogische Diagnostik. Weinheim 2013, S. 166-195
- NITZSCHKE, Alexander; NICKOLAUS, Reinhold; VELTEN, Stefanie; MAIER, Annette; SCHNITZLER, Annalisa; DIETZEN, Agnes: Kompetenzstrukturen im Ausbildungsberuf Fachinformatiker/-in. In: Dietzen, Agnes; Nickolaus, Reinhold; Rammstedt, Beatrice; Weiß, Reinhold (Hrsg.): Bildungsstandards und Kompetenzorientierung. Bonn 2016
- ONES, Deniz S.; DILCHERT, Stephan; VISWESVARAN, Chockalingam; JUDGE, Timothy A.: In support of personality assessment in organizational settings. In: Personnel Psychology (2007) 60, S. 995-1027
- RAUCH, Dominique; HARTIG, Johannes: Interpretation von Testwerten in der IRT. In: Moosbrugger, Helfried; Kelava, Augustin (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion (2. Aufl.). Heidelberg 2012, S. 253-264
- REINECKE, Jost: Strukturgleichungsmodelle in den Sozialwissenschaften. Wien 2005
- ROBBINS, Steven B.; LAUVER, Kristy; LE, Huy; DAVIS, Daniel; LANGLEY, Ronelle: Do Psychosocial and Study Skill Factors Predict College Outcomes? A Meta-Analysis. In: Psychological Bulletin (2004) 130, S. 261-288
- ROSENDAHL, Johannes; STRAKA, Gerald A.: Aneignung beruflicher Kompetenz – interessengeleitet oder leistungsmotiviert? In: ITB Forschungsberichte 24, Universität Bremen 2007
- PRENZEL, Manfred; KRISTEN, Alexandra; DENGLER, Petra; ETTLE, Roland; BEER, Thomas: Selbstbestimmt motiviertes und interessiertes Lernen in der kaufmännischen Erstausbildung. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (1996) Beiheft 13, S. 108-127
- SCHÖNBRODT, Felix D.; GERSTENBERG, Friederike X. R.: An IRT analysis of motive questionnaires. The Unified Motive Scales. In: Journal of Research in Personality (2012) 46, S. 725-742
- SCHULER, Heinz; PROCHASKA, Michael: Leistungsmotivationsinventar. Göttingen 2001
- SCHUPP, Jürgen; GERLITZ, Jean-Yves: Big Five Inventory-SOEP (BFI-S). Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen. 2014 doi: 10.6102/zis54
- STEGMANN, Sebastian; VAN DICK, Rolf; ULLRICH, Johannes; CHARALAMBOUS, Julie; MENZEL, Birgit; EGOLD, Nikolai; TAI-CHI WU, Tina: Der Work Design Questionnaire. Vorstellung und erste Validierung einer deutschen Version. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie (2010) 54, S. 1-28

- SÜß, Heinz-Martin; BEAUDUCEL, André: Intelligenztests und ihre Bezüge zu Intelligenztheorien. In: Hornke, Lutz, F.; Amelang, Manfred; Kersting, Martin: Leistungs-, Intelligenz- und Verhaltensdiagnostik. Göttingen 2011, S. 97-234
- SUN, Ron: The CLARION Cognitive Architecture: Extending Cognitive Modeling to Social Simulation. In: Sun, Ron (Hrsg.): Cognition and Multi-Agent Interaction. New York 2006
- TEMME, Dirk; HILDEBRANDT, Lutz: Gruppenvergleiche bei hypothetischen Konstrukten – Die Prüfung der Übereinstimmung von Messmodellen mit der Strukturgleichungsmethodik. In: SFB 649 Discussion Paper. Berlin 2008
- TILLMANN, Heinrich; BLÖTZ, Ulrich: Berufliche Entwicklung durch Aufstiegsfortbildung – Stand und Perspektiven. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2002) 3, S. 24-28
- WALKER, Felix; LINK, Nico; NICKOLAUS, Reinhold: Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (2015) 2, S. 222-241
- WEIß, Reinhold: Anerkannte Fortbildungsabschlüsse – Aufstiegsfortbildung unter Reformdruck. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (2014) 4, S. 6-7
- WEIß, Rudolf H.: Grundintelligenztest CFT 3. Braunschweig 1971
- WEINERT, Franz E.: Lernmotivation- Psychologische Forschung und pädagogische Aufgabe. In: Unterrichtswissenschaft (1980) 3, S. 197-205
- WIRTH, Joachim; FUNKE, Joachim: Dynamisches Problemlösen: Entwicklung und Evaluation eines neuen Messverfahrens zum Steuern komplexer Systeme. In: KLIEME, Eckart; LEUTNER, Detlev; WIRTH, Joachim (Hrsg.): Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie. Wiesbaden 2005, S. 55-72
- ZINKE, Gert; SCHENK, Harald; KRÖLL, Jan: Ergebnisse einer Online Befragung zur Berufsfeldanalyse der industriellen Elektroberufe. Bundesinstitut für Berufsbildung. Bonn 2014 Verfügbar unter: [https://www.bibb.de/dokumente/pdf/Ergebnisse\\_einer\\_Online-Befragung.pdf](https://www.bibb.de/dokumente/pdf/Ergebnisse_einer_Online-Befragung.pdf) [27.06.2016]