Felix Walker / Nico Link / Reinhold Nickolaus

Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird bezogen auf Elektroniker für Automatisierungstechnik der Frage nachgegangen, ob sich für die domänenspezifische Problemlösefähigkeit mehrdimensionale Strukturen empirisch bestätigen lassen, wie das für das berufsfachliche Wissen in aller Regel, zumindest gegen Ende der Ausbildung, beobachtet werden kann. Die Ergebnisse dokumentieren eine zweidimensionale Struktur, die durch die analytische und konstruktive Problemlösfähigkeit aufgespannt wird. Die zweidimensionale Struktur bleibt auch bei Einbezug des Fachwissens und der allgemeinen kognitiven Fähigkeiten in die Modellierung erhalten. Prädiktiv für die analytische und konstruktive Problemlösefähigkeit werden ausschließlich jene Wissensbereiche, die auch inhaltlich große Affinitäten zu den Problemlöseanforderungen besitzen. Die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten gehen nur indirekt über das Fachwissen in das Erklärungsmodell für die Problemlösefähigkeiten ein.

Abstract: The following article focuses on the domain-specific problem-solving abilities of electronics technicians for automation technology at the end of their apprenticeship. It addresses the question whether the empirical data confirm a multi-dimensional structure of the construct, which has been observed repeatedly with regard to professional knowledge at a similar point in time. Our results document a two-dimensional structure of domain-specific problem solving consisting of an analytical and a constructive dimension. This two-dimensional structure remains stable even if professional knowledge and general cognitive abilities are included in the model. Additionally, only knowledge areas that are closely related to the problem-solving requirements are predictive for the analytical and constructive problem-solving abilities. General cognitive abilities have only an indirect effect on domain-specific problem solving, mediated by professional knowledge.

1 Einleitung

Strukturen berufsfachlicher Kompetenzen zeigen an, welche Subdimensionen bzw. Dispositionsbündel theoretisch und gegebenenfalls auch empirisch unterschieden werden können. Diese Subdimensionen stellen – gegebenenfalls auch als Basis von integrativen Verarbeitungsprozessen – das Potenzial dar, um spezifische (problemhaltige) Aufgabenzuschnitte bewältigen zu können. Ihre Entwicklung scheint stark durch curriculare Schwerpunktsetzungen und die Konfrontation mit (beruflichen) Anforderungen beeinflusst (s. u.), die nicht nur für die jeweiligen Ausprägungen der Subdimensionen sondern ebenso für deren Relationierung, sprich ihre strukturellen Bezüge bedeutsam scheinen. Die Entwicklung berufsfachlicher Kompetenzen bleibt damit nicht nur auf Entwicklungsprozesse innerhalb von einzelnen Subdimensionen beschränkt sondern betrifft auch deren Zusammenhänge, für die im Ausbildungsverlauf z. T. auch Ausdifferenzierungen und Integrationsprozesse berichtet werden (im Überblick Seeber/Nickolaus 2010). Empirisch gestützte Aussagen zu strukturellen Ausprägungen berufsfachlicher Kompetenz, die wie in diesem Beitrag auf Querschnittsstudien beruhen, stellen damit immer Momentaufnahmen dar. Aussagen zu berufsfachlichen Kompetenzstrukturen am Ausbildungsende scheinen in mehrfacher Hinsicht auch praktisch bedeutsam: (1) Geben sie Hinweise, für

welche Anforderungsbereiche mit unterschiedlichen Kompetenzausprägungen zu rechnen ist, (2) für welche Subdimensionen eine valide Prüfung vorzusehen wäre und (3), welche Entwicklungsbedürfnisse im Anschluss an eine genauere Vermessung vor dem Hintergrund spezifischer Sollvorstellungen bestehen. Während auf der Ebene des Fachwissens in gewerblich-technischen Domänen gegen Ende der Ausbildung nahezu durchgängig mehrdimensionale Ausprägungen berichtet werden (im Überblick Nickolaus/Seeber 2013), sind die auf der Anwendungsebene identifizierten Strukturen in der Regel eindimensional. Vermutet wird allerdings, dass dies durch die Testgestaltungen begünstigt wird, die sich bisher in gewerblich-technischen Domänen häufig auf die Erfassung analytischer Problemlöseleistungen beschränkten, wie sie beispielsweise bei Kfz Mechatronikern und Elektronikern bei der Diagnose und Reparatur defekter technischer Systeme bedeutsam werden. In diesen Domänen wurden die erfassten Fehlerdiagnoseleistungen als Ausdruck domänenspezifischer Problemlösefähigkeit interpretiert, da sich die den einschlägigen Tests zugrunde liegenden Anforderungen in der Praxis als besonders herausfordernd erweisen (vgl. Becker 2005). Daneben werden zumindest für stärker manuell geprägte Anforderungen korrespondierende Subdimensionen unterstellt, die vor allem Fertigkeiten repräsentieren. Inwieweit auch Ausdifferenzierungen innerhalb der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit identifiziert werden können, ist bisher in gewerblich technischen Domänen nicht untersucht. Dieser Frage gehen wir im Folgenden am Beispiel des Elektronikers für Automatisierungstechnik nach, für den wir auf Grund der vorliegenden Anforderungscharakteristiken (vgl. Zinke/Schenk/Kröll 2014; Kallies/Hägele/Zinke 2014) vermuten, dass sich gegen Ausbildungsende eine mehrdimensionale Struktur der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit bestätigen lässt.

2 Stand der Forschung

2.1 Struktur berufsfachlicher Kompetenz in gewerblich-technischen Berufen

Die Forschungsaktivitäten zur Analyse berufsfachlicher Kompetenzstrukturen wurden in der letzten Dekade intensiviert, nicht zuletzt angestoßen durch die auch in anderen Domänen verstärkt beobachtbare Outputorientierung und die damit verbundenen Bedürfnisse, belastbare Aussagen zu den erzielten Kompetenzen bereit zu stellen. Nach den bisher für eine ganze Reihe von Berufen vorgelegten Strukturanalysen lassen sich domänenübergreifend mit dem Fachwissen und der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit zumindest zwei übergeordnete Subdimensionen berufsfachlicher Kompetenz ausdifferenzieren (im Überblick Nickolaus/Seeber 2013, S. 171), wobei sich zumindest für das Fachwissen auch weitere Ausdifferenzierungen beobachten lassen und manuelle Fertigkeiten als weitere relevante Subdimensionen unterstellt werden.

Operationalisierung/Struktur des Fachwissens

Die strukturelle Modellierung des Fachwissens erfolgte in kaufmännischen Berufen sowohl entlang von Fallsituationen bzw. lernfeldbasiert (vgl. Rosendahl/Straka 2011) als auch nach fachwissenschaftlichen Aspekten (vgl. Seeber 2008). In gewerblich-technischen Domänen wird die Ausdifferenzierung des Fachwissens in der Regel

entlang von Inhaltsbereichen vorgenommen, welche sich durch curriculare Schwerpunktsetzungen des Unterrichts ergeben. Deutliche Hinweise auf die curriculare Induzierung geben im gewerblich-technischen Bereich beispielsweise die Arbeiten von Gschwendtner (2011) und Schmidt/Nickolaus/Weber (2014). Zur Modellierung des Fachwissens auf Basis kognitionspsychologischer Kriterien (deklarativ und prozedural) liegen im kaufmännischen, gewerblich-technischen und im allgemeinbildenden Technikunterricht insoweit uneinheitliche Befunde vor, als die empirische Trennung des deklarativen und prozeduralen Wissens z. T. gelingt (vgl. Winther 2010; Walker 2013), zum Teil jedoch auch nicht (vgl. Gschwendtner 2008; Geissel 2008). Eine mögliche Erklärung für die heterogene Befundlage kann in der unterschiedlichen Operationalisierung des deklarativen und prozeduralen Wissens in den verschiedenen Studien gesehen werden. Vor allem Versuche, sowohl das deklarative als auch das prozedurale Fachwissen mit Hilfe von papier- und bleistiftbasierten Tests zu erheben, scheint die gemeinsame Skalierung von deklarativem und prozeduralem Wissen zu begünstigen.

Operationalisierung/Struktur domänenspezifischer Problemlösefähigkeit

Unter domänenspezifischem Problemlösen wird im gewerblich-technischen Bereich z. T. die Fähigkeit verstanden, das Fachwissen in problemhaltigen und variierenden Anforderungssituationen anzuwenden (vgl. Nickolaus 2011a, S. 333). Das Fachwissen wird somit per *definitionem* als Voraussetzung für das Lösen domänenspezifischer Probleme angesehen. Auszubildende und Facharbeiter in gewerblich-technischen Domänen sehen sich beim Problemlösen einerseits mit konstruktiven und andererseits mit analytischen Anforderungssituationen konfrontiert (vgl. Nickolaus 2011a, S. 334 f.). Bislang fanden in empirischen Arbeiten zum domänenspezifischen Problemlösen in gewerblich-technischen Kontexten allerdings ausschließlich analytische Anforderungskontexte in Form von Fehlerdiagnosen in technischen Systemen Berücksichtigung (vgl. Nickolaus/Gschwendtner/Abele 2009; Nickolaus u. a. 2012), wobei z. T. reale, z. T. jedoch auch simulierte Arbeitsproben bei der Operationalisierung zum Einsatz kamen. Die Fähigkeit, Ursachen für die Defekte in technischen Systemen zu identifizieren sowie geeignete Behebungsvorschläge zu benennen (vgl. Wiedemann 1995; Abele/Walker/Nickolaus 2014) wird als analytische Facette domänenspezifischer Problemlösefähigkeit aufgefasst. Offen ist in gewerblich-technischen Berufen die Frage, ob sich diese analytische Facette empirisch von konstruktiven Problemlösefähigkeiten unterscheiden lässt.

2.1.1 Berufsfachliche Kompetenzstrukturen in gewerblich-technischen Domänen

Für das Fachwissen von Kfz-Mechatronikern und Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik werden in den vorliegenden Untersuchungen am Ende des ersten Ausbildungsjahres eindimensionale Wissensstrukturen (vgl. Gschwendtner 2008, S. 104 ff.; Geissel 2008, S. 25 ff.) dokumentiert, die sich im weiteren Verlauf der Ausbildung allerdings ausdifferenzieren. So konnten bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik am Ende der Ausbildung drei Subdimensionen des Fachwissens empirisch bestätigt werden, die durch elektrotechnische Grundlagen, traditionelle Installationstechnik und moderne Installations- und Steuerungstechnik aufgespannt werden (vgl. Nickolaus u. a. 2011, S. 85 f.). Einen ähnlichen Ausdifferenzierungs-

prozess des Fachwissens konnte für Kfz-Mechatroniker am Ende ihrer Ausbildung bestätigt werden. Gschwendtner (2011) identifizierte für das Ausbildungsende eine sechsdimensionale Fachwissensstruktur, die durch die Analysen von Schmidt/Nickolaus/Weber (2014) auf der Basis eines alternativen Instruments weitestgehend gestützt bzw. repliziert wurde (vgl. Schmidt/Nickolaus/Weber 2014, S. 561).

Die zentrale Bedeutung des Fachwissens für domänenspezifisches Problemlösen zeigen die in allen bisher vorgelegten Analysen dokumentierten Zusammenhänge (r = .61 bis .86) zwischen den beiden Subdimensionen berufsfachlicher Kompetenz (z. B. Gschwendtner 2008, S. 106; Nickolaus u. a. 2011, S. 86 ff.). Analysiert man bei den Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik am Ende der Ausbildung die Korrelationen zwischen den Subdimensionen des Fachwissens (1-traditionelle Installationstechnik, 2-elektrotechnische Grundlagen, 3-Steuerungstechnik/moderne Installationstechnik) mit der analytischen 4-Problemlösefähigkeit, so zeigen sich nur für jene Subdimensionen des Fachwissens hohe Korrelationen, die in der Anforderungssituation auch theoretisch relevant werden ($r_{1,4}$ = .38; $r_{2,4}$ = .67; $r_{3,4}$ = .61) (vgl. ebd., S. 86 ff.). Diesen Befund könnte man dahin gehend deuten, dass Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik die Fehleranalyse an technischen Systemen insbesondere unter Zuhilfenahme von Wissensinhalten zu elektrotechnischen Grundlagen sowie Steuerungstechnik/moderne Installationstechnik betreiben. Diese Bereichs- und Situationsspezifität des für das Problemlösen prädiktiv werdenden Wissens ist aus psychologischen Befunden bereits hinlänglich bekannt (vgl. Funke 2003, S. 198 ff.). Umfassendere Analysen zu den Problemlöseleistungen von Kfz-Mechatronikern und Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik, in welchen neben der fluiden Intelligenz (vgl. Weiss 2006) und dem Fachwissen auch allgemeine komplexe (dynamische) Problemlösefähigkeiten (vgl. Greiff/Funke 2010) als potenzielle Prädiktoren der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit Berücksichtigung fanden, wurden von Abele u. a. (2012) vorgelegt. Dabei erweisen sich die fluide Intelligenz und die komplexe (dynamische) Problemlösefähigkeit als empirisch unterscheidbare und in mittlerer Größenordnung assoziierte Konstrukte (Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik: r = .54; Kfz-Mechatroniker: r = .45), die allerdings beide lediglich vermittelt über das Fachwissen für die domänenspezifischen Problemlösefähigkeit prädiktiv werden (vgl. Abele u. a. 2012, S. 384 ff.). Partiell lassen sich in gewerblich technischen Domänen allerdings auch direkte Pfade der allgemeinen kognitiven Fähigkeiten auf die Problemlöseleistungen beobachten, wofür u. a. die besonders ausgeprägte Heterogenität der kognitiven Voraussetzungen und spezifische Testzuschnitte als ursächlich vermutet werden (vgl. Petsch/Norwig/Nickolaus 2015).

2.1.2 Elektroniker für Automatisierungstechnik

Empirisch gestützte Aussagen zur Struktur berufsfachlicher Kompetenz von Elektronikern für Automatisierungstechnik liegen bisher nicht vor. Ähnlichkeiten zur Kompetenzstruktur von Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik scheinen allerdings naheliegend, da beide Berufe auf einer gemeinsamen Grundbildung aufbauen[1] und trotz der Berufsspezifik auch strukturelle Gemeinsamkeiten auf-

1 Die Inhalte, respektive Lernfelder des ersten Ausbildungsjahrs sind für alle elektrotechnischen Berufe identisch gestaltet.

weisen. Plausibel scheint auch die Annahme, dass sich angesichts der großen Überschneidungen in den Tätigkeiten von Mechatronikern und Elektronikern für Automatisierungstechnik die für Mechatroniker identifizierten Kompetenzstrukturen (vgl. Gönnenwein/Nitzschke/Schnitzler 2011) ähnlich auch für die Elektroniker bestätigen lassen. Basierend auf curricularen Analysen und Experteneinschätzungen (aus Betrieb, Schule und Prüfungspraxis) wurde für den Beruf des Mechatronikers eine fünfdimensionale Fachwissensstruktur vermutet (elektrotechnische und mechanische Grundlagen, elektrische und mechanische Systeme sowie Steuerungstechnik (vgl. Gönnenwein/Nitzschke/Schnitzler 2011, S. 16).

Wesentliche Anhaltspunkte für die theoretische Modellierung geben auch die vorliegenden Tätigkeitsanalysen von Elektronikern der Automatisierungstechnik. Die von Zinke/Schenk/Kröll (2014) vorgelegte Analyse der betrieblichen Tätigkeiten von Elektronikern für Automatisierungstechnik, in die 64 von 80 Kammerbezirken einbezogen wurden, führt als Haupttätigkeitsfelder die Instandhaltung und Wartung (von 78.3 % der Befragten angeführt) sowie die Montage und Inbetriebnahme (75.4 %) an. Weniger zentrale Einsatzbereiche stellen die Produktion, Fertigung und Prüfung (34.8 %) sowie der Kundenservice (34.8 %) dar (vgl. ebd., S. 60). Weitere einschlägige Analysen ergaben a) gemeinsame Tätigkeitsfelder des Elektronikers für Automatisierungstechnik mit anderen elektrotechnischen Berufen, insbesondere mit dem Beruf des Mechatronikers (vgl. Zinke/Schenk/Wasiljew 2014, S. 21) und dokumentierten b) auch allein für die Elektroniker der Automatisierungstechnik relevante Arbeitsprozesse (vgl. Kallies/Hägele/Zinke 2014, S. 20 ff.). Das Erstellen, Erweitern, Anpassen, Verbessern und Optimieren von automatisierungstechnischen Anlagen und entsprechenden Steuerungsprogrammen gehören neben dem Parametrieren, Testen und Analysieren, Messen und Prüfen von Anlagenkomponenten zu den immanenten und alleinigen Tätigkeiten der Elektroniker für Automatisierungstechnik (vgl. Zinke/Schenk/Kröll 2014, S. 63). An dieser Stelle besonders hervorzuheben sind Aufgaben im Bereich der Programmänderung bzw. der eigenständigen Neuprogrammierung von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), was nach Zinke/Schenk/Kröll (2014) „zum Tagesgeschäft" der Elektroniker für Automatisierungstechnik gehört (Zinke/Schenk/Kröll 2014, S. 29). Gestützt werden die berichteten Ergebnisse von internationalen Analysen zu Berufs- bzw. Tätigkeitsprofilen von Elektronikern im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu einem beruflichen Large-Scale-Assessment (vgl. Nickolaus/Geissel 2009, S. 60 ff.). Demnach stellen die „diagnosis of malfunctions (troubleshooting), problem solving and putting systems back into operation" und das „programming and handling of bus technologies" auch im internationalen Vergleich bei Elektronikern der Automatisierungstechnik hoch relevante Tätigkeiten dar (Nickolaus/Geissel 2009, S. 69). Deutlich wird, dass mit diesen Aufgabenzuschnitten neben analytischen auch in größerem Umfang konstruktive Anforderungen verbunden sind, die z. B. bei der Programmierung steuerungstechnischer Anlagen relevant werden. D. h., die auch in diesem Beruf bedeutsamen analytischen Anforderungskontexte, die z. B. bei der nicht problemlos verlaufenden Inbetriebnahme oder bei der Behebung von Fehlerfällen relevant sind, werden um konstruktive Anforderungskontexte ergänzt, die ein hohes Anspruchsniveau erreichen können und den Gedanken nahe legen, dass neben der analytischen gegebenenfalls auch eine konstruktive Problemlösefähigkeit als eigene Subdimension bestätigt werden kann.

2.2 Befundlagen zur Struktur von Problemlösekompetenzen in außerberuflichen Domänen und deren Beeinflussung durch allgemeine kognitiven Fähigkeiten und einschlägiges Fachwissen

Empirische Hinweise für eine mehrdimensionale Struktur des Problemlösens liefert die Arbeit von Leutner u. a. (2012), die das „fachübergreifende statische Problemlösen" wie es im Rahmen der PISA-Studie erhoben wurde, zum Gegenstand hat. Fachübergreifendes Problemlösen meint hier, dass Probleme sowohl mathematische und naturwissenschaftliche Bezüge als auch Bezüge zum Lesen aufweisen und die zur Lösung nutzbaren Wissensbereiche nicht nur einem der drei Fachgebiete zugeordnet werden können. Weiter wird unter Problemlösen die Fähigkeit einer Person verstanden, kognitive Prozesse zu nutzen, um sich mit realen, fachübergreifenden Problemstellungen, bei denen der Lösungsweg nicht unmittelbar erkennbar ist (vgl. OECD 2003, S. 156) auseinanderzusetzen und sie zu lösen. Da in den Aufgabenstellungen, die der Erfassung dieses Konstrukts zugrunde lagen, alle Informationen, die für die Problemlösung notwendig sind, bereits enthalten waren, wird diese Form des Problemlösens auch als statisch bezeichnet (vgl. OECD 2014, S. 31). Des Weiteren zeigen die Analysen von Leutner u. a. (2012), dass fachübergreifendes statisches Problemlösen zwar hoch mit naturwissenschaftlichen ($r = .80$), mathematischen ($r = .89$) und Lesekompetenzmaßen ($r = .82$) korreliert, empirisch aber ein eigenes Konstrukt darstellt (vgl. Leutner u. a. 2012, S. 35). Regressionsanalytisch zeigt sich, dass fachübergreifendes statisches Problemlösen sowohl einen direkten als auch indirekten Einfluss auf die mathematische ($\beta_{indirekt} = .38$; $\beta_{direkt} = .12$) und naturwissenschaftliche ($\beta_{indirekt} = .33$; $\beta_{direkt} = .17$) Kompetenz (Ende 10. Klasse) besitzt (vgl. Leutner/Fleischer/Wirth 2006, S. 125 ff.). Ähnliche Ergebnisse konnten für die kognitive Grundfähigkeit festgestellt werden. Allerdings fallen die indirekten und direkten Effekte der kognitiven Grundfähigkeit auf die mathematische ($\beta_{indirekt} = .19$; $\beta_{direkt} = .11$) und naturwissenschaftliche ($\beta_{indirekt} = .15$; $\beta_{direkt} = .09$) Kompetenz geringer aus (vgl. Leutner/Fleischer/Wirth 2006, S. 127 ff.). Bezogen auf die Dimensionalität des fachübergreifenden statischen Problemlösens ließ sich diese als dreidimensionales Konstrukt in eher konstruktive (1. Systeme entwerfen, 2. Entscheidungen treffen) und eher analytische (3. Fehler suchen) Anforderungen abbilden, wobei die drei Dimensionen hoch untereinander korrelieren ($r = .73–.93$) (vgl. Leutner u. a. 2012, S. 37 f.).

Befunde zum domänenspezifischen Problemlösen im naturwissenschaftlichen Bereich liegen vereinzelt vor. Scherer/Tiemann (2012) nehmen ihre Operationalisierung des domänenspezifischen Problemlösens in Anlehnung an das obige PISA-Framework zum Problemlösen vor (vgl. OECD 2014, S. 31). Domänenspezifisches Problemlösen in der Chemie umfasst nach Scherer/Tiemann (2012) „statische" und dynamische Momente, in denen durch Interaktion mit einem System situationsrelevantes Wissen generiert und strategisch angewendet werden muss (vgl. Scherer/Tiemann 2012, S. 1202 ff.). Die zunächst vermutete eindimensionale Struktur chemischen Problemlösens (statisch, dynamisch, Strategiewissen) ließ sich empirisch nicht bestätigen. Statt dessen bildet das Strategiewissen, welches in der Problemsituation Anwendung findet, neben der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit (statisch und dynamisch) ein empirisch eigenes Konstrukt (vgl. Scherer/Tiemann 2012, S. 1206 ff.). Als weitere Variable wurden in dieser Studie das Fachwissen, die fluide Intelligenz, das Fachinteresse, das fachbezogene Selbstkonzept und unterschiedliche Aspekte zur Computererfahrung erfasst. Nach Eliminierung aller nicht signifikanten

Regressionskoeffitienten aus dem Regressionsmodell, mit der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit als abhängiger Variable, konnten nur das Fachwissen, die fluide Intelligenz sowie die Computererfahrung signifikante Beiträge zur Varianzaufklärung leisten (vgl. Scherer/Tiemann 2012, S. 1209). Das entstandene Regressionsmodell konnte 14.5% der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit erklären ($R^2 = .145$). In einer weiteren Studie konnte Scherer (2012) diese Struktur über die Schulstufen der 8., 10. und der 12. Klasse replizieren (vgl. Scherer 2012, S. 232ff.).

3 Das Modell berufsfachlicher Kompetenzstruktur von Elektronikern der Automatisierungstechnik

Der Klärung der Frage, welche Struktur berufsfachlicher Kompetenz bei den Elektronikern für Automatisierungstechnik empirisch gestützt werden kann, liegt im Weiteren das in Abbildung 1 dargestellte Modell zugrunde, das im Anschluss an die oben skizzierte Befundlage generiert wurde.

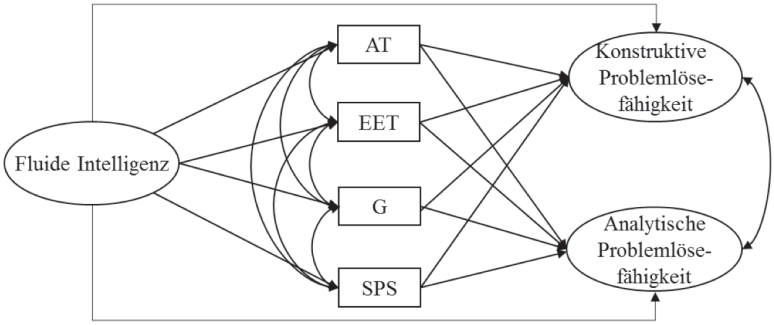


Abb. 1: Theoretisches Modell berufsfachlicher Kompetenz von Elektronikern der Automatisierungstechnik am Ende ihrer Ausbildung

Der darin unterstellte direkte Einfluss der fluiden Intelligenz auf das Fachwissen steht lediglich partiell in Einklang mit den berichteten Ergebnissen aus den gewerblich-technischen und naturwissenschaftlichen Bereichen (vgl. Abschnitt 2.1 und 2.2). Für einen direkten Effekt der fluiden Intelligenz auf die Problemlösefähigkeit sprechen die Befunde aus dem naturwissenschaftlichen Bereich, wohingegen im gewerblich-technischen Bereich in den meisten Studien kein direkter Einfluss festgestellt werden konnte. Zum Teil finden sich in den vorliegenden Studien aus dem Feld beruflicher Bildung allerdings auch direkte Einflüsse (vgl. Petsch/Norwig/Nickolaus 2015). Offen ist also, ob sich bei den Elektronikern für Automatisierungstechnik direkte Effekte der fluiden Intelligenz auf die domänenspezifische Problemlösefähigkeit zeigen. Für das Fachwissen unterstellen wir in Anlehnung an die Ergebnisse zum Beruf des Mechatronikers und die Tätigkeitsanalysen der Elektroniker für Automatisierungstechnik eine vierdimensionale Struktur, die durch die Subdimensionen Automatisierungstechnik (AT), elektrische Energietechnik (EET), elektrotechnische Grundlagen (G) und speicherprogrammierbare Steuerungstechnik (SPS) aufgespannt wird. Dass das Fachwissen den stärksten Prädiktor für die Problemlösefähigkeit darstellt, konnte sowohl in den Studien aus dem allgemeinbildenden als auch dem gewerblich-technischen Bereich

festgestellt werden. Insbesondere die oben skizzierten Ergebnisse zum Zuschnitt der Tätigkeitsfelder des Elektronikers für Automatisierungstechnik und die Ergebnisse zum fächerübergreifenden Problemlösen lassen neben einer analytischen auch eine konstruktive Facette der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit vermuten.

4 Hypothesen/Forschungsfragen

Im Anschluss an die berichteten Befunde (vgl. Abschnitt 2.1) und das unterstellte Modell berufsfachlicher Kompetenz (vgl. Abschnitt 3) lassen sich für die Struktur berufsfachlicher Kompetenz bei Elektronikern der Automatisierungstechnik folgende Hypothesen formulieren:

H1: Konstruktive und analytische Problemlösefähigkeit stellen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik zwar zusammenhängende jedoch empirisch separierbare Facetten der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit dar (H1.1), die auch unter Einbezug des Fachwissens und der fluiden Intelligenz erhalten bleiben (H1.2).

H2: Auf Grund der Bereichs- bzw. Anforderungsspezifität der Problemlösefähigkeit tragen primär jene Subdimensionen des Fachwissens zur Erklärung der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit bei, die enge inhaltliche Bezüge zur Anforderungssituation besitzen.

H3: Sofern das Fachwissen in die Modellierung aufgenommen wird, ergibt sich nur noch ein indirekter Einfluss der kognitiven Grundfähigkeit (mediiert über das Fachwissen) auf die Problemlösefähigkeit.

5 Methode

5.1 Stichprobe

Zur Hypothesenprüfung wurden 124 Auszubildende des Berufs Elektroniker für Automatisierungstechnik herangezogen. Die Datenerhebung fand von Ende 2013 bis Frühjahr 2014 statt.[2] Die Auszubildenden waren überwiegend männlich (87,8 %) im Mittel $M = 19{,}20$ ($SD = 1{,}80$) Jahre alt und befanden sich im 3. oder im 4. Ausbildungsjahr (74,6 %). 82,9 % besitzen als höchsten Schulabschluss einen mittleren Bildungsabschluss (Hauptschule 8,1 %; Gymnasium 8,9 %).

5.2 Instrumente

Die Instrumente für die Erfassung der berufsfachlichen Kompetenz für den Beruf des Elektronikers der Automatisierungstechnik wurden im Rahmen der BMBF Forschungsinitiative ASCOT (vgl. www.ascot-vet.net) gemeinsam mit Experten entwickelt, die in der betrieblichen und schulischen Ausbildung sowie der Prüfungspraxis tätig sind. Damit sollte die inhaltliche Validität der Instrumente gewährleistet werden. Ergänzend dazu wurden curriculare Analysen und Befragungen zu den in der Praxis

2 Die vollständige Auswertung aller Auszubildenden (ca. n = 300) ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

realisierten curricularen Schwerpunktsetzungen durchgeführt. Generiert wurden Instrumente zur Erfassung des Fachwissens und der analytischen und konstruktiven Problemlösefähigkeit. Im Folgenden wird insbesondere auf das Instrument zur analytischen Problemlösefähigkeit bzw. der Fehlerdiagnosefähigkeit eingegangen. Eine detaillierte Darstellung des Instrumentes zum konstruktiven Problemlösen bieten Link/Geissel (2015).

5.2.1 Analytische und konstruktive Problemlösefähigkeit

Der inhaltliche Zuschnitt der Instrumente für das Lösen konstruktiver und analytischer Probleme erfolgte unter Berücksichtigung der hoch bedeutsamen Tätigkeitsfelder des Programmierens und Analysierens von Steuerungsprogrammen automatisierungstechnischer Anlagen (vgl. Abschnitt 2.1.2). In konstruktiven Problemstellungen wurden die Auszubilden aufgefordert Steuerungsprogramme gemäß technischer Vorgaben (z. B. Funktionsbeschreibung mit Technologieschema) neu zu entwerfen und zu programmieren oder bestehende Programme zu erweitern. Das Diagnostizieren von Fehlerursachen in Steuerungsprogrammen bildet den Schwerpunkt der analytischen Problemstellungen. Die Itementwicklung folgte dabei der Struktur von Steuerungsprogrammen, die nach Benda (2008) in Betriebsarten-, Schrittketten- und Befehlsausgabenteil unterteilt werden kann (vgl. Benda 2008, S. 145). Daran orientiert wurden zu den drei Steuerungsprogrammstrukturen konstruktive und analytische Anforderungssituationen entwickelt. Fehler in steuerungstechnischen Anlagen können sowohl im Bereich der Hardware als auch im Steuerungsprogramm (Software) liegen (vgl. Tapken 2011, S. 112 ff.). Für die Erfassung der Fehlerdiagnosefähigkeit wurden insgesamt acht Fehlerfälle umgesetzt, deren Ursachen ausschließlich im Steuerungsprogramm (Software) liegen. Basis für die Bearbeitung der Fehler ist eine vorgegebene Störungsprotokollstruktur, die von den Auszubildenden neben einer Störungsbeschreibung eine begründende Beschreibung der Fehlerursache und zusätzlich einen Behebungsvorschlag einfordert. Einerseits erfolgte die Bearbeitung der Fehlerfälle an realen steuerungstechnischen Modellanlagen, in die Fehler implementiert wurden (vgl. Abbildung 2).

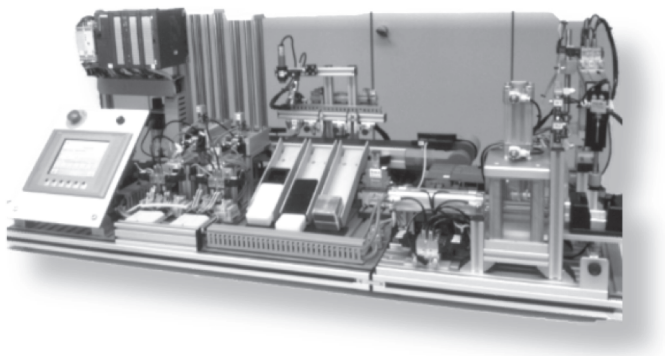


Abb. 2: Reale industrienahe Automatisierungsanlage

Anmerkung: Für die Bearbeitung der Fehler stand den Auszubilden noch ein Notebook zur Verfügung, auf dem Sie das Steuerungsprogramm in Echtzeit beobachten konnten.

Andererseits wurde für die Erfassung der analytischen Problemlösefähigkeit eine hochauthentische Computersimulation der gleichen Anlage realisiert (vgl. Abbildung 3)

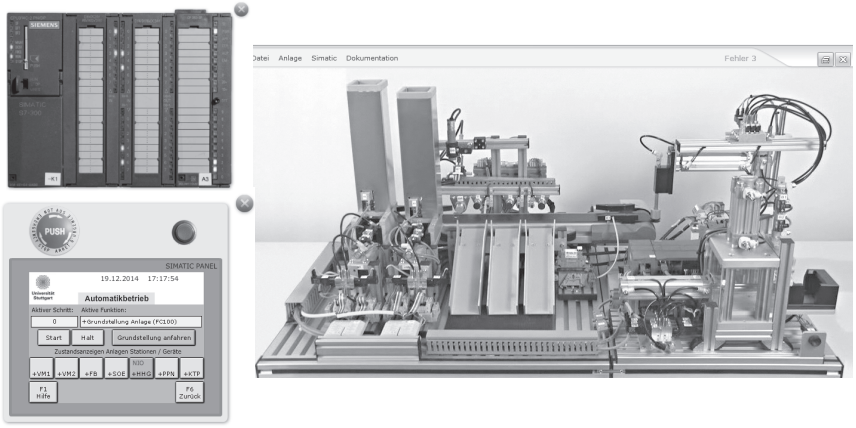


Abb.3: Screenshot der simulierten industrienahen Automatisierungsanlage
Links oben: Steuerungseinheit (SPS); links unten: Bedienfeld (Touchpanel); rechts: Abbildung der Automatisierungsanlage in der durch Mausklicks Zustände der Aktoren und Sensoren vergrößert und angezeigt werden. Des Weiteren kann das Steuerungsprogramm in Echtzeit (Schaltfläche „Simatic“) eingeblendet und beobachtet werden.

Die Entwicklung der Computersimulation wurde kriteriengeleitet in Anlehnung an Funke/Reuschenbach (2011) vorgenommen. Um die Anlage zu bedienen, können unterschiedliche Schaltflächen auf dem Touchpanel mit Hilfe von Mausklicks angewählt werden (vgl. Abbildung 3, links unten). Den aktuellen Zustand der SPS sowie der Aktoren und Sensoren zeigt die Steuerungseinheit an (vgl. Abbildung 3 links oben). Im Hauptfenster ist die Automatisierungsanlage abgebildet. Hier ist es möglich alle Sensoren und Aktoren zu vergrößern und ihren Zustand, ähnlich wie bei einer realen Sichtprüfung, zu inspizieren. Weitere Optionen bieten Schaltflächen am oberen Rand des Hauptfensters (vgl. Abbildung 3, Hauptfenster oben). Hervorzuheben ist, dass auch in der Simulation der Ablauf des Steuerungsprogramms angezeigt und, wie an der realen Automatisierungsanlage auch, in Echtzeit beobachtet werden kann.

Für die bei der Fehlerdiagnose erbrachten Testleistungen in der realen und der simulierten Automatisierungsanlage konnte gezeigt werden, das diese konvergent valide[3] sind (vgl. Walker/Abele/Nickolaus 2014). D. h., die in den realen und simulierten Anforderungskontexten erbrachten Leistungen korrelieren sehr hoch (latent: r = .99/.94). Für das Konstrukt der Fehlerdiagnosefähigkeit als Facette des domänenspezifischen Problemlösens bedeutet dies, dass es (statistisch) keinen Unterschied macht ob ein Fehler an der realen oder simulierten Automatisierungs-

3 Von konvergenter Validität wird dann gesprochen, wenn für unterschiedliche Operationalisierungen gezeigt werden kann, dass sie das gleiche Konstrukt abbilden. Zu den Kriterien konvergenter Validität siehe auch Hartig/Frey/Jude (2008) und Herzberg/Frey (2011).

anlage bearbeitet wird. D. h. für die Bearbeitung wurde auf die dieselbe Fähigkeit, d. h. die Fehlerdiagnosefähigkeit, rekurriert. Die SEM-Reliabilität[4] erreicht mit .69 einen akzeptablen Wert.

5.2.2 Fachwissen

Das Fachwissen wurde über einen Papier und Bleistifttest erfasst. Im Konstruktionsprozess wurde, wie oben bereits angedeutet, im Anschluss an die berichteten Befundlagen in anderen Domänen unterstellt, dass sich eine mehrdimensionale Struktur bestätigen lässt, die durch die Subdimensionen Automatisierungstechnik (AT), elektrische Energietechnik (EET), elektrotechnische Grundlagen (G) und speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) abgebildet wird. Die vorgenommene Dimensionalitätsprüfung bestätigt diese mehrdimensionale Struktur, wobei die latenten Korrelationen zwischen den Subdimensionen Werte zwischen .63 und .89 erreichen. Die Reliabilitätswerte in den Subdimensionen sind noch optimierungsbedürftig (EAP/PV = .67–.73).

5.2.3 Kognitive Grundfähigkeit

Auf Grund der großen zeitlichen Testbelastung der Probanden durch die Fachkompetenztests (s. u.) wurde die fluide Intelligenz nur mit dem ersten Testteil des CFT 20-R diagnostiziert (vgl. Weiss 2006), der die Subtests *Reihenfortsetzen*, *Klassifikationen*, *Matrizen* und *Topologien* umfasst. Die damit verbundene Reliabilitätseinbuße von r_{tt} = .95 (Teil1+Teil2) auf r_{tt} = .92 (Teil1) scheint vor dem Hintergrund der kürzeren Testzeit vertretbar (vgl. Weiss 2006, S. 48).

5.3 Untersuchungsdesign und -durchführung

Die Untersuchung erstreckte sich insgesamt über zwei Testtage. Am ersten Testtag wurden den Auszubildenden die Instrumente zur fluiden Intelligenz, zum Fachwissen und zur konstruktiven Problemlösefähigkeit vorgelegt (Bearbeitungszeit: 4.5 Stunden). Am zweiten Testtag erfolgte die Erfassung der analytischen Problemlösefähigkeit (Bearbeitungszeit: 4 Stunden). Um Positionseffekte zu vermeiden kamen für das Fachwissen und das domänenspezifische Problemlösen Testhefte mit unterschiedlichen Booklet-Designs zum Einsatz (vgl. Frey/Hartig/Rupp 2009). Die Testung der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit erfolgte in einem Cross-Over-Design (vgl. Ratkowsky/Evans/Alldredge 1993; Jones/Kenward 2003). Zur Klärung der Forschungsfragen wurden ausschließlich Daten von Auszubildenden herangezogen, die alle Testinstrumente (fluide Intelligenz, Fachwissen und domänenspezifisches Problemlösen in beiden Varianten) bearbeiteten.

4 Diese Reliabilitätsberechnung ist auf Grund der kategorialen Indikatoren der Instrumente indiziert (vgl. Green/Yang 2009, S. 164). Berechnet wurde die Reliabilität nach ebd. (2009, Formel 21).

5.4 Eingesetzte statistische Analysen und Referenzwerte für die Modellpassungen

Für die Identifikation der Strukturmodelle wurde die Varianz der latenten Variablen auf 1 fixiert. Des Weiteren kam auf Grund der kategorialen Indikatoren das WLSMV-Verfahren und die Software Mplus zum Einsatz (vgl. Muthén/Muthén 2010; Urban/Mayerl 2014, S. 69 ff.). Die Beurteilung der Modellpassung erfolgte auf Basis der folgenden Fit-Werte: RMSEA ≤ 0.08 (vgl. Wang/Wang 2012, S. 18); CFI ≥ .90 (vgl. Raykov/Marcoulides 2006, S. 46); $\chi^2/df < 5$ (vgl. Hoyle 2012, S. 212 ff.). Zudem wurde der WRMR herangezogen, wobei Werte größer 1 einen schlechten Modellfit indizieren (vgl. Yu 2002, S. 156). Für die Dimensionalitätsprüfung wurden die (geschachtelten) Modelle mit Hilfe des χ^2-Differenzentest verglichen (vgl. Kline 2011, S. 214 ff.). Ebenfalls durch die kategorialen Indikatoren begründet wurden Satorra-Bentler-korrigierte χ^2-Werte und die in Mplus verfügbare Option DIFF-Test verwendet (vgl. Hoyle 2012, S. 173 ff.). Urban/Mayerl (2014) empfehlen zusätzlich zum χ^2-Differenzentest den Vergleich der RMSEA-Konfidenzintervalle[5].

6 Ergebnisse

Wir stellen zunächst kurz einige Ergebnisse zu den erbrachten Leistungen vor und wenden uns anschließend der Hypothesenprüfung zu. Wie die Ergebnisse zur fluiden Intelligenz zeigen (vgl. Tabelle 1), liegen die untersuchten Auszubildenden knapp über dem Durschnitt von 100 Intelligenzpunkten. Die leicht negativen Mittelwerte[6] der Leistungen in den Subdimensionen des Fachwissens[7] deuten darauf hin, dass die Aufgaben für die Probanden etwas zu schwer waren.

Tab. 1: Eingangsvoraussetzungen der Auszubildenden (fluide Intelligenz und inhaltsspezifisches Fachwissen)

Fluide Intelligenz		**Fachwissen**							
		AT		EET		GE		SPS	
M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
109.35	13.86	-0.150	0.36	-0.137	0.49	-0.156	0.57	-0.126	0.36

Anmerkung: Die Ergebnisse zum Fachwissen stellen EAP/PV- Schätzer dar. AT= Automatisierungstechnik; EET= Elektrische Energietechnik; G= technische Grundlagen; SPS= speicherprogrammierbare Steuerungstechnik. *M*= Mittelwert; *SD*= Standardabweichung

Im Anschluss an **H1.1** wäre zu erwarten, dass sich eine zweidimensionale Modellierung der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit einer eindimensionalen Modellierung überlegen zeigt. Der Modellvergleich von M1 und M2 (vgl. Tabelle 2), der hoch signifikant zugunsten des zweidimensionalen Modells ausfällt, bestätigt

5 Überlappen sich die 90 %-Intervalle an irgendeiner Stelle, „sind die Modellschätzungen nicht signifikant unterschiedlich. Wenn sie sich nicht überlappen, sollte das Modell mit dem kleinsten RMSEA-Wert ausgewählt werden“ (Urban/Mayerl 2014, S. 222).

6 Der Mittelwertsbildung liegt eine logarithmische Skala zugrunde, deren Mittel bei 0 liegt.

7 Die Modellprüfung für das Fachwissen erbrachte eine vierdimensionale Struktur als am besten auf die Daten passend (vgl. van Waveren 2014).

diese Annahme ($\Delta\chi^2_{(1)} = 17.75$, $p < 0.001$). Die latente Korrelation zwischen der analytischen und konstruktiven Problemlösefähigkeit dokumentiert mit r = .65 eine substanzielle gemeinsame Varianz, zeigt jedoch auch, dass es sich um eigenständige Konstrukte handelt (vgl. Abbildung 4; links).

Tab. 2: Modelle zur Strukturprüfung berufsfachlicher Kompetenz bei Elektronikern für Automatisierungstechnik

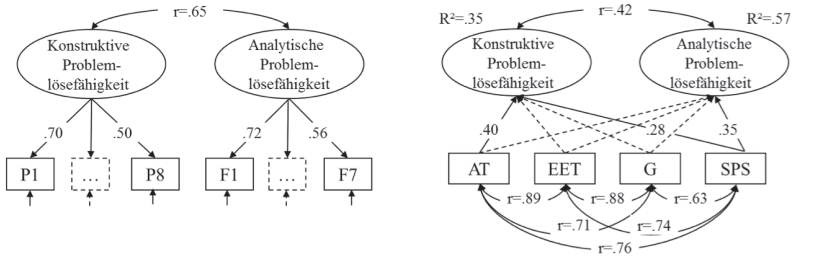
Modelle	χ^2/df	$\Delta\chi^2_{(df)}$	Vergleich	RMSEA (90 %CI)	CFI	WRMR
M1: zweidimensionales Modell der Problemlösefähigkeit	1.40	$\Delta\chi^2_{(1)} = 17.75$ ($p < 0.001$)	M1 und M2	.057 (.038–.074)	.92	0.962
M2: eindimensionales Modell der Problemlösefähigkeit	1.57			.068 (.051–.083)	.88	1.043
M3: Integration des Fachwissens in M1	1.34	$\Delta\chi^2_{(5)} = 48.72$ ($p < 0.001$)	M3 und M4	.052 (.035–.067)	.92	0.916
M4: Integration des Fachwissens in M2	1.54			.066 (.053–.079)	.87	1.030
M5: Integration der fluiden Intelligenz in M3	1.28	$\Delta\chi^2_{(6)} = 41.60$ ($p < 0.001$)	M5 und M6	.048 (.033–.061)	.91	0.938
M6: Integration der fluiden Intelligenz in M4	1.54			.057 (.044–.069)	.87	1.021

Anmerkung: $\Delta\chi^2$= Differenzwert der Satorra-Bentler korrigierten χ^2-Werte.

In einem nächsten Schritt wurden die manifesten Personenfähigkeitsschätzer des Fachwissens (vgl. Tabelle 2; Modell: M3 und M4) in das Modell integriert (vgl. Abbildung 4, rechts). Erneut zeigt sich eine signifikant bessere Passung zugunsten des mehrdimensionalen Modells (vgl. Tabelle 2, $\triangle\chi^2_{(5)} = 48.72$, $p < 0.001$ zwischen M3 und M4). Die latente Korrelation zwischen der konstruktiven und analytischen Problemlösefähigkeit sinkt von r = .65 auf r = .42 ab. D. h. bei Einbezug des Fachwissens in die Strukturmodellierung treten die Unterschiede der beiden Problemlösefähigkeiten noch deutlicher zu Tage. Zuletzt erfolgte die Integration der fluiden Intelligenz in das Modell (vgl. Tabelle 2; Modell: M5 und M6). Auch in diesem Fall (M6) zeigt sich wie in den vorangegangen Modellen, die eine eindimensionale Struktur des Problemlösens annehmen (M2: CFI = .88 und WRMR = 1.043; M4: CFI = .87 und WRMR = 1.030; M6: CFI = .87 und WRMR = 1.021) ein deutlicher Missfit (vgl. Tabelle 2, M6). Der χ^2-Differenzentest ($\triangle\chi^2_{(6)} = 41.60$, $p < 0.001$) fällt erneut signifikant zugunsten des zweidimensionalen Modells des domänenspezifischen Problemlösens (M5) aus. Damit stützen die Ergebnisse die Hypothese **H1.2** und unterstreichen die Stabilität der analytischen und konstruktiven Facetten als eigenständige Dimensionen der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit.

Die Analysen zeigen ebenfalls eindrucksvoll, dass nur diejenigen Inhaltsbereiche des Fachwissens Erklärungskraft für die Problemlösefacetten besitzen, welche sich situativ als relevant für das Lösen konstruktiver und analytischer Probleme erweisen. Konform zu **H2** können durch die Fachwissensleistungen im Bereich speicherprogrammierbare Steuerungstechnik (SPS, $\beta_{SPS} = .28$) und Automatisierungstechnik (AT, $\beta_{AT} = .40$) 35 % der konstruktiven Problemlösefähigkeit erklärt werden ($R^2 = .35$) (vgl. Abbildung 3, rechts). Dieses Ergebnis steht auch im Einklang mit der theoretischen Konzeption des Testzuschnittes der konstruktiven Problemlösefähigkeit

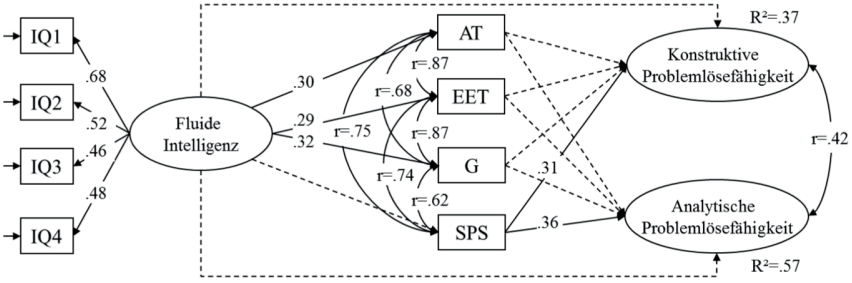
(Erstellen und Erweitern von Steuerungsprogrammen). Die Varianzaufklärung der analytischen Problemlösefähigkeit von 57% wird ausschließlich durch das steuerungstechnische Wissen erbracht ($R^2 = .57$) (vgl. Abbildung 4, rechts). Dieses Erklärungsmuster bleibt auch nach der Integration der fluiden Intelligenz bestehen (vgl. Abbildung 5), wobei die Erklärungsleistung der Subdimension des Fachwissens AT ($\beta_{AT} = .33$) für die konstruktive Problemlösefähigkeit nur knapp über der Signifikanzgrenze liegt ($p = 0.054$).



n=124, X^2/df=1.40, *CFI*=.92, *RMSEA*=.057 [.038-.074], *WRMR*= 0.962
Alle Ladungen und Korrelationen sind höchst signifikant.

n=124, X^2/df= 1.34, *CFI*=.92, *RMSEA*=.052 [.035-.067], *WRMR*= 0.916
Alle Ladungen und Korrelationen sind hoch signifikant. Gestrichelte Verbindungen sind nicht signifikante Faktorladungen.

Abb. 4: Links: Ergebnis der Dimensionalitätsprüfung des domänenspezifischen Problemlösens (Modell: M1); rechts: Ergebnis der Dimensionalitätsprüfung nach Einbezug des Fachwissens (Modell: M3)



n=124, X^2/df= 1.28, *CFI*=.91, *RMSEA*=.048 [.033-.061], *WRMR*= 0.938
Alle Ladungen und Korrelationen sind hoch signifikant. Gestrichelte Verbindungen sind nicht signifikante Faktorladungen.

Abb 5: Strukturmodell berufsfachlicher Kompetenz bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende ihrer Ausbildung (vgl. Tabelle 2, Modell M5)

Des Weiteren konnte durch die Integration der fluiden Intelligenz die Varianzaufklärung der beiden Problemlösefacetten nicht erhöht werden, was sich auch in den nicht signifikanten direkten Effekten niederschlägt (**H3**) (vgl. Abbildung 5). Allerdings leistet der indirekte Effekt der fluiden Intelligenz über alle Fachwissensbereiche für die konstruktive Problemlösefähigkeit einen tendenziell ($\beta_{Fachwissen/konstru.\ Problemlösen} = .11$, $p = 0.078$) und für die analytische Problemlösefähigkeit ($\beta_{Fachwissen/analy.\ Problemlösen} = .19$, $p = 0.024$) einen signifikanten Beitrag. Damit wird auch H3 gestützt.

7 Diskussion

Die Ergebnisse dokumentieren zunächst eine zweidimensionale Struktur der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit, die durch eine analytische und eine konstruktive Subdimension aufgespannt wird. Dieses Ergebnis bleibt auch bei Einbezug der fluiden Intelligenz und dem Fachwissen stabil. Angesichts der empirischen Trennbarkeit und der mittelhohe Korrelation zwischen den beiden Problemlösefähigkeiten hat das Ergebnis auch Implikationen für die Gestaltung von Prüfungen, die ohne die parallele Einbindung beider Anforderungskontexte dem Anspruch der Validität nicht gerecht werden können. Die relativ hohe prädiktive Kraft der den Problemlöseanforderungen nahen Wissensbereiche macht erneut die Relevanz des Fachwissens für domänenspezifische Problemlöseleistungen deutlich. In didaktischer Perspektive verweist die zweidimensionale Struktur der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit auf die Notwendigkeit, beide Facetten zu fördern, wenngleich z. B. programmiertechnische Aufgaben in schulischen Kontexten wesentlich leichter und aufwandsärmer zu arrangieren sind. Perspektivisch könnten sich die im Projektkontext entwickelte Simulation auch für didaktische Zwecke als nützlich erweisen, da es offensichtlich gelungen ist das steuerungstechnische System hochauthentisch zu simulieren. Trotz der in beiden Problemlösekontexten bestehenden Überschneidungen der Wissensbasen und den durch die technischen Systeme gegebenen strukturellen Ähnlichkeiten von Teilschritten der Lösungsprozesse[8] scheinen die jeweils für den Problemlöseprozess notwendigen Heuristiken zumindest partiell disjunkt. Welche Heuristiken unter welchen Bedingungen besonders zielführend sind, wäre durch Prozessanalysen zu erschließen, zu welchen gegenwärtig die technischen Voraussetzungen geschaffen werden. Offen ist die Frage, inwieweit die Unterrichtsgestaltung und die betrieblichen Aufgabenzuschnitte für die fachlichen Leistungen prädiktiv werden. Erste Analysen innerhalb des Projektes zur Kompetenzmessung von Elektronikern der Automatisierungstechnik deuten allerdings darauf hin, dass die über Befragungen der Auszubildenden gewonnenen Daten zu zentralen Qualitätsmerkmalen des Unterrichts und der betrieblichen Qualitätsmerkmale[9] keinen substanziellen Beitrag zur Erklärung der domänenspezifischen Problemlöseleistungen erbringen. Wir interpretieren diesen Befund allerdings so, dass zwar über die Qualitätszuschreibungen der Auszubildenden kein substanzieller Varianzanteil erklärt werden kann, die realen Qualitätsausprägungen jedoch dennoch bedeutsam werden.

Im Hinblick auf die Übertragung des Hauptbefundes zur Mehrdimensionalität der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit auf andere berufliche Domänen ist vermutlich Vorsicht angebracht. Wir vermuten, dass das an die spezifischen Anforderungsstrukturen der beruflichen Tätigkeiten und die darauf bezogenen pädagogischen Handlungsprogramme gebunden ist. Substanzielle Zweifel an einer Replikation der Befunde scheinen uns beispielsweise im Hinblick auf die Kfz-Mechatroniker angebracht, da deren Gestaltungsmöglichkeiten deutlich eingeschränkter

8 Zu denken ist beispielsweise an die strukturellen Ähnlichkeiten der Anforderungen bei der Informationserschließung zur Funktionalität von Systemelementen oder der gedanklichen Vorwegnahme von Zusammenhangsstrukturen.

9 Diesen Befragungen lag ein im ASCOT Programm neu entwickeltes und die bisherigen Skalen aus dem Mannheimer Inventar zur Erfassung betrieblicher Ausbildungssituationen substantiell ergänzendes Instrumentarium zugrunde.

sein dürften.[10] Strukturähnlichkeiten erwarten wir hingegen bei allen anderen elektrotechnischen Berufen (z. B. bei Mechatronikern und Fachinformatikern). Bemerkenswert scheint in diesem Kontext auch die Replikation des im allgemeinbildenden Segment gewonnenen Befundes zur Mehrdimensionalität des Problemlösens, der den Gedanken nahelegt, dass konstruktive und analytische Problemlöseleistungen nicht nur im Sinne Blooms unterschiedliche Schwierigkeitsgrade von Items charakterisieren sondern auf partiell unterschiedlichen Dispositionen beruhen, die in den jeweiligen Anforderungskontexten für eine erfolgreiche Bewältigung der Items notwendig werden.

Die fluide Intelligenz wird auch in dieser Domäne für die Problemlöseleistungen lediglich indirekt über den Aufbau und die Anwendung des Fachwissens wirksam. In Verbindung mit den vorliegenden Untersuchungen, in welchen auch allgemeinen Problemlösekompetenzen direkte Einflüsse auf die domänenspezifische Problemlöseleistungen unterstellt jedoch nicht bestätigt werden konnten, legen die gewonnenen Befunde den Gedanken nahe, dass nicht die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten, sondern die beruflichen Bildungsprozesse den Schlüssel für berufliche Leistungen darstellen, die allerdings unter der Voraussetzung günstiger kognitiver Ausgangsbedingungen leichter gelingen.

Für die weitere Forschung sehen wir selbst u. a. folgende Klärungsbedarfe:

a) Es wäre angezeigt, in Replikationsstudien zu prüfen, ob die Ergebnisse zur domänenspezifischen Problemlösefähigkeit auch bei anderen Operationalisierungen bestätigt werden können. Zu denken wäre dabei u. a. an die Erweiterung der analytischen Anforderungskontexte um Hardwarefehler und den Einbezug von eher routineträchtigen Anforderungssituationen, bei welchen das Fachwissen möglicherweise weniger erklärungsmächtig wird. Offen ist auch die Frage, in welchen weiteren Berufen analytische und konstruktive Problemlösefähigkeiten empirisch als eigene Subdimensionen bestätigt werden können. Zumindest bei den Kfz-Mechatronikern würden wir das vor dem Hintergrund der vorliegenden Analysen zu den beruflichen Anforderungen und den vorgelegten Strukturmodellierungen als eher unwahrscheinlich einschätzen. Hoch wahrscheinlich scheint die Replikation der bei den Elektronikern für Automatisierungstechnik identifizierten berufsfachlichen Kompetenzstruktur z. B. bei Mechatronikern.

b) Inwieweit die gegenwärtige Prüfungspraxis geeignet ist, die berufsfachlichen Kompetenzen der Auszubildenden reliabel und valide abzuschätzen ist ungewiss bis unwahrscheinlich. Verlässliche Aussagen sind dafür allerdings (noch) nicht verfügbar. Die bisher vorliegenden Aussagemöglichkeiten deuten allerdings auch in diesem Bereich auf erhebliche Varianzen hin (vgl. Abele 2014, Nickolaus 2011b; Winther 2011).

c) Für die Entwicklung und Optimierung didaktischer Konzepte zur Förderung der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit wäre u. a. ein genaueres Wissen über die Problemlöseprozesse selbst wünschenswert. Während für die bautechnische Grundstufe sowohl solche Feinanalysen (vgl. Petsch/Norwig/Nickolaus 2011) als auch mehrfach replizierte Studien zu positiv evaluierten Förderkonzepten vorliegen (vgl. Norwig/Petsch/Nickolaus 2010; Petsch/Norwig/Nickolaus 2014; Zinn u. a. 2015),

10 Wir sehen hier von kreativen Umbauten von Kraftfahrzeugen ab, die vermutlich eher in privaten Kontexten oder in Spezialfirmen vorgenommen werden als in üblichen Vertragswerkstätten der Automobilhersteller.

ist die Befundlage zur Förderung der domänenspezifischen Problemlösefähigkeit in elektrotechnischen Bereichen eher unbefriedigend. Anknüpfungspunkte bieten in diesem Feld u. a. die von der Forschungsgruppe um Sonntag/Bergmann (1997) (vgl. Sonntag/Bergmann 1997; Schaper/Sonntag 1997; Schaper/Hochholdinger/Sonntag 2004) vor allem bei Servicetechnikern durchgeführten Studien, die einerseits auf erhebliche Transferprobleme der in spezifischen Anforderungskontexten erworbenen Fehlerdiagnosefähigkeiten verweisen als auch erste Hinweise zur Überwindung dieser Transferprobleme bereitstellen.

8 Literaturverzeichnis

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

Abele, S./Greiff, S./Gschwendtner, T./Wüstenberg, S./Nickolaus, R./Nitzschke, A./Funke, J. (2012): Dynamische Problemlösekompetenz. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 15, H. 2, S. 363–391.

Abele, S./Walker, F./Nickolaus, R. (2014): Zeitökonomische und reliable Diagnostik beruflicher Problemlösekompetenzen bei Auszubildenden zum Kfz-Mechatroniker. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 28, H. 4, S. 167–179.

Becker, M. (2005): Einbindung von Facharbeiterkompetenzen in IKT-dominante Diagnoseabläufe im Kfz-Service. In: Pangalos, J./Spöttl, G./Kutzen, N./Howe, F. (Hrsg.): Informatisierung von Arbeit, Technik und Bildung. Eine berufswissenschaftliche Bestandsaufnahme. Münster: Lit, S. 45–54.

Benda, D. (2008): Das große Handbuch Fehlersuche in elektronischen Schaltungen. Lesen und Auswerten von Schaltungsunterlagen, Fehlersuche mit Methode, Messen und Prüfen mit dem Oszilloskop. Poing: Franzis.

Frey, A./Hartig, J./Rupp, A. A. (2009): An NCME Instructional Module on Booklet Designs in Large-Scale Assessments of Student Achievement: Theory and Practice. In: Educational Measurement: Issues and Practice 28, H. 3, S. 39–53.

Funke, J. (2003): Problemlösendes Denken. Stuttgart: Kohlhammer.

Funke, J./Reuschenbach (2011): Einsatz technischer Mittel in der psychologischen Diagnostik. In: Hornke, L. F./Amelang, M./Kersting, M. (Hrsg.): Leistungs-, Intelligenz- und Verhaltensdiagnostik. Göttingen [u. a.]: Hogrefe, S. 595–631.

Geissel, B. (2008): Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung: Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In: Nickolaus, R./Schanz, H. (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren, S. 121–142.

Gönnenwein, A./Nitzschke, A./Schnitzler, A. (2011): Fachkompetenzerfassung in der gewerblichen Ausbildung am Beispiel des Ausbildungsberufs Mechatroniker/-in. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis BWP 40, H. 5, S. 14–18.

Green, S. B./Yang, Y. (2009): Reliability of Summed Item Scores Using Structural Equation Modeling: An Alternative to Coefficient Alpha. In: Psychometrika 74, H. 1, S. 155–167.

Greiff, S./Funke, J. (2010): Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. Projekt Dynamisches Problemlösen. In: Klieme, E. (Hrsg.): Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Weinheim [u. a.]: Beltz, S. 216–227.

Gschwendtner, T. (2008): Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In: Nickolaus, R./Schanz, H. (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung. Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren, S. 103–119.

Gschwendtner, T. (2011): Die Ausbildung zum Kraftfahrzeugmechatroniker im Längsschnitt. Analysen zur Struktur von Fachkompetenz am Ende der Ausbildung und Erklärung von Fachkompetenzentwicklungen über die Ausbildungszeit. In: Nickolaus, R. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Stuttgart: Steiner, S. 55–76.

Hartig, J./Frey, A./Jude, N. (2008): Validität. In: Moosbrugger, H./Kelava, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin: Springer, S. 135–164.

Herzberg, P. Y./Frey, A. (2011): Kriteriumsorientierte Diagnostik. In: Hornke, L. F./Amelang, M./Kersting, M. (Hrsg.): Methoden der psychologischen Diagnostik. Göttingen [u. a.]: Hogrefe, S. 281–325.

Hoyle, R. H. (2012): Handbook of structural equation modeling. New York: Guilford Press.

Jones, B./Kenward, M. G. (2003): Design and analysis of cross-over trials. Boca Raton, Fla.: Chapman & Hall/CRC.

Kallies, H./Hägele, T./Zinke, G. (2014): Betriebsuntersuchungen zur Analyse betrieblicher Tätigkeiten von Mechatronikern und Mechatronikerinnen sowie Elektronikern und Elektronikerinnen für Automatisierungstechnik. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB).

Kline, R. B. (2011): Principles and practice of structural equation modeling. New York: Guilford Press.

Leutner, D./Fleischer, J./Wirth, J. (2006): Problemlösekompetenz als Prädiktor für zukünftige Kompetenz in Mathematik und in den Naturwissenschaften. In: Prenzel, M./Baumert, J./Blum, W./Lehman, R./Leutner, D./Neubrand, M./Rost, J./Schiefele, U. (Hrsg.): PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres. Münster: Waxmann, S. 119–138.

Leutner, D./Fleischer, J./Wirth, J./Greiff, S./Funke, J. (2012): Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien. In: Psychologische Rundschau 63, H. 1, S. 34–42.

Link, N./Geissel, B. (2015): Konstruktvalidität konstruktiver Problemlösefähigkeit bei Elektroniker/innen für Automatisierungstechnik. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), (im Druck).

Muthén, L. K./Muthén, B. O. (2010): Mplus. Los Angeles, [Calif.].

Nickolaus, R. (2011a): Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihre Entwicklungen in der beruflichen Bildung. Forschungsstand und Perspektiven. In: Zlatkin-Troitschanskaia, O. (Hrsg.): Stationen Empirischer Bildungsforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 331–351.

Nickolaus, R. (2011b): Kompetenzmessung und Prüfungen in der beruflichen Bildung. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), Jg. 107 (2011), Heft 2, S. 161 – 173.

Nickolaus, R./Abele, S./Gschwendtner, T./Nitzschke, A./Greiff, S. (2012): Fachspezifische Problemlösefähigkeit in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW) 108, H. 2, S. 243–272.

Nickolaus, R./Geissel, B. (2009): Electricians. In: Baethge, M./Arends, L. (Hrsg.): Feasibility Study VET-LSA. A comparative analysis of occupational profiles and VET programmes in 8 European countries – International report. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, S. 48–70.

Nickolaus, R./Geissel, B./Abele, S./Nitzschke, A. (2011): Fachkompetenzmodellierung und Fachkompetenzentwicklung bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im Verlauf der Ausbildung. Ausgewählte Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In: Nickolaus, R. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Stuttgart: Steiner, S. 77–94.

Nickolaus, R./Gschwendtner, T./Abele, S. (2009): Die Validität von Simulationsaufgaben am Beispiel der Diagnosekompetenz von Kfz-Mechatronikern. Vorstudie zur Validität von Simulationsaufgaben im Rahmen eines VET-LSA.

Nickolaus, R./Seeber, S. (2013): Berufliche Kompetenzen: Modellierungen und diagnostische Verfahren. In: Frey, A./Lissmann, U./Schwarz, B. (Hrsg.): Handbuch Berufspädagogische Diagnostik. Weinheim: Beltz, S. 166–195.

Norwig, K./Petsch, C./Nickolaus, R. (2010): Förderung lernschwacher Auszubildender – Effekte des berufsbezogenen Strategietrainings (BEST) auf die Entwicklung der bautechnischen Fachkompetenz. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW) 106, H. 2, S. 220–239.

OECD (2003): PISA The PISA 2003 Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills. [S.l.]: OECD Pub.

OECD (2014): PISA 2012 Results: Creative Problem Solving Students' Skills In tackling real-life Problems Volume V. In: OECD (Hrsg.): PISA 2012 Results: Creative Problem Solving (Volume V): OECD Publishing, S. 25–46.

Petsch, C./Norwig, K./Nickolaus, R. (2011): Können Auszubildende aus Fehlern lernen? Eine empirische Interventionsstudie in der Grundstufe Bautechnik. In: Nickolaus, R. (Hrsg.): Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Stuttgart: Steiner, S. 129–146.

Petsch, C./Norwig, K./Nickolaus, R. (2014): Kompetenzförderung leistungsschwächerer Jugendlicher in der beruflichen Bildung – Förderansätze und ihre Effekte. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 17, H. 1, S. 81–101.

Petsch, C./Norwig, K./Nickolaus, R. (2015): Berufsfachliche Kompetenzen in der bautechnischen Berufsgrundbildung – Strukturen, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. In: A. Rausch, J. Warwas, J. Seifried & E. Wuttke (Hrsg.), Konzepte und Ergebnisse ausgewählter Forschungsfelder der beruflichen Bildung – Festschrift zum 65. Geburtstag von Detlef Sembill. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Ratkowsky, D. A./Evans, M. A./Alldredge, J. R. (1993): Cross-over experiments. Design, analysis, and application. New York: Marcel Dekker.

Raykov, T./Marcoulides, G. A. (2006): A first course in structural equation modeling. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Rosendahl, J./Straka, G. (2011): Kompetenzmodellierungen zur wirtschaftlichen Fachkompetenz angehender Bankkaufleute. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik : ZBW. 107, H. 2, S. 190–217.

Schaper, N./Hochholdinger, S./Sonntag, K. (2004): Förderung des Transfers von Diagnosestrategien durch computergestütztes Training mit kognitiver Modellierung. In: Zeitschrift für Personalpsychologie 3, H. 2, S. 51–62.

Schaper, N./Sonntag, K. (1997): Diagnostisches Handeln von Instandhaltern unterschiedlicher Expertise. In: Sonntag, K./Bergmann, B. (Hrsg.): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: Vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich, S. 155–172.

Scherer, R. (2012): Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II. Berlin: Logos Berlin.

Scherer, R./Tiemann, R. (2012): Factors of problem-solving competency in a virtual chemistry environment: The role of metacognitive knowledge about strategies. In: Computers & Education 59, H. 4, S. 1199–1214.

Schmidt, T./Nickolaus, R./Weber, W. (2014): Modellierung und Entwicklung des fachsystematischen und handlungsbezogenen Fachwissens von Kfz-Mechatronikern. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW) 110, H. 4, S. 549–574.

Seeber, S. (2008): Ansätze zur Modellierung beruflicher Fachkompetenz in kaufmännischen Ausbildungsberufen. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW) 104, H. 1, S. 74–97.

Seeber, S./Nickolaus, R. (2010): Kompetenz, Kompetenzmodelle und Kompetenzentwicklung in der beruflichen Bildung. In: Pätzold, G./Reinisch, H./Nickolaus, R. (Hrsg.): Handbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Stuttgart: UTB, S. 95–112.

Sonntag, K./Bergmann, B. (Hrsg.) (1997): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: Vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich.

Tapken, H. (2011): SPS. Theorie und Praxis. Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
Urban, D./Mayerl, J. (2014): Strukturgleichungsmodellierung. Ein Ratgeber für die Praxis. Wiesbaden: Springer VS.
van Waveren, L. (2014, September): Struktur des Fachwissens bei Elektronikern für Automatisierungstechnik. Jahrestagung der Sektion Berufs- und Wirtschaftspädagogik der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (DGfE), Schwäbisch Gmünd.
Walker, F. (2013): Der Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb bei der Durchführung technischer Experimente: Universität Duisburg-Essen.
Walker, F./Abele, S./Nickolaus, R. (2014, März): Validitätsansprüche an die Messung der fachspezifischen Problemlösekompetenz in der Berufsbildung und ihre Einlösung in gewerblich-technischen Anforderungskontexten. 2. Tagung der Gesellschaft für Empirische Bildungsforschung (GEBF), Frankfurt.
Wang, J./Wang, X. (2012): Structural equation modeling. Applications using Mplus. Chichester, West Sussex, U.K., [Beijing, China]: Wiley; Higher Education Press.
Weiss, R. H. (2006): CFT 20-R: Grundintelligenztest Skala 2-Revision. Göttingen: Hogrefe.
Wiedemann, J. (1995): Ermittlung von Qualifizierungsbedarf. Am Beispiel der Störungsdiagnose in der flexiblen Fertigung. Münster, New York: Waxmann.
Winther, E. (2010): Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Bielefeld: Bertelsmann.
Winther, E. (2011): Das ist doch nicht fair! – Mehrdimensionalität und Testfairness in kaufmännischen Assesments. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW) 107, H. 2, S. 218–238.
Yu, C.-Y. (2002): Evaluating Cutoff Criteria of Model Fit Indices for Latent Variable Models with Binary and Continuous Outcomes: University of California.
Zinke, G./Schenk, H./Kröll, J. (2014): Ergebnisse einer Online Befragung zur Berufsfeldanalyse der industriellen Elektroberufe. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB).
Zinke, G./Schenk, H./Wasiljew, E. (2014): Berufsfeldanalyse zu industriellen Elektroberufen als Voruntersuchung zur Bildung einer möglichen Berufsgruppe: Bundesinstitut für Berufsbildung BiBB.
Zinn, B./Louis, A./Sari, D./Wyrwal, M. (2015): Förderung lernschwacher Auszubildender im Berufsfeld Metalltechnik. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW), (im Druck).

Anschrift der Autoren: Dr. Felix Walker, Prof. Dr. Reinhold Nickolaus, Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft (IfE), Abteilung Berufs-, Wirtschafts- und Technikpädagogik, Geschwister-Scholl-Straße 24 D, D-70174 Stuttgart, walker@bwt.uni-stuttgart.de
Dipl.-Gwl. Nico Link, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Institut für Naturwissenschaften und Technik, Abteilung Technik, Reuteallee 46, D-71634 Ludwigsburg